

Pelindian Tanah Balandean Kalimantan Selatan pada Beberapa Kondisi Potensial Redok Menggunakan Sumber Air Insitu

Soil Leaching of on Particular Condition of Redox Potential by Insitu Water Source in Balandean South Kalimantan

M. ALWI¹, S. SABIHAM², S. ANWAR³, SUWARNO³, DAN ACHMADI¹

ABSTRAK

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kesuburan Tanah, Fakultas Pertanian, IPB dari Maret hingga Juli 2009. Perlakuan disusun dalam Rancangan Acak Lengkap Faktorial dengan tiga ulangan. Sebagai faktor pertama adalah tiga sumber air pelindi yaitu: air hujan, gambut, dan payau. Sedangkan faktor kedua adalah kondisi awal potensial redok bahan tanah meliputi: -100 ± 25, 0 ± 25, 100 ± 25, 200 ± 25, 300 ± 25, dan 400 ± 25 mV. Pada kondisi potensial redok 400 mV rata-rata konsentrasi Fe²⁺, Fe-total, SO₄²⁻, dan Al pada air lindian turun masing-masing dari: 376,76; 554,44; 961,55; dan 961,55 ppm (minggu pertama pelindian) menjadi 227,20; 312,22; 506,86; dan 44 ppm (minggu kedelapan pelindian). Pelindian bahan tanah dengan air gambut selama delapan minggu menurunkan konsentrasi Fe²⁺, Fe-total, SO₄²⁻, dan Al pada air lindian masing-masing dari: 412,50; 493,11; 823,57; dan 110,5 ppm (minggu pertama pelindian) menjadi 253,65; 302,50; 463,60; dan 29,50 ppm (minggu kedelapan pelindian). Selanjutnya konsentrasi Fe²⁺, Fe-total, SO₄²⁻, dan Al bahan tanah setelah dilindi selama delapan minggu turun masing-masing dari: 578,26; 3.680; 1.011,26 ppm, dan 18,66 me 100g⁻¹ menjadi 350,6; 3.095; 376,76 ppm; dan 11,79 me 100g⁻¹.

Kata kunci : Tanah Balandean, Pelindian, Potensial redoks

ABSTRACT

The experiment was conducted in Soil Fertility Laboratory, Agriculture Faculty, IPB from March to July 2009. The treatment was arranged in Factorial Completely Randomized Design with two factors i.e. insitu water source and condition of redox potential. Water source for leaching was fresh water, peat water, and brackish water. The condition of redox potential consisted of: -100 ± 25, 0 ± 25, 100 ± 25, 200 ± 25, 300 ± 25, and 400 ± 25 mV. In leachate water on redox potential as 400 mV, the concentration of Fe²⁺, total Fe, SO₄²⁻, and Al were 376.76, 554.44, 961.55, and 180 ppm respectively (at first week) decreased into 227.20, 312.22, 506.86, and 44 ppm (at eight week). Whereas in leachate water that leaching by peat water, at the first week concentration of Fe²⁺, total Fe, SO₄²⁻, and Al were 412.50, 493.11, 823.57, and 110.50 ppm decreased into 253.65, 302.50, 463.60, and 29.50 ppm at the eighth week. After leaching as long as eighth weeks, concentration of Fe²⁺, total Fe, SO₄²⁻, and Al in soil material decreased from 578.26 ppm, 3680 ppm, 1011.26 ppm, and 18.66 me 100g⁻¹ to 350.26 ppm, 3095 ppm, 376.76 ppm, and 11.79 me 100g⁻¹.

Keywords : Balandean soil, Leaching, Redox potential

PENDAHULUAN

Bahan tanah yang digunakan pada penelitian ini diambil dari Kebun Percobaan Balandean, yang merupakan salah satu kebun percobaan Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa dan telah dilakukan klasifikasi tanahnya pada tahun 2002. Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa tanah di lokasi tempat pengambilan contoh tanah adalah Typic Sulfaquepts, sangat halus, campuran, masam, isohipertermik.

Karakteristik mineralogi tanah ini penting diketahui karena komposisi bahan kimianya memegang peranan penting dalam mengendalikan perilaku ion-ion dalam larutan tanah. Dent (1986) mengatakan bahwa pada tanah ini dijumpai mineral kuarsa dan markasit. Mineral markasit (FeS₂) merupakan isotipe dari mineral pirit yang terbentuk sehubungan dengan lingkungan pengendapan air payau. Sedangkan Mulyanto *et al.* (1999) mengemukakan bahwa hasil analisis mineral liat dari semua contoh tanah yang diperlakukan dengan penjuenan K⁺, Mg²⁺, dan Mg²⁺ + glycol menunjukkan bahwa tanah ini mengandung mineral kaolinit, mika, mineral liat campuran mika-smektit, mika-vermikulit, smektit-kaolinit dan smektit.

Reaksi reduksi-oksidasi pirit merupakan penyebab utama munculnya masalah di tanah Typic Sulfaquepts. Menurut Dent (1986); Jaynes *et al.* (1984) proses reduksi tanah ini menghasilkan

1. Peneliti pada Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa, Banjarbaru.
2. Guru besar di Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
3. Pengajar di Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

$\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})}$ dan $\text{H}_2\text{S}_{(\text{aq}, \text{g})}$. Reduksi besi (Fe III menjadi Fe II) menyebabkan pH tanah naik menjadi tujuh dan (potensial redok) Eh turun menjadi -180 mV, sedang reduksi sulfat ($\text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$ menjadi $\text{H}_2\text{S}_{(\text{aq}, \text{g})}$) menyebabkan pH tanah naik menjadi tujuh dan Eh turun hingga -220 mV. Pirit adalah bentuk umum dan sangat stabil merupakan produk akhir dari reduksi sulfat. Oksidasi pirit menghasilkan $\text{Fe}(\text{OH})_3_{(\text{s})}$, $\text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$, dan $\text{H}^+_{(\text{aq})}$. Van Mensvoort dan Dent (1998) mengemukakan bahwa oksidasi pirit akan menghasilkan jarosit yang keberadaannya pada kondisi oksidasi kuat (Eh > + 400 mV) dan menyebabkan tanah menjadi masam (pH < 3,7). Pembentukan K-jarosit dari pirit menghasilkan $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6_{(\text{s})}$, $\text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$, dan $\text{H}^+_{(\text{aq})}$. Pada pH lebih tinggi, jarosit terhidrolisis menjadi goetit ($\text{FeO} \cdot \text{OH}_{(\text{s})}$), $\text{H}^+_{(\text{aq})}$, dan $\text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$ (Dent, 1986).

Sumber air yang umum dijumpai di lingkungan lahan pasang surut adalah air laut di daerah pantai, air payau dan tawar di daerah lebih ke pedalaman, dan air gambut di daerah bagian tengah kawasan atau delta. Van Breemen dan Brinkman (1978) mengemukakan bahwa senyawa organik berbobot molekul rendah (asam-asam sitrat, oksalat, vanillat dan *p*-hidroksi benzoat), sebagaimana asam fulvat yang lebih kompleks memainkan peranan penting dalam membentuk kelat. Gugus fenolat dan karboksilat dari asam fulvat membentuk semacam cakar yang mempunyai afinitas sangat kuat bagi ion-ion logam trivalen seperti Al dan Fe membentuk kelat.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari hubungan antara sumber air pelindi dan beberapa kondisi awal Eh bahan tanah dengan konsentrasi Fe^{2+} , Fe-total, SO_4^{2-} , dan Al pada air lindian serta bahan tanah setelah dilindi selama delapan minggu.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kesuburan Tanah, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB dari Maret hingga Juli 2009. Perlakuan disusun dalam Rancangan Acak Lengkap Faktorial dengan tiga

ulangan. Sebagai faktor I adalah sumber air pelindi yang terdiri dari: 1) air gambut, 2) air payau, dan 3) air hujan. Sedangkan faktor II adalah beberapa kondisi awal Eh bahan tanah masing-masing: a) -100 ± 25 , b) 0 ± 25 , c) 100 ± 25 , d) 200 ± 25 , e) 300 ± 25 , dan f) 400 ± 25 mV. Bahan tanah dengan kondisi Eh 400 mV diperoleh dari pengukuran bahan tanah yang telah ditumbuk dan diayak dengan ayakan 2 mm pada keadaan kering udara. Sedangkan kondisi Eh 300 mV terjadi setelah bahan tanah dijenuhi dengan air gambut, payau, dan hujan selama 12 jam. Berikutnya kondisi Eh 200 mV untuk bahan tanah yang dijenuhi dengan air payau setelah penjenuhan selama 14 jam, sedang untuk bahan tanah yang dijenuhi dengan air gambut dan hujan kondisi Eh 200 mV diperoleh setelah penjenuhan berlangsung 24 jam. Selanjutnya kondisi Eh 100 mV terjadi setelah penggenangan dengan air gambut, payau, dan hujan selama tujuh hari. Kemudian kondisi Eh 0 dan -100 mV diperoleh melalui pemompaan dengan gas N_2 . Kondisi Eh 0 mV diperoleh setelah dilakukan pemompaan dengan gas N_2 pada tekanan 1,2 atm selama ± 2 menit ditutup dan dibuka beberapa kali. Sedangkan kondisi Eh -100 mV dicapai melalui pemompaan gas N_2 pada tekanan 1,5 atm selama ± 3 menit ditutup dan dibuka beberapa kali. Air payau diperoleh dengan cara mengencerkan air laut ($58.000 \mu\text{S cm}^{-1}$) hingga mencapai nilai DHL (daya hantar listrik) yang sesuai dengan rata-rata tiga kali pengukuran DHL saat air pasang besar dan pasang kecil di kebun percobaan (KP) Balandean ($610,5 \mu\text{S cm}^{-1}$).

Bahan tanah diambil dari KP Balandean melalui pemboran tanah pada beberapa titik di areal yang akan diambil contoh tanahnya. Bahan tanah diambil dari kedalaman 85-125 cm (bahan sulfidik dengan kadar pirit 3,8 %) diangkat ke atas, sehingga mengalami oksidasi dan pada beberapa bagian permukaan tanahnya telah berubah menjadi gotit. Waktu yang diperlukan untuk merubah bahan sulfidik menjadi gotit pada kondisi lapang adalah enam bulan dari bulan September 2008 hingga Maret 2009. Bahan tanah ditumbuk dan diayak dengan saringan berukuran 2 mm selanjutnya dimasukkan ke dalam tabung berdiameter 3,99 cm (1,5 inchi) dengan panjang 25 cm seberat 250 g.

Untuk menahan agar bahan tanah di dalam tabung tidak keluar, pada ujung bagian bawah tabung diberi saringan yang tidak tembus liat, diperkuat dengan saringan kawat dan ditutup rapat dengan plastik agar air tertahan selama penggenangan. Pelindian bahan tanah dengan air gambut, payau, dan hujan dilakukan setelah tercapai kondisi Eh sesuai dengan perlakuan yang diinginkan.

Hasil analisis awal bahan tanah yang diambil pada kedalaman 85-125 cm secara komposit menunjukkan bahwa tingkat kemasaman tanah sangat masam, ketersediaan hara N tergolong rendah, P-tersedia tergolong sangat rendah, K-dd tergolong sedang, Ca-dd tergolong sangat rendah, Mg-dd tergolong rendah, serta P-total tergolong rendah dan K-total tergolong tinggi (Tabel 1). Kondisi ini menunjukkan bahwa lapisan tanah tersebut sangat masam dengan tingkat kesuburan yang sangat rendah. Konsentrasi Fe, SO_4^{2-} , dan Al yang sangat tinggi menyebabkan kemasaman bahan tanah tinggi.

Jumlah air gambut, payau, dan hujan yang digunakan untuk melindi bahan tanah diduga dari curah hujan sebesar 25 mm hari⁻¹. Air hasil lindian ditampung dalam gelas ukur berkapasitas 100 ml untuk dianalisis konsentrasi Fe^{2+} , Fe-total, SO_4^{2-} , dan Al. Pelindian bahan tanah pada beberapa kondisi awal Eh menggunakan air gambut, payau, dan hujan dilaboratorium diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pelindian bahan tanah pada beberapa kondisi Eh menggunakan air gambut, payau, dan hujan

Figure 1. Leaching of soil material by fresh water, peat water, and brackish water on particular condition of redox potential

Tabel 1. Hasil analisis awal bahan tanah dari KP Balandean, Kabupaten Barito Kuala, Kalimantan Selatan, tahun 2009

Table 1. Result of soil material analysis at Balandean xperiment Station, Barito Kuala Regency, South Kalimantan, 2009

Sifat kimia bahan tanah dan air pelindi	Nilai	Keterangan
<i>Bahan tanah</i>		
pH H ₂ O	3,31	Sangat masam
N-total (%)	0,196	Rendah
P-tds (ppm P ₂ O ₅)	1,260	Sangat rendah
K-tds (me 100g ⁻¹)	0,260	Sedang
Ca-dd (me 100g ⁻¹)	0,469	Sangat rendah
Mg-dd (me 100g ⁻¹)	0,435	Rendah
Na (me 100g ⁻¹)	0,086	Sangat rendah
P-total (me 100g ⁻¹ P ₂ O ₅)	18,39	Rendah
K-total (me 100g ⁻¹ K ₂ O)	53,90	Tinggi
Al-dd (me 100g ⁻¹)	18,32	-
SO ₄ ²⁻ (ppm)	3.328	-
Fe-total (ppm)	3.680	-
Kandungan pirit (%)	3,80	-
<i>Air hujan</i>		
Al (ppm)	Tu	-
Fe ²⁺ (ppm)	2,50	-
Fe-total (ppm)	5,50	-
SO ₄ ²⁻ (ppm)	5,84	-
<i>Air payau</i>		
Al (ppm)	0,50	-
Fe ²⁺ (ppm)	3,75	-
Fe-total (ppm)	5,7	-
SO ₄ ²⁻ (ppm)	6,88	-
<i>Air gambut</i>		
Al (ppm)	0,5	-
Fe ²⁺ (ppm)	3,75	-
Fe-total (ppm)	5,60	-
SO ₄ ²⁻ (ppm)	6,18	-

Parameter yang diukur meliputi : 1) analisis bahan tanah awal terdiri dari: 1) pH H₂O, Al-dd, Fe-total, SO_4^{2-} , N-total, P-tds, P-total, K-dd, K-total, Ca-dd, dan Mg-dd, 2) analisis konsentrasi Fe^{2+} , Fe-total, SO_4^{2-} , dan Al-dd bahan tanah setelah dilindi selama delapan minggu, dan 3) analisis konsentrasi Fe^{2+} , Fe-total, SO_4^{2-} , dan Al pada air lindian (setiap minggu).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi Fe²⁺ pada air lindian dan bahan tanah

Secara umum konsentrasi Fe²⁺ pada air lindian mengalami penurunan dari kondisi Eh -100 mV hingga 400 mV dan dari minggu II hingga minggu V kemudian minggu VI hingga minggu VIII pelindian (Tabel 2). Persamaan regresi hubungan antara konsentrasi Fe²⁺ pada air lindian dengan waktu pengukuran pada setiap kondisi Eh bahan tanah menunjukkan bahwa nilai koefisien regresi negatif terbesar terjadi pada kondisi Eh 200 mV (Tabel 3). Ini menunjukkan bahwa bahan tanah yang dioksidasi hingga kondisi Eh 200 mV kemudian dilindi, menyebabkan penurunan konsentrasi Fe²⁺ pada air lindian selama proses pencucian berlangsung lebih besar dibandingkan dengan kondisi Eh lainnya. Dilihat dari penurunan konsentrasi Fe²⁺ pada air lindian selama proses pelindian, maka kondisi Eh yang efektif untuk melindi bahan tanah ini adalah kondisi Eh 200 mV. Menurut Dent (1986); Jaynes *et al.* (1984) proses reduksi pada tanah Typic Sulfaquepts akan menghasilkan Fe²⁺_(aq) dan H₂S_(aq, g). Reduksi besi (Fe III menjadi Fe II) menyebabkan pH

naik menjadi tujuh dan Eh turun hingga -180 mV. Sedangkan Moses dan Hermann (1991); Priatmadi (2004); Munir (2004) mengemukakan bahwa oksidasi pirit terjadi pada pH tanah < 4 dan dapat menyebabkan oksidasi besi II menjadi besi III, akibatnya konsentrasi besi II tanah turun dan besi III meningkat.

Persamaan regresi hubungan antara konsentrasi Fe²⁺ pada air lindian dengan waktu pengukuran pada setiap sumber air pelindian (Tabel 3) memperlihatkan bahwa nilai koefisien regresi negatif terbesar terjadi pada bahan tanah yang dilindi dengan air gambut. Keadaan ini menunjukkan bahwa pelindian bahan tanah menggunakan air gambut akan menyebabkan penurunan konsentrasi Fe²⁺ pada air lindian lebih besar. Hasil ini menunjukkan bahwa air gambut lebih efektif digunakan untuk melindi bahan tanah ini dibandingkan dengan air hujan dan payau. Kollmeier *et al.* (2001) mengatakan bahwa air gambut mengandung asam- asam organik seperti perulat, fulvat, stearat, malonat, dan sitrat merupakan pengkelat yang dapat mengikat Fe membentuk kelat, sehingga konsentrasi Fe yang terukur pada air lindian lebih banyak.

Tabel 2. Pengaruh kondisi awal Eh bahan tanah dan sumber air pelindi terhadap konsentrasi Fe²⁺ pada air lindian minggu I hingga VIII

Table 2. Effect of Eh condition of soil material and leaching water source on Fe²⁺ concentration in leachate water at I to VIII week

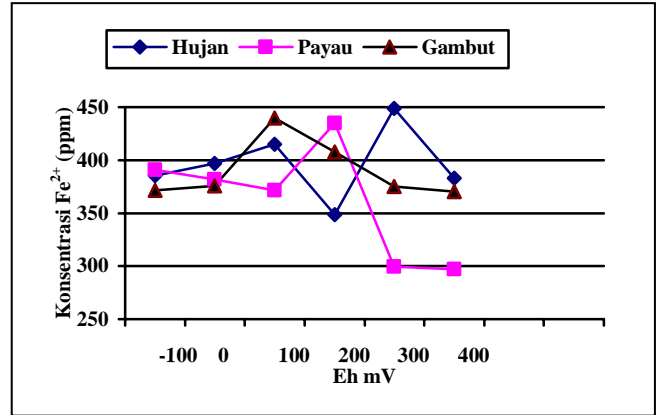
Eh	Konsentrasi Fe ²⁺ pada air lindian minggu ke-							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
mV ppm							
- 100	432,37	431,63	398,31	389,57	299,09	352,98	263,87	265,82
0	430,61	433,24	399,25	389,48	306,47	346,64	264,62	260,21
100	438,72	426,38	402,52	394,87	364,02	360,95	367,89	273,20
200	407,78	419,40	378,10	378,10	291,48	317,39	244,76	244,62
300	394,32	402,27	380,32	380,54	333,90	351,05	255,65	251,68
400	376,76	395,33	381,63	380,52	325,05	334,22	221,4	227,20
Sumber air pelindi	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Hujan	416,60	421,45	378,54	378,77	333,21	353,71	259,26	252,60
Payau	411,18	420,12	386,54	381,65	335,77	350,54	252,42	255,02
Gambut	412,50	412,06	404,99	396,15	295,82	327,37	247,42	253,65
Rata-rata	413,43	417,99	390,02	385,52	320,53	343,87	264,14	253,78

Tabel 3. Persamaan regresi hubungan antara rata-rata konsentrasi Fe²⁺ (ppm) pada air lindian dengan waktu pengukuran (minggu) pada setiap kondisi awal Eh (mV) bahan tanah dan sumber air pelindi

Table 3. Regression equation of Fe²⁺ concentration average (ppm) in water leachate and measuring time (week) on each Eh condition (mV) of soil material and leaching water source

No.	Hubungan	Persamaan regresi	R ²
1.	Eh -100 & waktu	$y_{-100} = -26,56X + 473,7$	0,863
2.	Eh 0 & waktu	$y_0 = -27,10X + 475,7$	0,893
3.	Eh 100 & waktu	$y_{100} = -19,12X + 464,6$	0,831
4.	Eh 200 & waktu	$y_{200} = -27,19X + 457,5$	0,896
5.	Eh 300 & waktu	$y_{300} = -22,21X + 443,6$	0,827
6.	Eh 400 & waktu	$y_{400} = -25,17X + 443,5$	0,780
7.	Hujan & waktu	$y_{hujan} = -24,75X + 460,6$	0,881
8.	Payau & waktu	$y_{payau} = -24,82X + 460,8$	0,870
9.	Gambut & waktu	$y_{gambut} = -27,00X + 465,2$	0,854

Gambar 2 dan Tabel 4 memperlihatkan bahwa konsentrasi Fe²⁺ bahan tanah yang dioksidasi hingga kondisi Eh 200 mV dan dilindi dengan air hujan dan gambut mengalami penurunan, sedang yang dilindi dengan air payau memperlihatkan peningkatan. Selanjutnya bahan tanah yang dioksidasi hingga kondisi Eh 400 mV dan dilindi dengan air payau memperlihatkan konsentrasi Fe²⁺ bahan tanah yang lebih rendah dibandingkan dengan yang dilindi menggunakan air gambut dan hujan. Kondisi ini disebabkan karena konsentrasi kation-kation Ca (4,2 ppm), Mg (12,9 ppm), Na (97 ppm), dan K (3,8 ppm) pada air payau yang dapat mendesak kation Fe²⁺ yang ada pada kompleks permukaan koloid tanah, akibatnya kelarutan Fe²⁺ pada air payau lebih besar dan konsentrasi Fe²⁺ bahan tanah menjadi kecil. Jika dilihat dari bahan tanah yang dilindi, maka kondisi Eh dan sumber air pelindi yang efektif dalam menurunkan konsentrasi Fe²⁺ pada bahan tanah adalah kondisi Eh 400 mV dan air payau.



Gambar 2. Konsentrasi Fe²⁺ bahan tanah (ppm) pada setiap kondisi awal Eh (mV) bahan tanah dan sumber air pelindi setelah bahan tanah dilindi selama delapan minggu

Figure 2. Fe²⁺ concentration (ppm) in soil material on each Eh condition (mV) of soil material and leaching water source after soil material was leached as long as eight week

Tabel 4. Pengaruh kondisi Eh bahan tanah dan sumber air pelindi terhadap konsentrasi Fe²⁺ bahan tanah setelah dilindi selama delapan minggu

Table 4. Effect of Eh condition of soil material and leaching water source on Fe²⁺ concentration in soil material after was leached as long as eight week

Eh	Sumber air pelindi		
	Hujan	Payau	Gambut
Konsentrasi Fe ²⁺ pada bahan tanah			
mV ppm		
- 100	385,46	390,85	371,36
0	396,82	381,93	375,72
100	415,03	371,66	440,00
200	348,59	434,86	407,67
300	448,52	299,81	375,09
400	382,97	297,13	370,23

Konsentrasi Fe-total pada air lindian dan bahan tanah

Sifat kimia tanah tergenang lebih didominasi oleh Fe dibandingkan dengan unsur-unsur redok lainnya (H₂O, N₂, Mn²⁺, S²⁻, CH₄, dan H₂). Penyebab yang umum dari dominasi ini adalah banyak Fe yang dapat diredoksi, biasanya sepuluh kali lebih banyak dibandingkan dengan jumlah unsur redok lainnya (Patrick and Reddy, 1978). Meskipun senyawa Fe dalam tanah sulit dikurangi dan seringkali berada dalam bentuk ferri selama O₂, NO₃⁻, dan NO₂⁻ ada, reduksi merupakan suatu yang umum dapat stabil tergantung pada oksidasi mikrob dari senyawa organik (Van Breemen dan Buurman, 1998).

Tabel 5 memperlihatkan bahwa konsentrasi Fe-total pada air lindian selama proses pelindian mengalami penurunan dari minggu I hingga minggu V kemudian minggu VI hingga VIII . Persamaan regresi hubungan antara konsentrasi Fe-total pada air lindian dengan waktu pengukuran pada setiap kondisi Eh bahan tanah menunjukkan bahwa nilai koefisien regresi negatif terbesar terjadi pada kondisi Eh 400 mV. Hasil ini memperlihatkan bahwa pada kondisi Eh 400 mV terjadi penurunan konsentrasi Fe-total terbesar pada air lindian selama proses

pelindian dibandingkan dengan kondisi Eh lainnya. Konsentrasi Fe-total mengalami penurunan dari kondisi Eh 400 mV hingga Eh -100 mV . Data ini menunjukkan bahwa semakin bahan tanah dioksidasi, maka konsentrasi Fe-total pada air lindian akan semakin besar. Hasil ini menunjukkan bahwa pelindian bahan tanah pada kondisi Eh 400 mV lebih efektif dibandingkan dengan kondisi Eh lainnya. Olomu *et al.* (1973) mengemukakan hubungan antara pH, Eh, dan Fe, peningkatan Eh tanah akan meningkatkan Fe dan menyebabkan penurunan pH.

Persamaan regresi hubungan antara konsentrasi Fe-total dengan waktu pengukuran pada setiap sumber air pelindi menunjukkan bahwa nilai koefisien regresi negatif terbesar terjadi pada pelindian menggunakan air gambut (Tabel 6). Hasil ini menunjukkan bahwa pelindian bahan tanah menggunakan air gambut lebih efektif dalam menurunkan konsentrasi Fe-total pada air lindian selama proses pelindian dibandingkan air hujan dan payau. Bourbonniere dan Creed (2006) mengatakan bahwa asam humat dan fulvat pada air gambut dapat menyumbangkan muatan negatif dan berfungsi sebagai koloid organik selanjutnya dapat mengikat Fe. Dengan demikian konsentrasi Fe yang terekstrak pada air gambut lebih besar.

Tabel 5. Pengaruh kondisi awal Eh bahan tanah dan sumber air pelindi terhadap konsentrasi Fe-total pada air lindian minggu I hingga VIII

Table 5. Effect of Eh condition of soil material and leaching water source on total Fe concentration in leachate water at I to VIII week

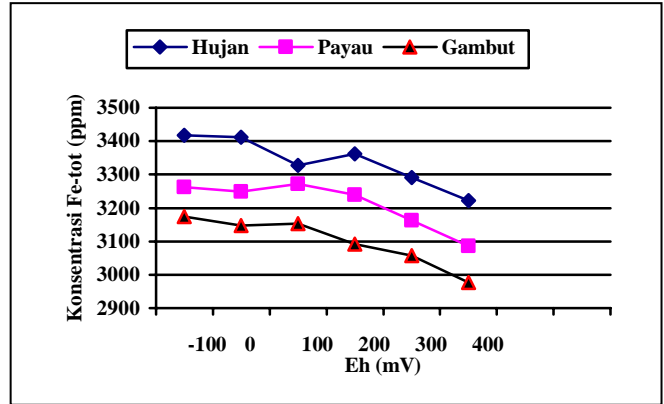
Eh	Konsentrasi Fe-total pada air lindian minggu ke-							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
mV ppm							
- 100	464,44	445,89	421,78	401,00	315,11	365,89	276,89	290,11
0	474,89	455,56	425,78	406,11	327,00	368,22	284,67	280,33
100	495,33	471,78	430,67	407,22	401,56	426,67	315,67	340,11
200	504,34	499,56	426,11	410,22	392,11	420,33	307,56	315,33
300	527,11	536,00	429,33	411,67	391,78	414,00	336,11	323,44
400	554,44	575,99	437,56	418,67	419,67	403,89	295,22	312,22
Sumber air pelindi	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Hujan	507,95	429,50	429,50	404,78	370,78	401,67	308,28	313,89
Payau	509,22	426,11	426,11	404,67	395,89	404,78	307,22	314,39
Gambut	493,11	430,00	430,00	418,00	356,95	393,06	292,56	302,50
Rata-rata	503,43	474,49	428,54	409,15	374,54	399,83	302,69	310,26

Tabel 6. Persamaan regresi hubungan antara rata-rata konsentrasi Fe-total (ppm) pada air lindian dengan waktu pengukuran (minggu) pada setiap kondisi awal Eh (mV) bahan tanah dan sumber air pelindi

Table 6. Regression equation of total Fe concentration average (ppm) in water leachate and measuring time (week) on each Eh condition (mV) of soil material and leaching water source

No.	Hubungan	Persamaan regresi	R ²
1.	Eh -100 & waktu	$y_{-100} = -27,60X + 496,8$	0,880
2.	Eh 0 & waktu	$y_0 = -29,38X + 510,0$	0,919
3.	Eh 100 & waktu	$y_{100} = -22,43X + 512,1$	0,824
4.	Eh 200 & waktu	$y_{200} = -27,60X + 533,6$	0,863
5.	Eh 300 & waktu	$y_{300} = -29,65X + 554,6$	0,873
6.	Eh 400 & waktu	$y_{400} = -38,08X + 598,6$	0,873
7.	Hujan & waktu	$y_{hujan} = -24,78X + 507,3$	0,861
8.	Payau & waktu	$y_{payau} = -24,17X + 507,3$	0,838
9.	Gambut & waktu	$y_{gambut} = -26,11X + 507,0$	0,871

Gambar 3 dan Tabel 7 menunjukkan bahwa konsentrasi Fe-total bahan tanah pada kondisi Eh 400 mV lebih rendah dibandingkan dengan kondisi Eh - 100 mV. Konsentrasi Fe-total bahan tanah yang dilindi dengan air gambut lebih rendah dibandingkan dengan yang dilindi menggunakan air payau dan hujan. Jika dihubungkan dengan konsentrasi Fe-total pada air lindian keadaan ini sesuai karena semakin bahan tanah dioksidasi, maka konsentrasi Fe-total pada air lindian semakin besar dan konsentrasi Fe-total pada bahan tanah yang dilindi makin rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi Fe-total pada bahan tanah yang efektif terjadi pada kondisi Eh 400 mV dan dilindi menggunakan air gambut.



Gambar 3. Konsentrasi Fe-total bahan tanah (ppm) pada setiap kondisi awal Eh (mV) bahan tanah dan sumber air pelindi setelah bahan tanah dilindi selama delapan minggu

Figure 3. Total Fe concentration (ppm) in soil material on each Eh condition (mV) of soil material and leaching water source after soil material was leached as long as eight week

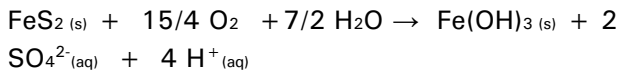
Tabel 7. Pengaruh kondisi Eh bahan tanah dan sumber air pelindi terhadap konsentrasi Fe-total (ppm) bahan tanah setelah dilindi selama delapan minggu

Table 7. Effect of Eh condition of soil material and leaching water source on total Fe concentration (ppm) in soil material after was leached as long as eight week

Eh	Sumber air pelindi		
	Hujan	Payau	Gambut
	Konsentrasi Fe-total pada bahan tanah		
mV	ppm		
- 100	3416,67	3261,67	3173,33
0	3411,67	3248,33	3146,67
100	3328,33	3271,67	3153,00
200	3361,67	3240,00	3091,67
300	3291,67	3163,33	3056,67
400	3221,67	3086,67	2976,67

Konsentrasi SO₄²⁻ pada air lindian dan bahan tanah

Tabel 8 menunjukkan bahwa semakin bahan tanah dioksidasi, maka konsentrasi SO₄²⁻ pada air lindian akan semakin besar. Konsentrasi SO₄²⁻ pada air lindian mengalami penurunan dari minggu II hingga minggu IV dan minggu V hingga minggu VIII pelindian. Persamaan regresi hubungan antara konsentrasi SO₄²⁻ pada air lindian dengan waktu pengukuran pada setiap kondisi Eh bahan tanah menunjukkan bahwa nilai koefisien regresi negatif terbesar terjadi pada kondisi Eh 400 mV (Tabel 9). Hasil ini menunjukkan bahwa kondisi Eh 400 mV merupakan kondisi yang efektif dalam menurunkan konsentrasi SO₄²⁻ pada air lindian selama proses pelindian. Menurut Jaynes *et al.* (1984) sulfida stabil pada kondisi tergenang (anaerobik) tetapi bila ada oksigen masuk ke dalam sistem tersebut, maka sulfida akan teroksidasi menjadi asam sulfurik. Oksidasi pirit merupakan proses pembentukan SO₄²⁻ sehingga terjadi peningkatan konsentrasinya seperti persamaan reaksi berikut :



Schwab dan Lindsay (1983) memperlihatkan hubungan antara Eh dengan SO₄²⁻, penurunan nilai Eh tanah dari 450 mV menjadi - 200 mV akan menyebabkan penurunan SO₄²⁻ dari 144 menjadi 6 ppm.

Persamaan regresi hubungan antara konsentrasi SO₄²⁻ pada air lindian dengan waktu pengukuran pada setiap sumber air pelindi menunjukkan bahwa nilai koefisien regresi negatif terbesar terjadi pada pelindian menggunakan air gambut (Tabel 9). Hasil ini menunjukkan bahwa pelindian bahan tanah menggunakan air gambut lebih efektif dalam menurunkan konsentrasi SO₄²⁻ pada air lindian dibandingkan dengan air hujan dan payau.

Gambar 4 dan Tabel 10 menunjukkan bahwa konsentrasi SO₄²⁻ bahan tanah pada kondisi Eh 400 mV lebih rendah dibandingkan dengan kondisi Eh yang lain. Pelindian bahan tanah dengan air gambut dapat menyebabkan konsentrasi SO₄²⁻ bahan tanah lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan air pelindi lain. Hasil ini menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi SO₄²⁻ pada bahan tanah yang efektif terjadi pada kondisi Eh 400 mV dan dilindi menggunakan air gambut.

Tabel 8. Pengaruh kondisi awal Eh bahan tanah dan sumber air pelindi terhadap konsentrasi SO₄²⁻ pada air lindian minggu I hingga VIII

Table 8. Effect of Eh condition of soil material and leaching water source on SO₄²⁻ concentration in leachate water at I to VIII week

Eh	Konsentrasi SO ₄ ²⁻ pada air lindian minggu ke-							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
mV ppm							
- 100	649,07	772,90	552,29	499,63	607,13	476,40	462,63	372,49
0	681,63	824,50	563,27	519,88	640,11	493,08	474,17	380,64
100	750,32	926,70	607,33	537,58	664,57	673,23	569,07	439,30
200	821,71	1024,60	646,33	580,24	691,24	587,84	585,18	466,96
300	862,21	1110,00	699,00	583,51	672,96	589,26	562,77	488,24
400	961,55	1148,10	793,61	629,27	673,66	620,57	601,97	506,86
Sumber air pelindi	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Hujan	772,95	898,50	615,96	525,09	719,49	555,68	531,71	419,60
Payau	766,72	931,60	625,56	542,54	640,07	590,26	556,54	444,24
Gambut	823,57	1073,20	689,40	607,43	615,27	574,25	539,65	463,40
Rata-rata	787,75	967,79	643,64	558,35	658,28	573,40	542,63	442,41

Tabel 9. Persamaan regresi hubungan antara rata-rata konsentrasi SO₄²⁻ (ppm) pada air lindian dengan waktu pengukuran (minggu) pada setiap kondisi awal Eh (mV) bahan tanah dan sumber air pelindi

Table 9. Regression equation of SO₄²⁻ concentration average (ppm) in water leachate and measuring time (week) on each Eh condition (mV) of soil material and leaching water source)

No.	Hubungan	Persamaan regresi	R ²
1.	Eh -100 & waktu	y ₋₁₀₀ = -42,94X + 742,3	0,705
2.	Eh 0 & waktu	y ₀ = -47,01X + 783,7	0,684
3.	Eh 100 & waktu	y ₁₀₀ = -43,34X + 841,0	0,516
4.	Eh 200 & waktu	y ₂₀₀ = -56,48X + 929,7	0,629
5.	Eh 300 & waktu	y ₃₀₀ = -66,59X + 995,6	0,654
6.	Eh 400 & waktu	y ₄₀₀ = -76,05X + 1084,0	0,752
7.	Hujan & waktu	y _{hujan} = -51,11X + 859,9	0,641
8.	Payau & waktu	y _{payau} = -49,29X + 859,0	0,644
9.	Gambut & waktu	y _{gambut} = -65,79X + 969,3	0,693

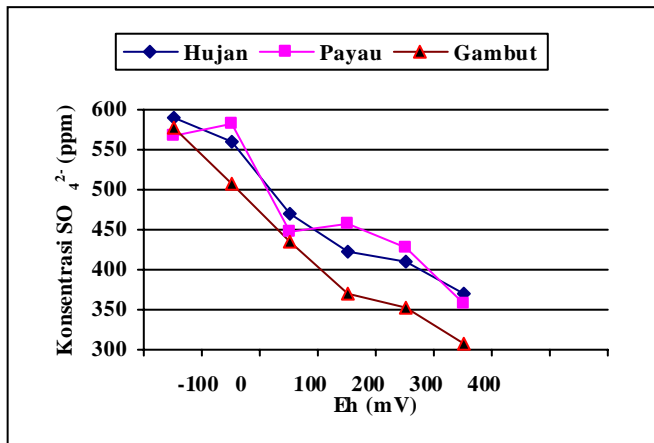
Tabel 10. Pengaruh kondisi Eh bahan tanah dan sumber air pelindi terhadap konsentrasi SO₄²⁻ (ppm) bahan tanah setelah dilindi selama delapan minggu

Table 10. Effect of Eh condition of soil material and leaching water source on SO₄²⁻ concentration (ppm) in soil material after was leached as long as eight week

Eh	Sumber air pelindi		
	Hujan	Payau	Gambut
	Konsentrasi SO ₄ ²⁻ pada bahan tanah		
mV ppm		
- 100	589,33	567,30	577,59
0	560,07	581,78	507,53
100	470,10	448,46	435,26
200	422,56	458,48	371,18
300	409,39	427,23	351,92
400	369,58	358,65	307,53

Konsentrasi Al pada air lindian dan bahan tanah

Tabel 11 menunjukkan bahwa bahan tanah yang dioksidasi hingga kondisi Eh 400 mV akan menyebabkan konsentrasi Al lebih besar pada air lindian dibandingkan dengan kondisi Eh yang lain. Konsentrasi Al pada air lindian umumnya mengalami penurunan dari minggu I hingga minggu III kemudian minggu IV hingga minggu VIII pelindian. Persamaan regresi hubungan antara konsentrasi Al dengan waktu pengukuran pada setiap kondisi Eh bahan tanah menunjukkan bahwa nilai koefisien regresi negatif terbesar terjadi pada kondisi Eh 400 mV (Tabel 12). Hasil ini menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi Al pada air lindian terbesar selama proses pelindian terjadi pada kondisi Eh 400 mV. Kollmeier *et al.* (2001) mengatakan bahwa konsentrasi Al yang tinggi pada air lindian merupakan pengaruh tidak langsung dari rendahnya pH larutan akibat konsentrasi Fe dan SO₄²⁻ yang lebih tinggi. Pada pH sangat rendah (< 4) konsentrasi Al cukup tinggi menyebabkan cukup besarnya mobilitas Al dalam tanah. Sedangkan Van Mensvoort dan Dent (1998) mengatakan bahwa proses oksidasi pirit pada Typic Sulfaquepts akan menghasilkan ion-ion Fe³⁺, SO₄²⁻, dan H⁺. Adanya ion H⁺ menyebabkan kemasaman tanah meningkat yang diikuti oleh meningkatnya konsentrasi Al³⁺.



Gambar 4. Konsentrasi SO₄²⁻ bahan tanah (ppm) pada setiap kondisi awal Eh (mV) bahan tanah dan sumber air pelindi setelah bahan tanah dilindi selama delapan minggu

Figure 4. SO₄²⁻ concentration (ppm) in soil material on each Eh condition (mV) of soil material and leaching water source after soil material was leached as long as eight week

Tabel 11. Pengaruh kondisi awal Eh bahan tanah dan sumber air pelindi terhadap konsentrasi Al (ppm) pada air lindian minggu I hingga VIII

Table 11. Effect of Eh condition of soil material and leaching water source on Al concentration (ppm) in leachate water at I to VIII week

Eh	Konsentrasi Al pada air lindian minggu ke-							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
mV	ppm							
- 100	62,00	56,00	48,00	55,33	36,00	36,00	31,00	37,00
0	88,00	74,00	55,00	67,00	41,00	46,00	37,00	34,00
100	107,00	68,00	59,00	64,00	55,00	43,00	48,00	27,00
200	110,00	85,00	83,00	87,00	79,00	56,00	47,00	35,00
300	160,00	102,00	88,70	100,00	95,00	61,00	41,00	41,00
400	180,00	110,00	99,00	104,00	96,00	53,00	43,00	44,00
Sumber air pelindi	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Hujan	110,50	76,00	76,00	76,50	60,50	52,00	41,50	39,00
Payau	132,50	88,50	76,33	89,00	73,50	30,50	44,50	40,50
Gambut	110,50	83,00	64,00	73,16	67,00	42,00	37,50	29,50
Rata-rata	117,83	82,50	72,11	79,55	67,00	46,61	41,17	36,33

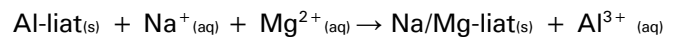
Tabel 12. Persamaan regresi hubungan antara rata-rata konsentrasi Al (ppm) pada air lindian dengan waktu pengukuran (minggu) pada setiap kondisi awal Eh (mV) bahan tanah dan sumber air pelindi

Table 12. Regression equation of Al concentration average (ppm) in water leachate and measuring time (week) on each Eh condition (mV) of soil material and leaching water source

No.	Hubungan	Persamaan regresi	R ²
1.	Eh -100 & waktu	$y_{-100} = -4,230X + 64,20$	0,793
2.	Eh 0 & waktu	$y_0 = -7,333X + 88,25$	0,857
3.	Eh 100 & waktu	$y_{100} = -8,535X + 97,28$	0,799
4.	Eh 200 & waktu	$y_{200} = -9,571X + 115,8$	0,904
5.	Eh 300 & waktu	$y_{300} = -14,59X + 151,7$	0,837
6.	Eh 400 & waktu	$y_{400} = -17,06X + 167,8$	0,843
7.	Hujan & waktu	$y_{hujan} = -9,059X + 107,2$	0,896
8.	Payau & waktu	$y_{payau} = -12,10X + 126,4$	0,798
9.	Gambut & waktu	$y_{gambut} = -10,31X + 109,7$	0,896

Persamaan regresi hubungan antara konsentrasi Al dengan waktu pengukuran pada setiap sumber air pelindi menunjukkan bahwa nilai koefisien regresi negatif terbesar terjadi pada pelindian menggunakan air payau (Tabel 9). Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa pelindian

bahan tanah menggunakan air payau lebih efektif dalam menurunkan konsentrasi Al dibandingkan air hujan dan gambut. Keadaan ini disebabkan karena kandungan kation-kation Ca, Mg, Na, dan K pada air payau yang mendesak Al dari kompleks jerapan sehingga konsentrasi Al pada air lindian meningkat dan penurunan konsentrasi Al pada bahan tanah lebih besar. Dent (1986) mengatakan bahwa pemanfaatan air laut ini untuk memperbaiki sifat-sifat kimia tanah sulfat masam digambarkan menurut persamaan reaksi kimia berikut :

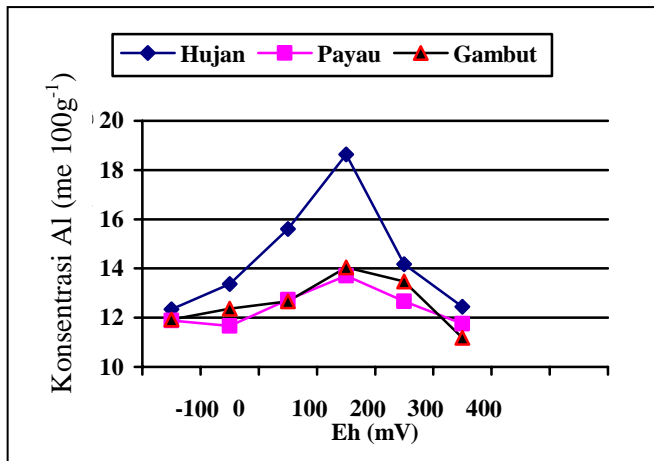


Keadaan pH larutan yang tinggi, mengakibatkan Al mengendap sebagai hidroksi atau garam sulfat, sedang asam-asam terlarut terbebaskan untuk selanjutnya tercuci dan keluar dari system menurut persamaan reaksi berikut :



Gambar 5 dan Tabel 13 memperlihatkan bahwa konsentrasi Al bahan tanah terendah terjadi pada kondisi Eh -100 mV, kemudian meningkat hingga kondisi Eh 200 mV dan turun lagi hingga

kondisi Eh 400 mV. Kejadian ini berkaitan erat dengan perubahan pH bahan tanah akibat perubahan konsentrasi Fe²⁺ dan Al, pada kondisi Eh - 100 mV pH bahan tanah lebih tinggi karena konsentrasi Fe²⁺ dan Al pada bahan tanah rendah. Sedang pada kondisi Eh 200 mV pH bahan tanah turun karena konsentrasi Fe²⁺ dan Al bahan tanah naik dan pada kondisi Eh 400 mV pH meningkat kembali karena konsentrasi Fe²⁺ dan Al mengalami penurunan kembali. Van Breemen dan Harmsen (1975) membuat hubungan antara pH, dan Al tanah, penurunan konsentrasi Al dari 0,46 menjadi 0,04 me 100g⁻¹ akan menyebabkan peningkatan pH dari 3,82 menjadi 4,52. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pelindian bahan tanah yang efektif dalam menurunkan konsentrasi Al pada bahan tanah terjadi pada kondisi Eh 400 dan dilindi menggunakan air gambut.



Gambar 5. Konsentrasi Al-dd bahan tanah (me 100g⁻¹) pada setiap kondisi awal Eh (mV) bahan tanah dan sumber air pelindi setelah bahan tanah dilindi selama delapan minggu

Figure 5. Exc-Al concentration (me 100g⁻¹) in soil material on each Eh condition (mV) of soil material and leaching water source after soil material was leached as long as eight week

Tabel 13. Pengaruh kondisi Eh bahan tanah dan sumber air pelindi terhadap konsentrasi Al (me 100g⁻¹) bahan tanah setelah dilindi selama delapan minggu

Table 13. Effect of Eh condition of soil material and leaching water source on Al concentration (me 100g⁻¹) in soil material after was leached as long as eight week

Eh	Sumber air pelindi		
	Hujan	Payau	Gambut
mV	Konsentrasi Al pada bahan tanah		
 me 100g ⁻¹		
- 100	12,34	11,88	11,93
0	13,37	11,66	12,37
100	15,61	12,73	12,66
200	18,63	13,70	14,04
300	14,18	12,66	13,47
400	12,45	11,75	11,18

KESIMPULAN

Kondisi Eh 200 mV merupakan kondisi Eh yang efektif untuk menurunkan konsentrasi Fe²⁺ pada air lindian, sedang untuk menurunkan konsentrasi Fe-total, SO₄²⁻, dan Al pada air lindian yang efektif diperlukan kondisi Eh 400 mV. Sumber air pelindi yang efektif untuk melindi Fe²⁺, Fe-total, dan SO₄²⁻ adalah air gambut, sedang untuk Al diperlukan air payau. Dilihat dari konsentrasi Fe²⁺, Fe-total, SO₄²⁻, dan Al pada bahan tanah yang telah dilindi selama delapan minggu, maka kondisi Eh 400 mV dengan pelindi air payau efektif untuk menurunkan konsentrasi Fe²⁺ pada bahan tanah, sedang untuk menurunkan konsentrasi Fe-total, SO₄²⁻, dan Al pada bahan tanah yang efektif dibutuhkan kondisi Eh 400 mV dengan pelindi air gambut.

DAFTAR PUSTAKA

Bourbonniere, R.A. and I.F. Creed. 2006. Biodegradability of dissolved organic matter extracted from a chronosequence of forest-floor materials. *Journal of Plant Nutrition and Soil Sci.* 169: 101-107.

- Dent, D.L. 1986.** Acid sulphate soils: A baseline for research and development, Pub. 39, Int. Inst. Land Reclamation and Improvement, Wageningen. 204 p. ISBN 90 70260 980.
- Jaynes, D.B., A.S. Rogowski, and H.B. Pionke. 1984.** Acid mine drainage from reclaimed coal strip mines, I. Model description. *Water Resources Research* 20: 233-242.
- Kollmeier, M., P. Dietrich, C.S. Bauer, W.J. Horst, and R. Hedrich. 2001.** Aluminum activates a citrate permeable anion channel in the aluminum sensitive zone of the maize root apex. A comparison between an aluminum sensitive and an aluminum resistant cultivar. *Plant Physiol.* 126:397-410.
- Moses, C.O. and J.S. Hermann. 1991.** Pyrite oxidation at circumneutral pH. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 55: 471-482.
- Mulyanto, B., B. Sumawinata, Suwardi, dan G. Djajakirana. 1999.** Sifat mineralogi liat tanah berpotensi sulfat masam pada Sistem Pengelolaan Lahan Orang Banjar (SPLOB) di Kalimantan Selatan. *Jurnal Ilmiah Pertanian. GAKURYOKU.* V (4): 273-281.
- Munir, M. 2004.** Perilaku pirit dalam tanah sulfat masam serta pengaruhnya terhadap sifat dan ciri tanah. Makalah disajikan pada Lokakarya Pengelolaan Lahan Pasang Surut. Program Studi Ilmu Tanah-Proyek Due Like TA 2004. 9 Agustus 2004. Unuversitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru. Hlm. 22.
- Olomu, M.O., G.J. Racz, and C.M. Cho. 1973.** Effect of flooding on the Eh, pH, and concentration of Fe and Mn in several Manitoba soil. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 37: 220-224.
- Patrick, W.H. and C.N. Reddy. 1978.** Chemical changes in rice soils. Pp. 362-379. *In. Soil and Rice.* 1978. IRRI. Los Banos. Philippines.
- Priatmadi, B.J. 2004.** Karakteristik tanah sulfat masam di lahan pasang surut Kalimantan Selatan. Makalah disajikan pada Lokakarya Pengelolaan Lahan Pasang Surut. Program Studi Ilmu Tanah-Proyek Due Like TA 2004. 9 Agustus 2004. Unuversitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru. Hlm. 16.
- Schwab, A.P. and W.L. Lindsay, 1983.** Effect of redox on the solubility and availability of iron. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 47:201-205.
- Van Breemen, N. and Buurman P. 1998.** Soil Formation. Kluwer Academic Pub. (Dordrecht, The Netherlands). P 377.
- Van Breemen, N. and K. Harmsen. 1975.** Translocation of iron in acid sulfate soils: Soil morphology, and the chemistry and mineralogy of iron in a chronosequence of acid sulfate soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 39: 1140-1148.
- Van Breemen, N. and R. Brinkman. 1978.** Chemical aquilibria and soil formation. P 282. *In. Soil Chemistry.* A Elsilvier Sciencetific Pub. Co.
- Van Mensvoort, M.E.F. and D.L. Dent. 1998.** Acid Sulphate Soil. Pp. 301-337. *In. Lal, R., W. H., Blum, C.Valentine, and B.A. Steward (Eds.). Method for Assessment of Soil Degradation.* Florida. CRC Prees LLC.