

# Pengaruh Kompos Jerami terhadap Kualitas Tanah, Kelarutan $Fe^{2+}$ dan $SO_4^{2-}$ serta Produksi Padi pada Tanah Sulfat Masam

## *The Influence of Rice Straw Compost on Soil Quality, $Fe^{2+}$ and $SO_4^{2-}$ Solubility, and Rice Yield in Acid Sulphate Soil*

K. ANWAR<sup>1</sup>, S. SABIHAM<sup>2</sup>, B. SUMAWINATA<sup>2</sup>, A. SAPEI<sup>3</sup>, DAN T. ALIHAMSYAH<sup>4</sup>

### ABSTRAK

Oksidasi pirit pada tanah sulfat masam menurunkan kualitas tanah. Perbaikan kualitas tanah pada pertanaman padi dapat dilakukan dengan pemberian bahan organik disertai dengan pengaturan air agar selalu dalam keadaan reduktif. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan kompos jerami padi dalam memperbaiki kualitas tanah dan produksi padi. Penelitian dilakukan pada tanah sulfat masam (*Typic Sulfaquepts*), terluapi pasang besar (tipe B), di Kebun Percobaan Belandean, Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa (Balittra), Kalimantan Selatan, pada musim kemarau 2003. Perlakuan berupa takaran pemberian kompos jerami padi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian kompos jerami mampu memperbaiki kualitas tanah pada fase vegetatif, berupa peningkatan pH dan kandungan bahan organik serta penurunan  $Al_{\text{td}}$ , juga meningkatkan kelarutan  $Fe^{2+}$  dan  $SO_4^{2-}$ . Semua sifat kimia tanah tersebut mempunyai korelasi dengan produksi padi, dan  $Al_{\text{td}}$  mempunyai korelasi paling besar. Pemberian kompos jerami dengan takaran 2,7 t ha<sup>-1</sup> mampu meningkatkan hasil gabah sebesar 48%, sehingga jerami padi hasil panen sebaiknya dikembalikan ke lahan sawah.

**Kata kunci :** Kompos jerami, Kualitas tanah,  $Fe^{2+}$  dan  $SO_4^{2-}$ , Produksi padi, Tanah sulfat masam

### ABSTRACT

Oxidation of pyrite in acid sulphate soil reduced the quality of soil. The improvement of soil quality in paddy cultivation could be managed by the addition of organic matter together with regulating water to maintain its reductive condition. The objective of this research was to obtain information on the ability of rice straw compost in improving soil quality and rice production. The research was conducted in acid sulphate soil (*Typic Sulfaquepts*), with flooding during high tide (B type) at experimental field Belandean, Research Institute for Swamp Land Agriculture (Balittra), South Kalimantan, during dry season of 2003. Treatment for improving soil quality was in the form of the rate of application of rice straw compost. Research results indicated that the application of rice straw compost was capable to improve soil quality during vegetative phase substantiated by increasing soil pH and organic matter content, and decreasing exchangeable Al, and also increasing  $Fe^{2+}$  and  $SO_4^{2-}$  solubility. All of the soil chemical properties determine rice production, and Al-exchangeable has the highest correlation. Application of rice straw compost as much as 2.7 t ha<sup>-1</sup> (dry weight equivalent) was capable to increase the yield of rice by 48%. This research results indicated that the rice straw from harvest should be returned to the paddy soil.

**Keywords :** Rice straw compost, Soil quality,  $Fe^{2+}$  and  $SO_4^{2-}$  solubility, Rice yield, Acid sulphate soil

### PENDAHULUAN

Pembukaan lahan sulfat masam untuk usaha pertanian yang disertai pembuatan saluran-saluran drainase dapat menyebabkan penurunan muka air tanah, mempercepat habisnya lapisan gambut pada bagian atas, dan terjadinya oksidasi pirit yang menghasilkan  $H^+$  dan  $SO_4^{2-}$ , sehingga tanah menjadi sangat masam. Dalam keadaan masam ini, kelarutan ion Al, Fe, dan Mn meningkat dan mendesak kation-kation basa (Ca, Mg, K, dan Na) dari kompleks jerapan tanah sehingga tanah menjadi miskin (Dent, 1986; Widjaja-Adhi *et al.*, 1992). Kondisi ini menunjukkan bahwa oksidasi pirit menyebabkan terjadinya penurunan kualitas tanah sehingga pertumbuhan tanaman terhambat dan produksi rendah.

Upaya peningkatan kualitas tanah sulfat masam dapat dilakukan dengan mengembalikan tanah pada kondisi alaminya yaitu kondisi reduktif. Hasil penelitian Yuliana (1998) pada skala laboratorium menunjukkan bahwa kondisi reduktif tersebut akan meningkatkan pH tanah dan menurunkan kelarutan  $SO_4^{2-}$  dan  $Al^{3+}$ . Menurut Konsten *et al.* (1990), ada dua hal yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi reduktif, selain tergenang, yaitu adanya bahan organik segar yang diberikan ke dalam tanah sebagai penyumbang elektron dan energi bagi mikroba pereduksi, dan tersedianya Fe dalam tanah yang dapat direduksi. Kondisi ini dapat dilakukan dengan penanaman padi dan pengembalian jerami dalam bentuk kompos, disertai pengaturan air

1. Staf Peneliti pada Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa, Banjarbaru
2. Staf Pengajar pada Departemen Ilmu Tanah, IPB, Bogor
3. Staf Pengajar pada Departemen Teknik Pertanian, IPB, Bogor
4. Staf BBPMP, Departemen Pertanian

**Tabel 1. Sifat kimia tanah lokasi penelitian**

*Table 1. Chemical properties of experimental site*

Kedalaman cm	pH H <sub>2</sub> O 1:5	C-org. ..... % .....	Total		KCl 1 N		NH <sub>4</sub> OAC pH 7		Tekstur		
			S	Fe	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	KTK	KB	Pasir	Debu	Liat
0-6	3,6	11,1	0,40	1,37	8,7	1,2	40,7	10	-	-	-
6-25	3,6	3,0	0,19	1,65	8,7	0,9	21,9	19	0	32	68
25-56	3,5	4,4	0,16	1,18	9,4	1,3	26,5	19	0	34	66
56-69	3,3	5,3	0,26	1,08	11,9	2,4	33,2	21	1	33	66
69-120	2,6	10,8	1,11	0,41	17,2	10,3	38,0	21	0	31	69

agar selalu tergenang. Adanya peran bahan organik segar dalam memperbaiki kualitas tanah didukung oleh hasil penelitian skala laboratorium yang dilakukan Rachim *et al.* (2000) pada tanah sulfat masam Delta Pulau Petak, Kalimantan Selatan, yang menunjukkan bahwa pemberian bahan organik (jerami padi) pada tanah yang dicuci dapat meningkatkan pH, kandungan Ca dan Mg, serta menurunkan Al, Fe, K, dan Na dalam tanah. Perbaikan kualitas tanah tersebut diharapkan akan meningkatkan produksi tanaman.

Kondisi hidrologi rawa pasang surut sangat dinamik sehingga pengaruh dari pemberian kompos jerami pun dapat bervariasi antar waktu, karena tanah sulfat masam merupakan tanah yang sangat dipengaruhi oleh ketersediaan air yang akan mempengaruhi proses oksidasi-reduksi. Untuk itu perlu dilakukan penelitian pengaruh kompos jerami setengah matang dengan pengamatan berulang sehingga diketahui periode kritis untuk tanaman. Data tersebut juga berguna untuk mengevaluasi sifat-sifat kimia yang berkorelasi dengan produksi padi. Kedua informasi tersebut akan mempermudah dalam pengelolaan tanah sulfat masam.

**BAHAN DAN METODE**

Penelitian dilaksanakan pada tanah sulfat masam (*Typic Sulfaquepts*, halus, campuran, masam, isohipertermik), dengan tipe luapan B (air pasang besar meluapi lahan), di kebun percobaan (KP) Belandean, Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa, Kabupaten Barito Kuala, Kalimantan Selatan, pada Musim Kemarau 2003. Sifat kimia profil tanah lokasi penelitian disajikan pada Tabel 1.

Perlakuan berupa takaran kompos jerami padi, dengan lima taraf yaitu 0,0 (kontrol); 0,9; 1,8; 2,7; dan 3,6 t ha<sup>-1</sup> setara berat kompos jerami kering mutlak (105°C). Perlakuan disusun dalam rancangan acak kelompok dengan tiga ulangan.

Pengomposan jerami padi varietas Margasari dilakukan selama 1 bulan. Kompos diberikan dalam keadaan lembab dan diukur kadar airnya, satu minggu sebelum tanam. Kompos yang diberikan, diambil contohnya dan dilakukan analisis kimia, meliputi : N-total, C-organik, dan basa-basa (K, Ca, dan Mg). Hasil analisis kompos disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Hasil analisis jerami dan kompos yang digunakan dalam penelitian**

*Table 2. Results of rice straw and compost analysis*

Hara	Jerami	Kompos
	..... % .....	
C	48,50	37,70
N	0,62	1,05
K	1,47	4,32
Ca	0,42	3,94
Mg	0,11	0,43
C/N	78,20	35,90

Perlakuan kompos jerami diberikan pada petakan berukuran 4 m x 4 m. Tiap petakan diberi kompos jerami padi sesuai takaran perlakuan. Kompos jerami padi disebar dan dicampur dengan tanah yang sudah melumpur satu minggu sebelum tanam, pada kondisi macak-macak, dimana pintu-pintu air ditutup. Lahan dicuci dengan air pasang menjelang saat tanam.

Tiap petakan ditanami bibit padi varietas Margasari sebanyak tiga tanaman per lubang dengan jarak tanam 20 cm x 20 cm. Pupuk dasar diberikan dengan takaran 67,5 kg N (Urea), 45 kg  $P_2O_5$  (SP-36), dan 60 kg  $K_2O$  (KCl) per ha. Pupuk N diberikan empat kali yaitu masing-masing 1/4 bagian pada saat tanam, 2, 4, dan 6 minggu setelah tanam (MST). Pupuk P diberikan sekaligus saat tanam, sedangkan pupuk K diberikan dua kali, yaitu 1/2 bagian bersamaan pupuk P dan N, dan 1/2 bagian pada 4 MST.

Pasokan air ke petakan berasal dari air pasang besar yang masuk ke lokasi penelitian. Pengendalian hama putih palsu dan walang sangit dilakukan dengan penyemprotan pestisida berbahan aktif BPMC 500 g  $l^{-1}$ , sedangkan untuk mencegah serangan penggerek batang diberi carbofuran 3%.

Untuk mengetahui pengaruh kompos jerami terhadap kualitas tanah pada berbagai periode, dilakukan pengukuran sifat kimia tanah pada 0, 2, 4, 6, 8, 10, dan 12 MST. Dari tiap petakan, contoh tanah diambil secara komposit terpola dengan 9 titik pengambilan, pada kedalaman 0-20 cm pada area yang dijadikan ubinan (3,6 m x 3,6 m, dua baris tanaman keliling dikeluarkan dari ubinan). Parameter yang diukur meliputi pH  $H_2O$ ,  $Fe^{2+}$ -larut,  $SO_4^{2-}$ -larut,  $Al_{dd}$  dan bahan organik tanah (BOT).

Untuk mempelajari pengaruh pemberian kompos jerami terhadap pertumbuhan dan produksi padi dilakukan pengukuran jumlah anakan produktif, jumlah gabah per malai, berat gabah dan jerami.

Untuk mengetahui pengaruh perlakuan yang diuji (kompos jerami) dilakukan analisis ragam, yang berbeda nyata dilanjutkan uji jarak Duncan. Untuk mempelajari hubungan sifat kimia tanah dengan produksi gabah dilakukan studi korelasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kualitas tanah

**Reaksi Tanah (pH).** Pemberian kompos jerami mampu mempengaruhi pH pada minggu ke-0 (saat tanam, satu minggu setelah aplikasi kompos) dan ke-6 setelah tanam (MST) (Tabel 3). Dari Tabel 3 terlihat bahwa pemberian kompos jerami sebesar 3,6 t  $ha^{-1}$  mampu meningkatkan pH sebesar 0,12 unit satuan pada minggu ke-0, dan pemberian dengan takaran  $\geq 0,9$  t  $ha^{-1}$  meningkatkan pH tanah 0,13-0,27 unit satuan pada minggu ke-6. Secara umum, pemberian kompos jerami mempunyai kecenderungan meningkatkan pH tanah.

Pada minggu ke-0, peningkatan pH tanah diduga disebabkan adanya efek asam-asam organik dalam mengikat ion Al dan meningkatkan KTK tanah, hal ini terlihat dari hasil korelasi (Tabel 4). Hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar takaran kompos jerami diberikan pada tanah maka berpeluang semakin besar asam organik yang akan disumbangkan kepada tanah. Asam-asam organik tersebut dapat mengkhelat ion Al sehingga menghambat hidrolisis Al yang akan menghasilkan

**Tabel 3. Pengaruh pemberian kompos jerami terhadap pH tanah**

*Table 3. The influence of rice straw compost on soil pH*

Kompos jerami t $ha^{-1}$	Waktu Pengukuran, minggu ke-						
	0	2	4	6	8	10	12
	pH						
0,0	3,67 a	3,64	3,50	3,45 a	3,38	3,33	3,28
0,9	3,72 a	3,68	3,66	3,66 bc	3,36	3,33	3,21
1,8	3,67 a	3,62	3,57	3,62 b	3,39	3,45	3,35
2,7	3,70 a	3,68	3,54	3,58 b	3,38	3,46	3,34
3,6	3,79 b	3,69	3,66	3,72 c	3,37	3,36	3,38

Dalam satu kolom, angka yang diikuti huruf sama tidak berbeda nyata menurut DMRT 5%. Perbedaan perlakuan pada minggu ke-2, 4, 8, 10, dan 12 tidak nyata.

ion H<sup>+</sup>, akibatnya pH tanah meningkat. Selain itu, peningkatan kandungan bahan organik tanah juga dapat meningkatkan KTK tanah sehingga ion H<sup>+</sup> dalam larutan tanah dapat berkurang. Hasil analisis regresi terhadap 176 contoh tanah sulfat masam Delta Pulau Petak oleh Konsten dan Sarwani (1990) menunjukkan terjadinya peningkatan KTK sebesar 1,01 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> setiap peningkatan satu persen C-organik tanah.

**Tabel 4. Korelasi antar sifat kimia tanah**

*Table 4. Correlation of soil chemical properties*

Waktu pengukuran		pH H <sub>2</sub> O	Al <sub>dd</sub>	Fe <sup>2+</sup> -larut
minggu ke-		..... nilai korelasi .....		
0	Al <sub>dd</sub>	- 0,64**		
	BOT	0,59**	- 0,71**	
6	BOT	0,65**	- 0,62**	0,72**
	Fe-larut	0,62**		

\*\* = sangat nyata

Pada minggu ke-6, peningkatan pH disebabkan oleh adanya efek reduksi Fe. Pada minggu tersebut, pemberian kompos jerami meningkatkan kandungan bahan organik tanah (Tabel 7), dan bahan organik tanah berkorelasi positif dengan Fe<sup>2+</sup>-larut, sedangkan Fe-larut berkorelasi positif dengan pH tanah (Tabel 4). Hasil ini menunjukkan bahwa adanya pemberian kompos jerami memicu terjadinya reduksi Fe, dalam reduksi Fe diperlukan sejumlah ion H<sup>+</sup> untuk meningkatkan pH. Puncak reduksi Fe terjadi pada minggu ke-6, hal ini terlihat dengan adanya peningkatan terbesar konsentrasi Fe<sup>2+</sup> pada minggu tersebut. Akibatnya pH pada tanah yang diberi kompos jerami meningkat dibanding minggu ke-4, sedangkan pH tanah kontrol (tanpa kompos) terus menurun. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan pH merupakan efek reduksi Fe yang dipicu oleh pemberian kompos jerami. Hasil penelitian tersebut mendukung pernyataan Konsten *et al.* (1990) bahwa untuk meningkatkan pH pada tanah sulfat masam, selain kondisi tanah harus tergenang dan Fe yang mudah direduksi tersedia, bahan organik segar ke dalam tanah juga perlu diberikan. Hasil penelitian ini juga mendukung hasil penelitian yang diungkapkan

oleh Ponnampereuma (1985) bahwa kenaikan pH tanah sulfat masam yang digenangi disebabkan oleh adanya reduksi Fe yang memerlukan H<sup>+</sup>. Hal ini karena Fe terdapat sangat banyak pada tanah tersebut, dan semakin banyak bahan organik semakin cepat proses reduksi Fe.

Penurunan pH tanah terjadi sejak minggu ke-2. Hasil ini muncul karena aktivitas penanaman padi pada lahan yang baru dibuka akan merubah sistem tata air yang telah ada. Lahan, yang sebelum dibuka umumnya berada dalam kondisi reduksi (tergenang) dengan gerakan air drainase yang lambat. Setelah dibuka akan berubah menjadi lahan yang terkadang berada dalam keadaan kering dengan drainase yang lebih lancar. Kondisi kering dan perkolasi yang besar dapat menyebabkan teroksidasinya sebagian senyawa pirit yang masih ada pada lapisan atas dan mencuci basa-basa sewaktu air surut, sehingga tanah menjadi lebih masam. Oksidasi ini terjadi karena didukung oleh fluktuasi pasang dan surut air. Pada penanaman musim kemarau, permukaan air puncak surut hingga 33-62 cm di bawah permukaan tanah (Tabel 5). Hal ini memudahkan air hilang melalui perkolasi dan memperbesar oksigen yang masuk, mempengaruhi kemampuan oksidasi yang akan menurunkan pH tanah. Hasil penelitian ini memperkuat hasil penelitian Le Ngoc Sen (1988) dan Yuliana (1998) bahwa semakin dalam air bawah tanah saat didrainase, semakin besar penurunan pH tanah, serta hasil penelitian Ritsema *et al.* (1992) pada tanah sulfat masam Delta Pulau Petak (satu kawasan dengan lokasi penelitian) yang menunjukkan terjadinya penurunan pH tanah secara drastis setelah didrainase, disebabkan karena rendahnya kandungan karbonat sebagai penyangga hasil oksidasi pirit.

**Aluminium (Al<sub>dd</sub>).** Pemberian kompos jerami mampu menurunkan nilai Al<sub>dd</sub> pada minggu ke-0, 2 dan 6 (Tabel 6). Pada minggu ke-0, pemberian kompos jerami mampu menurunkan Al<sub>dd</sub> sebesar 19,95% (pada takaran 2,7 t ha<sup>-1</sup>) dan 25,28% (pada takaran 3,6 t ha<sup>-1</sup>).

**Tabel 5. Rata-rata kedalaman air permukaan saluran tersier lokasi penelitian***Table 5. Average of surface water depth on tertiary canal of experimental site*

Waktu	Puncak pasang besar	Surut maksimal
MST	..... cm .....	.....
0-2	70	14
2-4	84	17
4-6	83	32
6-8	77	28
8-10	77	19
10-12	77	12

MST : minggu setelah tanam. Tinggi muka lahan setara kedalaman 75 cm.

Pada minggu ke-0 (awal tanam), penurunan  $Al_{dd}$  tanah diduga disebabkan oleh adanya kemampuan asam-asam organik dalam mengkhelat ion Al dan meningkatkan KTK tanah. Pada minggu tersebut, pemberian kompos jerami meningkatkan kandungan bahan organik tanah (Tabel 7), dan bahan organik tanah berkorelasi negatif dengan  $Al_{dd}$  dan berkorelasi positif dengan pH tanah (Tabel 4). Hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar takaran kompos jerami yang diberikan semakin besar asam-asam organik yang disumbangkan pada tanah. Asam organik dapat mengkhelat ion Al sehingga kelarutan ion ini menurun. Selain itu, penambahan kompos jerami secara langsung menambah rasio komponen organik yang mengandung Al sangat rendah terhadap komponen mineral tanah (liat) yang mengandung Al sangat tinggi, sehingga jumlah Al yang terukur menjadi rendah.

Pada minggu ke-2, pemberian kompos sebesar  $3,6 \text{ t ha}^{-1}$  mampu menurunkan  $Al_{dd}$  sebesar 13,96%. Penurunan  $Al_{dd}$  pada periode tersebut sama seperti pada minggu ke-0. Hal ini ditunjukkan oleh adanya pengaruh pemberian kompos jerami terhadap peningkatan kandungan bahan organik tanah (Tabel 7), dan adanya korelasi negatif bahan organik tanah dengan  $Al_{dd}$  ( $r = -0,76^{**}$ ).

Dari hasil minggu ke-0 dan 2 dapat disimpulkan bahwa penurunan  $Al_{dd}$  pada minggu tersebut disebabkan oleh efek bahan organik dalam menyumbang asam-asam organik dan basa-basa, karena pada minggu tersebut efek reduksi Fe belum muncul.

Pada minggu ke-6, pemberian kompos jerami  $\geq 1,8 \text{ t ha}^{-1}$  mampu menurunkan  $Al_{dd}$  sebesar 8,53-8,95%. Pada minggu tersebut, pemberian kompos jerami meningkatkan bahan organik tanah (Tabel 7), dan bahan organik tanah berkorelasi dengan  $Fe^{2+}$ -larut dan pH, serta  $Fe^{2+}$ -larut berkorelasi dengan  $Al_{dd}$  (Tabel 4). Hasil ini menunjukkan bahwa kelarutan Al dipengaruhi oleh efek reduksi Fe, yang akan meningkatkan pH tanah sehingga kelarutan ion  $OH^-$  meningkat. Ion tersebut dapat membentuk  $Al(OH)_3$  yang tidak larut. Adanya reduksi Fe terlihat pada peningkatan kelarutan Fe, dimana pada minggu ke-6 tersebut merupakan titik puncak kelarutan Fe sebagai ciri bahwa minggu tersebut merupakan puncak reduksi Fe (Tabel 7).

Dari Tabel 6 terlihat bahwa  $Al_{dd}$  meningkat pada minggu ke-2, dan setelah minggu tersebut

**Tabel 6. Pengaruh pemberian kompos jerami terhadap  $Al_{dd}$** *Table 6. The influence of rice straw compost on Al-exchangeable*

Kompos jerami	Waktu pengukuran, minggu ke-						
	0	2	4	6	8	10	12
$t \text{ ha}^{-1}$	$Al_{dd} \text{ (cmolc kg}^{-1}\text{)}$ .....						
0,0	8,82 a	10,31 a	9,38	9,50 a	9,66	8,63	7,06
0,9	8,07 ab	9,77 ab	9,39	9,66 a	9,28	9,89	10,49
1,8	8,92 a	10,03 a	9,58	8,65 b	9,73	9,51	9,80
2,7	7,06 bc	9,49 ab	9,53	8,64 b	10,07	9,69	9,98
3,6	6,59 c	8,87 b	9,01	8,68 b	9,51	9,67	9,96

Dalam satu kolom, angka yang diikuti huruf sama tidak berbeda nyata menurut DMRT 5%. Perbedaan perlakuan pada minggu ke- 4, 8, 10, dan 12 tidak nyata.

**Tabel 7. Pengaruh pemberian kompos jerami terhadap bahan organik tanah**

*Table 7. The influence of rice straw compost on soil organic matter*

Kompos jerami t ha <sup>-1</sup>	Waktu pengukuran, minggu ke-						
	0	2	4	6	8	10	12
	..... BOT (%) .....						
0,0	12,79 a	9,98 a	11,09	10,61 a	11,71	11,44	12,36
0,9	13,33 ab	11,34 b	11,21	11,15 ab	11,85	12,25	12,58
1,8	13,54 ab	11,31 b	11,15	10,95 ab	12,89	13,00	13,15
2,7	14,56 b	11,90 bc	11,87	11,87 ab	12,81	12,72	13,21
3,6	15,64 b	12,92 c	12,04	12,09 b	12,35	12,82	12,84

Dalam satu kolom, angka yang diikuti huruf sama tidak berbeda nyata menurut DMRT 5%. Perbedaan perlakuan pada minggu ke-4, 8,10, dan 12 tidak nyata.

relatif stabil. Hasil ini karena pada minggu ke-1 s/d 2 terjadi kekeringan akibat rendahnya curah hujan dan muka air pasang, memberi peluang yang lebih besar untuk terjadinya oksidasi pirit sehingga dapat meningkatkan kelarutan Al. Setelah minggu ke-2, terjadi peningkatan muka air pasang sehingga permukaan tanah mampu digenangi selama periode pasang besar, hal ini akan membantu mencegah terjadinya proses oksidasi lanjutan.

**Bahan Organik Tanah (BOT).** Pemberian kompos jerami dengan takaran  $\geq 2,7$  t ha<sup>-1</sup> meningkatkan bahan organik tanah sebesar 1,40-2,29% pada minggu ke-0; 1,65-2,37% pada minggu ke-2 dan 1,51-1,69% pada minggu ke-6 (Tabel 7). Dari Tabel 7 terlihat bahwa bahan organik tanah turun pada minggu ke-2, dan setelah minggu tersebut relatif stabil. Hasil ini menunjukkan bahwa efek pemberian kompos jerami terhadap kandungan bahan organik hanya sampai minggu ke-6, sehingga sifat-sifat kimia yang dipengaruhinya umumnya muncul pada periode tersebut, antara lain peningkatan pH tanah (minggu ke-0 dan 6) dan penurunan Al<sub>td</sub> (minggu ke-0, 2, dan 6) serta peningkatan Fe<sup>2+</sup>-larut (minggu ke-6). Adanya pengaruh pemberian kompos jerami terhadap kandungan bahan organik tanah tersebut mendukung rangkuman hasil-hasil penelitian di Indonesia, Filipina, India, dan Senegal yang diungkapkan oleh Ponnampetuma (1985) bahwa pencampuran jerami padi ke tanah sawah dalam jangka panjang akan meningkatkan kandungan C-organik.

Terjadinya penurunan bahan organik tanah pada minggu ke-2 diduga karena terjadinya proses dekomposisi bahan organik. Pada minggu ke-1 s/d 2, muka air tanah umumnya berada 23,4 cm di bawah permukaan tanah sehingga memberi peluang oksigen masuk dan dimanfaatkan oleh mikroba aerob untuk melakukan dekomposisi bahan organik. Dalam proses dekomposisi, sejumlah karbon dari bahan organik diambil oleh mikroba sebagai sumber energi, sebagian lagi untuk respirasi, menguap ke udara sebagai CO<sub>2</sub>, akibatnya kadar bahan organik tanah yang terukur akan menurun. Hasil tersebut mendukung pernyataan Wanatabe (1984) bahwa adanya perkolasi pada tanah sawah menyebabkan terjadinya peningkatan dekomposisi bahan organik. Setelah minggu ke-2, bahan organik tanah relatif stabil. Hasil ini diduga karena dekomposisi bahan organik berjalan lambat pada kondisi tergenang. Setelah minggu ke-2, air pasang besar sudah mampu meluapi lahan sehingga tanah dapat digenangi. Selama pasang besar, adanya genangan akan menekan kelarutan oksigen dalam tanah, menyebabkan terjadinya dominasi mikroba anaerob yang lebih lambat dalam melakukan dekomposisi bahan organik. Walaupun pada minggu ke-4, 8, 10, dan 12 pemberian kompos jerami tidak nyata meningkatkan bahan organik tanah, namun selama masa pertanaman mempunyai kecenderungan adanya peningkatan bahan organik tanah. Hasil ini menunjukkan bahwa pemberian kompos jerami turut serta mengurangi penurunan bahan organik tanah

akibat penggarapan sawah. Hal ini berarti pemberian kompos jerami selain menciptakan pertanian organik, juga turut serta menjaga stabilitas bahan organik tanah yang ada.

### Kelarutan $Fe^{2+}$ dan $SO_4^{2-}$

**Besi ( $Fe^{2+}$ ).** Pemberian kompos jerami dengan takaran  $\geq 0,9$  t ha<sup>-1</sup> meningkatkan nilai  $Fe^{2+}$ -larut sebesar 60,82 s/d 71,65% pada minggu ke-6 setelah tanam (Tabel 8). Dari Tabel 8 terlihat bahwa kelarutan Fe menurun pada minggu ke-2 dan mencapai puncak pada minggu ke-6. Sejak minggu ke-8 mengalami penurunan hingga minggu ke-12. Pada minggu ke-6, pemberian kompos jerami meningkatkan bahan organik tanah (Tabel 7), dan bahan organik tanah berkorelasi positif dengan  $Fe^{2+}$ -larut (Tabel 4). Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan kelarutan  $Fe^{2+}$  disebabkan oleh meningkatnya kandungan bahan organik tanah, dan memicu proses reduksi Fe.

**Tabel 8. Pengaruh pemberian kompos jerami terhadap  $Fe^{2+}$ -larut tanah**

*Table 8. The influence of rice straw compost on soluble  $Fe^{2+}$*

Kompos jerami t ha <sup>-1</sup>	Waktu Pengukuran, minggu ke-						
	0	2	4	6	8	10	12
	..... $Fe^{2+}$ (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ) .....						
0,0	1,24	0,75	1,97	1,94 a	1,04	1,07	0,20
0,9	1,50	0,73	2,05	3,12 b	1,33	1,16	0,23
1,8	1,47	0,74	2,27	3,33 b	1,29	1,22	0,33
2,7	1,42	0,76	2,29	3,25 b	1,24	1,05	0,33
3,6	1,58	0,70	2,27	3,20 b	1,36	0,97	0,32

Dalam satu kolom, angka yang diikuti huruf sama tidak berbeda nyata menurut DMRT 5%. Perbedaan perlakuan pada minggu ke-0, 2, 4, 8, 10, dan 12 tidak nyata.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengaruh pemberian kompos jerami terhadap peningkatan kelarutan  $Fe^{2+}$  pada musim kemarau hanya terjadi pada waktu puncak reduksi akibat penggenangan, yaitu minggu ke-6, karena peningkatan bahan organik tanah pada minggu ke-0 dan 2 tidak terjadi peningkatan kelarutan  $Fe^{2+}$ . Adanya peran bahan organik dalam meningkatkan

reduksi Fe tersebut mendukung hasil penelitian yang diungkapkan oleh Ponnampertuma (1985), yang menyimpulkan bahwa semakin banyak bahan organik semakin cepat proses reduksi Fe. Bahan organik sebagai sumber elektron dan energi bagi mikroba pereduksi memicu terjadinya proses reduksi Fe. Dari Tabel 8 terlihat bahwa reduksi Fe tetap terjadi walau tanpa pemberian kompos jerami (perlakuan kontrol). Hal ini menunjukkan bahwa efek penggenangan lebih dominan dari efek kompos jerami dalam proses reduksi Fe.

Penurunan kelarutan  $Fe^{2+}$  pada minggu ke-2, terjadi karena sejak minggu ke-1 s/d 2, tinggi muka air pasang besar berada di bawah permukaan tanah disertai curah hujan yang rendah sehingga muka air tanah di petakan berada rata-rata 24,3 cm di bawah permukaan tanah (Tabel 5). Kondisi tersebut memudahkan oksigen masuk dan dapat melakukan oksidasi  $Fe^{2+}$  sehingga terjadi penurunan. Setelah minggu ke-2, air pasang besar mampu masuk ke petakan, lahan mulai dapat digenangi sehingga memicu proses reduksi, dan mencapai puncak pada minggu ke-6. Adanya penurunan kelarutan  $Fe^{2+}$  setelah mencapai puncak pada minggu ke-6 mendukung hasil penelitian yang diungkapkan oleh Ponnampertuma (1985), menyimpulkan bahwa perubahan kelarutan  $Fe^{2+}$  dipengaruhi oleh pH, bahan organik, kadar dan reaktivitas oksida  $Fe^{3+}$  serta kadar garam.

Dari pola ini jelas bahwa nilai kelarutan  $Fe^{2+}$  tanah sebelum mencapai titik puncak sangat dipengaruhi kondisi genangan air di petakan. Pada saat kekeringan, nilai  $Fe^{2+}$ -larut akan menurun, sedangkan pada kondisi tergenang akan naik. Penggenangan yang ditopang ketersediaan bahan organik akan membantu memicu terjadinya reduksi  $Fe^{2+}$  sehingga kelarutannya meningkat.

Pada awal tanam,  $Fe^{2+}$ -larut 1,48 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, sedangkan pada saat panen  $Fe^{2+}$ -larut 0,30 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, hasil ini menunjukkan bahwa selama masa tanam musim kemarau, terjadi penurunan nilai  $Fe^{2+}$ -larut sebesar 79,7%. Perkolasi yang besar selama musim kemarau dengan pasokan air pasang dan

hujan sebesar 8.361 mm turut mencuci Fe dalam larutan tanah. Hasil penelitian tersebut mendukung hasil penelitian skala laboratorium yang dilakukan oleh Suping *et al.* (1993), Yuliana (1998), dan Murtalaksono *et al.* (2001) yang mendapatkan adanya drainase (pencucian) akan menurunkan Fe<sup>2+</sup> tanah.

**Sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>).** Pemberian kompos jerami tidak nyata mempengaruhi kelarutan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, namun cenderung meningkatkan kelarutan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (Tabel 9). Hasil ini diduga karena efek reduksi SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> menjadi H<sub>2</sub>S yang dapat menurunkan kelarutan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> tidak terjadi, karena efek pemberian kompos jerami terhadap peningkatan bahan organik tanah hanya terjadi sampai minggu ke-6 (Tabel 7), dan telah dimanfaatkan untuk mereduksi Fe. Hal ini karena potensial redoks Fe lebih tinggi daripada SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

**Tabel 9. Pengaruh pemberian kompos jerami terhadap SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-larut tanah**

*Table 9. The influence of rice straw compost on soluble SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>*

Kompos jerami	Waktu pengukuran, minggu ke-						
	0	2	4	6	8	10	12
t ha <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )						
0,0	0,59	0,70	0,70	0,71	0,80	0,46	0,39
0,9	0,73	0,50	0,70	0,94	1,01	0,68	0,52
1,8	0,75	0,56	0,76	0,77	1,04	0,67	0,53
2,7	0,77	0,77	0,90	0,82	1,13	0,74	0,51
3,6	0,72	0,60	0,81	0,80	1,14	0,63	0,59

Dalam satu kolom, angka yang diikuti huruf sama tidak berbeda nyata menurut DMRT 5%. Perbedaan perlakuan pada minggu ke-0, 2, 4, 8, 10, dan 12 tidak nyata.

Berdasarkan sistem redoks pada tanah sawah yang diungkapkan oleh Patrick dan Reddy (1978), elektron digunakan lebih dulu untuk mereduksi O<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Mn<sup>4+</sup>, dan Fe<sup>3+</sup> sebelum digunakan untuk mereduksi SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Selain itu, pH tanah untuk mendukung proses reduksi SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> berjalan cepat tidak tercapai. Menurut Dent (1986) dan Breemen (1993) proses reduksi SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> membutuhkan pH tanah antara 4,0-5,0, sedangkan selama pertanaman, pH tanah di bawah 4,0. Adanya kecenderungan peningkatan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> diduga karena dekomposisi jerami selama

proses pengomposan menghasilkan ion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, selain itu adanya kecenderungan peningkatan pH tanah akibat pemberian kompos dapat menyebabkan terlepasnya ion tersebut dari kompleks jerapan. Terjadinya penurunan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> larut pada minggu ke-2 pada petak yang diberi kompos jerami diduga karena pada minggu tersebut lahan sering berada pada kondisi kering sehingga peran bahan organik sebagai buffer (penyangga efek oksidasi) lebih dominan dari pada sebagai penyumbang ion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

Pada minggu ke-8 kelarutan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> meningkat tajam, yang diduga karena adanya kecenderungan peningkatan bahan organik tanah (Tabel 6) dan hilangnya efek reduksi Fe, yang turut meningkatkan pH tanah. Terjadinya penurunan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> pada minggu ke-10 dan 12 diduga sebagai efek pencucian melalui fluktuasi muka air tanah saat pasang dan surut, karena pada minggu tersebut puncak surut berada pada titik paling rendah sehingga memperbesar kemampuan pencucian (Tabel 5).

Dari Tabel 8, terlihat bahwa pada saat panen terjadi penurunan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-larut rata-rata sebesar 27,0% dibanding saat tanam, yang menunjukkan bahwa pencucian yang terjadi melalui perkolasi selama musim kemarau turut menurunkan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-larut.

**Pertumbuhan tanaman dan produksi padi**

Berdasarkan pengamatan lapangan terhadap penampilan tanaman (gejala fisiologis dan pertumbuhan) selama masa pertanaman, pengaruh pemberian kompos jerami terlihat sangat menonjol pada periode masa kritis pertumbuhan, yaitu sejak tanam hingga umur 6 MST. Pada periode tersebut peran kompos jerami padi sangat jelas, dimana pertumbuhan padi relatif lebih baik dibanding petak kontrol, sesuai tingkat takaran pemberian kompos. Penampilan takaran 2,7 t ha<sup>-1</sup> relatif sama dengan 3,6 t ha<sup>-1</sup>.

Pada puncak kekeringan minggu ke-2, sebagian tanaman di petakan yang diberi kompos jerami dengan takaran rendah (0 atau 0,9 t ha<sup>-1</sup>) dan mengalami kekeringan, terhambat pertumbuhannya.

Terhambatnya pertumbuhan tersebut diduga karena terjadinya keracunan Al, terlihat dari adanya peningkatan  $Al_{dd}$  tanah pada minggu tersebut (Tabel 6). Hal ini didukung dari pengamatan lapangan dimana pertumbuhan tanaman sangat terhambat pada petakan yang lebih kering dibanding yang masih lembab, serta pertumbuhan akar yang pendek. Rorison (1973) menyatakan bahwa kelarutan Al yang tinggi menghambat perkembangan jaringan, pemanjangan akar dan pembelahan sel akar, sehingga menghambat pertumbuhan. Dari Tabel 6, diketahui bahwa nilai  $Al_{dd}$  pada minggu ke-2, yang menyebabkan terhambatnya pertumbuhan tanaman padi berkisar 10,25-10,33  $cmol_c\ kg^{-1}$  (922,5-929,7 ppm), suatu nilai yang dapat meracuni tanaman, karena menurut Breemen (1976) keracunan tanaman padi dapat terjadi pada konsentrasi yang rendah (1-2 ppm). Hasil penelitian tersebut juga mendukung pendapat Mensvoort *et al.* (1985) bahwa keracunan Al pada padi sawah hanya terjadi pada tanah sulfat masam, dan dapat terjadi walaupun sudah digenangi cukup lama.

Pada penanaman musim kemarau gejala keracunan Fe pada padi tidak muncul. Hasil ini menunjukkan bahwa sampai nilai kandungan  $Fe^{2+}$ -larut mencapai puncak sebesar 3,17  $cmol_c\ kg^{-1}$  (887,6 ppm), belum meracuni padi varietas Margasari. Padi varietas tersebut merupakan varietas yang relatif tahan terhadap keracunan  $Fe^{2+}$  dan adaptif pada tanah sulfat masam, serta mempunyai daya pulih yang cukup baik terhadap keracunan Fe. Hasil pengamatan tersebut selaras dengan hasil penelitian Khairullah (2005) yang mendapatkan bahwa padi varietas Margasari mempunyai kemampuan mengoksidasi  $Fe^{2+}$  di daerah perakaran dan kemampuan akar untuk tidak meneruskan  $Fe^{2+}$  ke bagian daun. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa varietas tersebut mempunyai kemampuan mengurangi dampak keracunan Fe.

Dari hasil studi korelasi antara sifat kimia tanah dengan komponen pertumbuhan dan produksi, diketahui bahwa jumlah anakan produktif berkorelasi positif dengan  $SO_4^{2-}$ -larut pada minggu ke-0 ( $r = 0,60^{**}$ ), pH pada minggu ke-2 ( $r = 0,59^{**}$ ) dan

berkorelasi negatif dengan  $Fe^{2+}$ -larut ( $r = -0,57^{**}$ ) pada minggu ke-6. Hasil ini menunjukkan bahwa jumlah anakan produktif ditentukan oleh sifat kimia dominan pada titik kritis. Pada minggu 1 sampai dengan 2, lahan sering kekurangan air sehingga tanah semakin masam dan pH tanah menjadi faktor pembatas, sedangkan pada minggu ke-6 merupakan puncak reduksi, kelarutan ion  $Fe^{2+}$  berada pada titik puncak sehingga menjadi faktor pembatas. Adanya korelasi positif antara ion  $SO_4^{2-}$  dengan anakan produktif menunjukkan bahwa ion tersebut dibutuhkan sebagai sumber hara tanaman dan konsentrasinya masih berada dalam batas toleransi varietas padi tersebut.

Berat gabah berkorelasi positif dengan pH dan bahan organik tanah (BOT), berkorelasi negatif dengan  $Al_{dd}$  dan  $Fe^{2+}$ -larut, serta berkorelasi positif dengan  $SO_4^{2-}$ -larut pada minggu ke-2 dan 4, dan berkorelasi negatif dengan  $SO_4^{2-}$  pada minggu ke-6 (Tabel 10).

**Tabel 10. Korelasi antara sifat kimia tanah dengan hasil padi**

*Table 10. Correlation of soil chemical properties and rice yield*

Waktu pengukuran	Sifat kimia	Berat gabah
0	pH	0,45*
	Al	- 0,57*
	BOT	0,45*
2	pH	0,45*
	Fe	- 0,54*
	$SO_4^{2-}$	0,53*
4	Fe	- 0,46*
	$SO_4^{2-}$	0,53*
6	Al	- 0,45*
	$SO_4^{2-}$	- 0,52*

\* = nyata

Hasil ini menunjukkan bahwa pH,  $Al_{dd}$ ,  $Fe^{2+}$ -larut dan  $SO_4^{2-}$  larut serta bahan organik tanah merupakan sifat kimia yang menentukan pertumbuhan dan hasil padi pada musim kemarau. Adanya korelasi negatif antara Fe dengan berat gabah pada minggu ke-2 dan 4 menunjukkan bahwa ion tersebut turut mengurangi produksi padi,

**Tabel 11. Pengaruh pemberian kompos jerami terhadap pertumbuhan dan produksi padi**

*Table 11. The influence of rice straw compost on growth and rice yield*

Takaran kompos jerami	Jumlah anakan produktif	Jumlah gabah isi	Berat gabah	Berat jerami kering
t ha <sup>-1</sup>	per rumpun	per malai	..... kg/16 m <sup>2</sup> .....	.....
0	8,67 a	97,02 a	3,705 a	5,541 a
0,9	12,79 b	129,10 b	4,766 b	8,663 b
1,8	12,87 b	138,14 bc	5,045 bc	8,729 b
2,7	13,70 b	147,85 c	5,485 c	8,879 b
3,6	13,22 b	142,03 bc	5,407 c	8,604 b

Dalam satu kolom, angka yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut DMRT 5%

walaupun tidak memunculkan gejala keracunan Fe pada daun. Hal ini diduga karena efek tidak langsung dari besarnya kelarutan Fe di daerah perakaran terhadap penyerapan unsur hara lain. Adanya perubahan korelasi dari SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-larut pada minggu ke-2 dan 4 (+) dengan minggu ke-6 (-) menunjukkan bahwa ion tersebut diperlukan oleh tanaman, dan bila konsentrasinya meningkat akan bersifat menghambat. Dari Tabel 9 terlihat bahwa konsentrasi SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> larut bersifat menurunkan produksi gabah bila mencapai 0,81 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> (rata-rata minggu ke-6).

Pemberian kompos jerami meningkatkan jumlah anakan, jumlah gabah isi per malai, berat gabah dan jerami (Tabel 11). Takaran yang nyata memberi hasil gabah tertinggi adalah 2,7 t ha<sup>-1</sup> dengan hasil 5,485 kg per 16 m<sup>2</sup> (3,428 t ha<sup>-1</sup>). Pemberian dengan takaran ini mampu meningkatkan gabah sebesar 45,9% (931 kg ha<sup>-1</sup>) dibanding kontrol, dan menghasilkan jerami kering sebesar 8,879 kg per 16 m<sup>2</sup> (5,549 t ha<sup>-1</sup>). Hasil jerami kering tersebut cukup untuk keperluan pemberian kompos pada musim hujan (5,0 t ha<sup>-1</sup> jerami kering = 3,6 t ha<sup>-1</sup> kompos). Peningkatan hasil gabah disebabkan oleh meningkatnya anakan produktif (r = 0,42\*) dan jumlah gabah per malai (r = 0,62\*\*), sedangkan peningkatan berat jerami kering disebabkan oleh meningkatnya jumlah anakan produktif (r=0,56\*\*). Hasil penelitian tersebut mendukung hasil penelitian yang diungkapkan oleh Oh (1984), dimana pemberian kompos jerami sebesar 11,25 t ha<sup>-1</sup> mampu meningkatkan hasil padi sebesar 63%.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Pemberian kompos jerami mampu memperbaiki kualitas tanah pada fase vegetatif (mulai minggu ke-0 sampai 6 setelah tanam) berupa : peningkatan pH dan bahan organik tanah, penurunan Al<sub>dd</sub> tanah, dan peningkatan kelarutan Fe<sup>2+</sup> dan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. pH dan bahan organik tanah berkorelasi positif dengan produksi padi, Al<sub>dd</sub>, dan Fe<sup>2+</sup> berkorelasi negatif, sedangkan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> berkorelasi positif pada minggu ke-2 dan 4 dan berkorelasi negatif bila kelarutannya mencapai 0,81 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>. Di antara sifat kimia tersebut, Al<sub>dd</sub> mempunyai korelasi terbesar. Pemberian kompos dengan takaran 2,7 t ha<sup>-1</sup> (setara berat kering) mampu meningkatkan hasil gabah sebesar 48% dibanding kontrol.

### Saran

Pemberian kompos jerami (setengah matang) memperbaiki kualitas tanah selama fase vegetatif dan meningkatkan hasil gabah sebesar 48%. Oleh karena itu disarankan agar jerami padi yang dihasilkan setiap panen dikembalikan ke sawah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Breemen, N.V. 1976.** Genesis and solution chemistry of acid sulphate soils in Thailand (Pudoc). Wageningen: Centre for Agric. Publ. and Duc.
- Breemen, N.V. 1993.** Environmental aspects of acid sulphate soils. *In* Dent D.K. and M.E.F. van Mensvoort (Eds.). Selected paper of the Ho

Chi Minh City Symposium on Acid Sulphate Soils; Vietnam, March 1992. Pp 391-402.

- Dent, D. 1986.** Acid Sulphate Soils: A baseline for research and development. Wageningen: ILRI Publ. 39p.
- Khairullah, I. 2005.** Mekanisme Toleransi Keracunan Besi pada Varietas Lokal Padi (*Oryza sativa* L.) Pasang Surut di Kalimantan Selatan (Tesis). Banjarbaru: Pascasarjana Agronomi, Universitas Lambung Mangkurat.
- Konstens, C.J.M., S. Suping, I B. Aribawa, and I P.G. Widjaja-Adhi. 1990.** Chemical processes in acid sulphate soils in Pulau Petak, South and Central Kalimantan. *In* AARD/LAWOO (Ed.). Paper Workshop on Acid Sulfate Soils in the Humid Tropics. Bogor, 20-22 November 1990. AARD. Pp. 109-135.
- Mensvoort, M.E.F. van, R.S. Lantin, R. Brinkman, and W. Breemen. 1985.** Toxicities of wetland soils. *In* IRRI. Wetland Soils: Characterization, Classification, and Utilization. IRRI. Los Banos, Philippines.
- Murtlaksono, K., Sudarmo, A. Sutandi, A. Djajakirana, dan U. Sudadi. 2001.** Model sistem drainase dalam hubungannya dengan oksidasi pirit serta pengaruhnya terhadap sifat kimia tanah dan kualitas air pada tanah sulfat masam. Laporan Penelitian Hibah Bersaing Perguruan Tinggi TA 1998/99-2000/01. Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Oh, W.K. 1984.** Effect of organic matter on rice production. *In* IRRI (ed). Organic Matter and Rice. Los Banos, Philippines. Pp 477-488.
- Patrick Jr, W.H. and C.N. Reddy. 1978.** Chemical change in rice soil. *In* Soil and Rice. IRRI. Los Banos, Philippines.
- Ponnamperuma, F.N. 1985.** Chemical kinetics of wetland rice soils relative to soil fertility. *In* Wetland Soils: Characterization, Classification, and Utilization. IRRI. Los Banos, Philippines.
- Rachim, A., K. Murtlaksono, A. Sastiono, dan Sudradjad. 2000.** Peningkatan produktivitas tanah sulfat masam untuk budidaya tanaman palawija melalui pencucian dan penggunaan amelioran. Laporan Akhir Hibah Bersaing Perguruan Tinggi TA 1997/98-1999/00. Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Ritsema, C.J., J.E. Groenenberg, and E.B.A. Bisdom. 1992.** The transformation of potential into actual acid sulphate studied in column experiment. *Geoderma* 55:259-271.
- Rorison, I.J. 1973.** The effect of extreme soil acidity on the nutrient uptake and physiology of plants. *In* Dost, H. (Ed). Proc. Int. Symp. Acid Sulphate Soils. Wageningen: 13-20 August 1972. Wageningen. ILRI Publ. 18(I):223-254.
- Sen, L.N. 1988.** The evaporation and acidification process in an acid sulphate soils. *In* Dost H. (Ed). Selected Papers of the Dakkar Symposium on Acid Sulphate Soils; Dakkar, January 1986. Wageningen : ILRI. Publ. 44. Hlm 135-149.
- Suping, S., K. Nugroho, I B. Aribawa, H. Kadri, dan Rahmiati. 1993.** Pengaruh pencucian. *Dalam* Laporan Hasil Penelitian Pengelolaan Tanah Sulfat Masam. Puslittanak bekerjasama dengan Proyek Pembangunan dan Pengembangan Pertanian. Bogor.
- Wanatabe, I. 1984.** Anaerobic decomposition of organic matter in flooded rice soils. *In* IRRI (Ed). Organic Matter and Rice. Los Banos, Philippines. Pp 237-258.
- Widjaja-Adhi, I P.G., K. Nugroho, D.A. Suriadikarta, dan A.S. Karama. 1992.** Sumber daya lahan rawa: potensi, keterbatasan, dan pemanfaatan. *Dalam* Partohardjono dan M. Syam (Eds). Risalah Pertemuan Nasional Pengembangan Terpadu Pertanian Lahan Rawa Pasang Surut dan Lebak, Cisarua 3-4 Maret 1992. Puslitbang Tanaman Pangan. Bogor. Hlm 19-38.
- Yuliana, E.D. 1998.** Pengaruh lama pengeringan dan kedalaman muka air tanah terhadap sifat-sifat dan produktivitas tanah berpirit dari Karang Agung Ulu, Sumatera Selatan. Tesis. Program Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.