

EVALUASI PERUBAHAN SIFAT KIMIA AIR TANAH DAN REDOKS POTENSIAL PADA LAHAN PASANG SURUT SULFAT MASAM DI KALIMANTAN SELATAN

I.B. Aribawa

RINGKASAN

Lahan pasang surut merupakan salah satu lahan bermasalah. Kendala yang sering dijumpai pada lahan ini adalah tingginya konsentrasi unsur-unsur atau senyawa yang bersifat racun bagi tanaman seperti Fe^{2+} , Al^{3+} dan SO_4^{2-} . Tinggi rendahnya konsentrasi beberapa unsur di dalam larutan tanah erat hubungannya dengan perubahan redoks potensial (Eh) tanah. Penggenangan tanah akan menurunkan Eh tanah dan juga mengakibatkan meningkatnya konsentrasi Fe^{2+} dan ketersediaan P. Sebaliknya penurunan tinggi muka air tanah baik secara alami maupun buatan seperti pada lahan pasang surut sulfat masam di Tabunganen menyebabkan meningkatnya nilai Eh pada lapisan tanah atas. Meningkatnya nilai Eh tanah ini merupakan salah satu indikasi telah terjadi oksidasi pirit dalam tanah. Oksidasi pirit menyebabkan pH air tanah jadi turun mencapai nilai 3 dan diikuti dengan meningkatnya konsentrasi Al^{3+} melebihi 0,20 me/l yang mungkin akan meracuni tanaman, disamping itu konsentrasi sulfat air tanah juga meningkat. Oksidasi pirit juga menyebabkan kation K^+ , Na^+ , Ca^{2+} dan Mg^{2+} terbebaskan ke dalam larutan tanah dan tercuci mengikuti arah pergerakan air.

PENDAHULUAN

Program perluasan areal pertanian (ekstensifikasi) dalam rangka mengantisipasi menyusutnya lahan-lahan produktif di Jawa terus dilakukan dan biasanya mengarah pada lahan-lahan yang marginal seperti lahan pasang surut. Potensi lahan ini di Indonesia diperkirakan sebesar 20,1 juta Ha yang tersebar di Sumatera, Kalimantan dan Irian Jaya (Nugroho *et al.*, 1991). Dari luasan lahan pasang surut ini, 2 juta Ha berupa lahan sulfat masam.

Lahan sulfat masam merupakan lahan yang bermasalah sehingga dalam pengembangannya diperlukan perencanaan yang teliti, penerapan teknologi yang tepat dan pengelolaan tanah dan air yang sesuai (Widjaja-Adhi, 1992). Lahan sulfat masam secara langsung atau tidak langsung dipengaruhi oleh gerakan pasang surut air laut sehingga pada saat-saat tertentu akan terjadi kondisi anaerobik dan aerobik secara silih berganti dimana keadaan ini akan mempengaruhi nilai redoks potensial (Eh) tanah.

Redoks potensial tanah erat kaitannya dengan kelarutan dan ketersediaan hara serta transformasinya dalam tanah. Berubahnya keadaan Eh dan pH akan berpengaruh langsung terhadap sifat biologis dan kimia tanah, dan selanjutnya akan berpengaruh pula

terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman padi. Seperti mengalami defisiensi hara, keracunan atau gabungan dari keduanya (Yusuf, *et al.*, 1990). Pada lahan sulfat masam, kemasaman tanah yang tinggi, keracunan besi dan aluminium serta defisiensi hara merupakan masalah yang sering dijumpai, dan dinamika unsur ini erat hubungannya dengan kondisi oksidasi dan reduksi (redoks) dalam tanah.

LAHAN SULFAT MASAM

Pada umumnya lahan pasang surut mempunyai dua jenis tanah utama, yaitu tanah aluvial dan tanah gambut. Tanah aluvial dapat merupakan endapan laut (*marine sediment*), endapan sungai (*fluvial sediment*) atau campuran (*fluvial-marine sediment*).

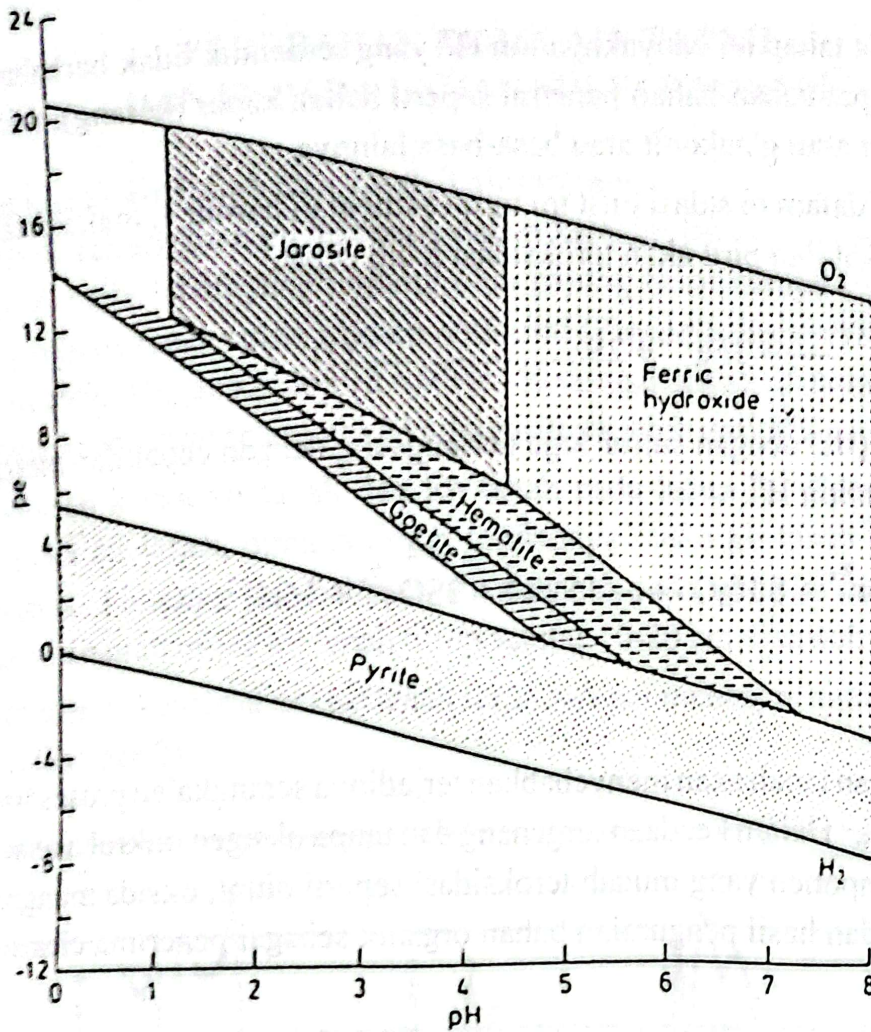
Tanah endapan laut biasanya mempunyai lapisan yang mengandung sulfida, yang sebagian besar adalah mineral pirit (FeS_2). Tanah yang mempunyai lapisan sulfidik atau lapisan pirit dengan kadar S lebih besar atau sama dengan 0,75 %, disebut tanah sulfat masam (Widjaja-Adhi, 1990). Tanah sulfat masam terdiri atas tanah sulfat masam tereduksi atau tanah sulfat masam potensial dan tanah sulfat masam teroksidasi atau tanah sulfat masam aktual. Pada tanah sulfat masam potensial proses pemasaman belum berjalan, sedang pada tanah sulfat masam aktual proses pemasaman sudah terjadi.

Proses pemasaman bisa terjadi karena adanya drainase yang berlebihan atau terjadinya pengeringan yang mengakibatkan redoks potensial (Eh) menaik sehingga pirit menjadi tidak stabil dan pirit teroksidasi.

PROSES OKSIDASI DAN REDUKSI

Dalam keadaan anaerob pirit stabil dan tidak berbahaya, sebaliknya dalam keadaan aerob pirit mudah mengalami oksidasi melepaskan asam sulfat. Bila karena drainase baik secara alami maupun buatan atau terjadi kekeringan yang mengakibatkan muka air tanah sampai di bawah batas atas lapisan pirit, maka pirit menjadi tidak stabil lagi dan terjadilah oksidasi pirit dan dalam jangka waktu yang tertentu akan mengakibatkan tanah sulfat masam potensial berubah menjadi tanah sulfat masam aktual.

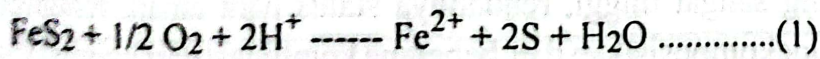
Perubahan bentuk unsur atau senyawa yang ada kaitannya dengan nilai redoks potensial dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram stabilitas pirit, goethite, hematit, ferri hydroxida dan jarosit pada suhu $25^{\circ}C$ ($59,2 \cdot pe = Eh$)
 Sumber: Bronswijk and Ritsema, 1987.

Oksidasi pirit

Oksidasi pirit berlangsung secara bertahap, dan terjadi secara kimia dan mikrobiologi. Berbagai bentuk dari oksidasi pirit dapat diringkas sebagai berikut (Dent, 1986):

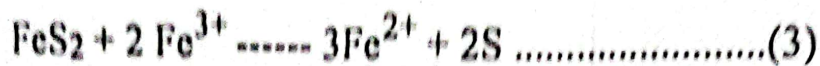


Pada tahap awal reaksi pirit dengan oksigen (1) berlangsung secara lambat dan menghasilkan Fe^{2+} , dan elemen sulfur. Selanjutnya sulfur yang dihasilkan akan dioksidasi menjadi sulfat oleh bakteri autotrofik pada pH mendekati netral.

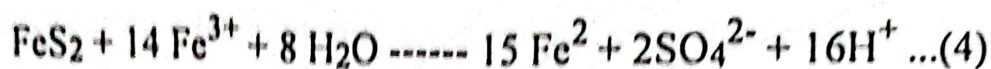


Sampai pada tahap ini banyaknya ion H^+ yang terbentuk tidak berbahaya apabila dalam tanah terdapat bahan-bahan penetral seperti bahan kapur (kerang), mineral (klorit), khamosit atau glaukonit atau basa-basa lainnya.

Apabila pH dalam oksidasi pirit ini turun sampai di bawah 4, maka kelarutan besi (III) akan meningkat dan pirit akan teroksidasi lebih cepat.



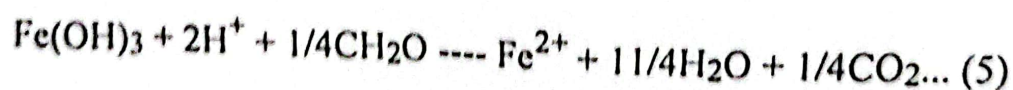
Reaksi besi (III) dengan sulfur juga berlangsung dengan cepat dan menghasilkan besi (II), sulfur dan ion H^+ .



Proses Reduksi

Penggenangan tanah akan menyebabkan terjadinya serangkaian proses fisik, kimia dan biokimia tanah. Dalam keadaan tergenang dan tanpa oksigen mikroba anaerob akan menggunakan komponen yang mudah teroksidasi seperti nitrat, oksida mangan, oksida feri, sulfat, fosfat dan hasil penguraian bahan organik sebagai penerima elektron dalam pernapasan.

Reduksi pada tanah sulfat masam biasanya disertai dengan meningkatnya konsentrasi CO_2 , Fe^{2+} dan kation yang dapat ditukarkan seperti Ca^{2+} (Dent, 1986). Reduksi tanah sulfat masam juga menurunkan kemasaman tanah karena adanya pemakaian ion H^+ seperti dalam reaksi di bawah ini :



Pada tanah sulfat masam pengaruh penggenangan sangat bervariasi bila dibandingkan dengan tanah jenis lain. Kecepatan reduksi pada tanah sulfat masam dihambat oleh tingkat kemasaman yang sangat tinggi, rendahnya status hara tanah, rendahnya bahan organik yang mudah didekomposisikan dan beberapa kombinasi dari kondisi yang tidak menguntungkan bagi kehidupan mikrobia anaerob (Dent, 1986).

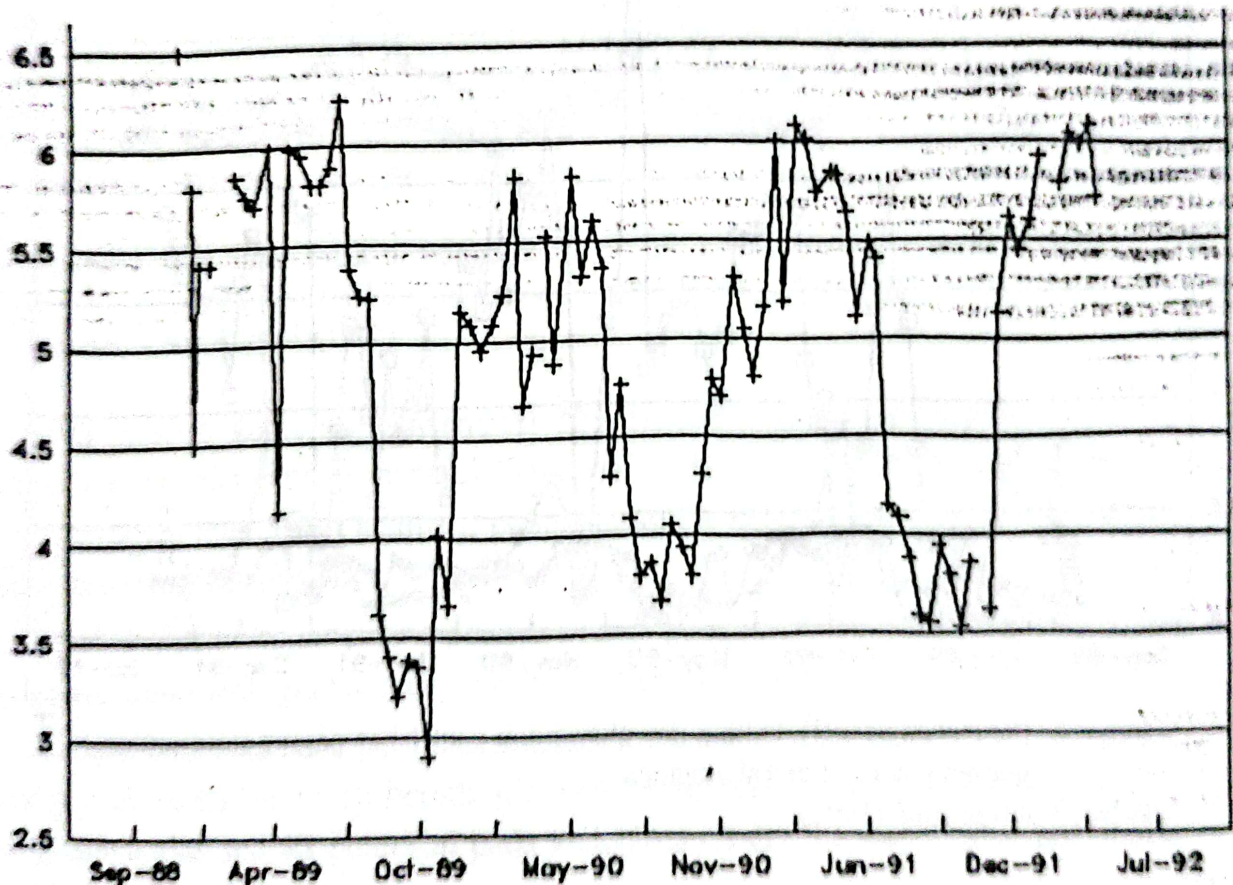
PERUBAHAN KIMIA AIR TANAH DAN Eh PADA LAHAN SULFAT MASAM

Perubahan kimia air tanah dan Eh di Tabunganen

Lahan di Tabunganen ini termasuk dalam kategori lahan pasang surut dengan tipe luapan, tipe A yaitu lahan yang terluapi oleh pasang besar maupun kecil (Swamps-II, 1991) dengan jenis tanah sulfat masam potensial (*Typic Sulfaquent*). Lahan ini direklamasi tahun 1980 dengan kadar pirit sekitar 1% sampai pada kedalaman 50 cm dibawah tanah, sedang kedalaman selanjutnya kadar piritnya lebih dari 4%.

Perubahan kimia air tanah dan Eh tanah pada lahan ini dipengaruhi oleh naik turunnya muka air tanah, dimana tinggi rendahnya muka air tanah ini erat kaitannya dengan musim. Fluktuasi perubahan muka air tanah pada lahan ini sangat kecil, kecuali pada musim kemarau muka air tanah turun sekitar 10-20 cm dibawah permukaan tanah.

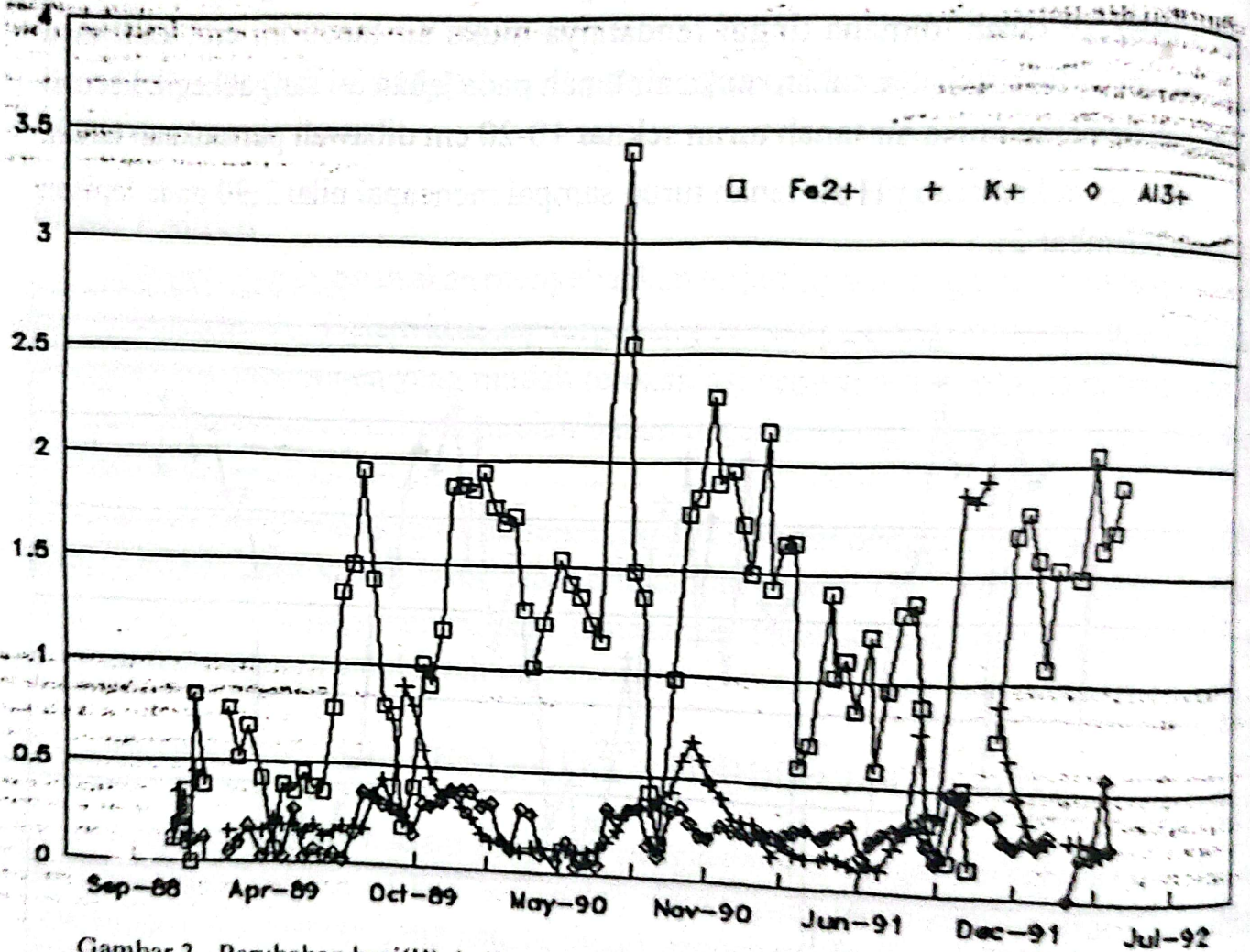
Pada musim kemarau pH air tanah turun sampai mencapai nilai 2,90 pada lapisan atas tanah (Gambar 2).



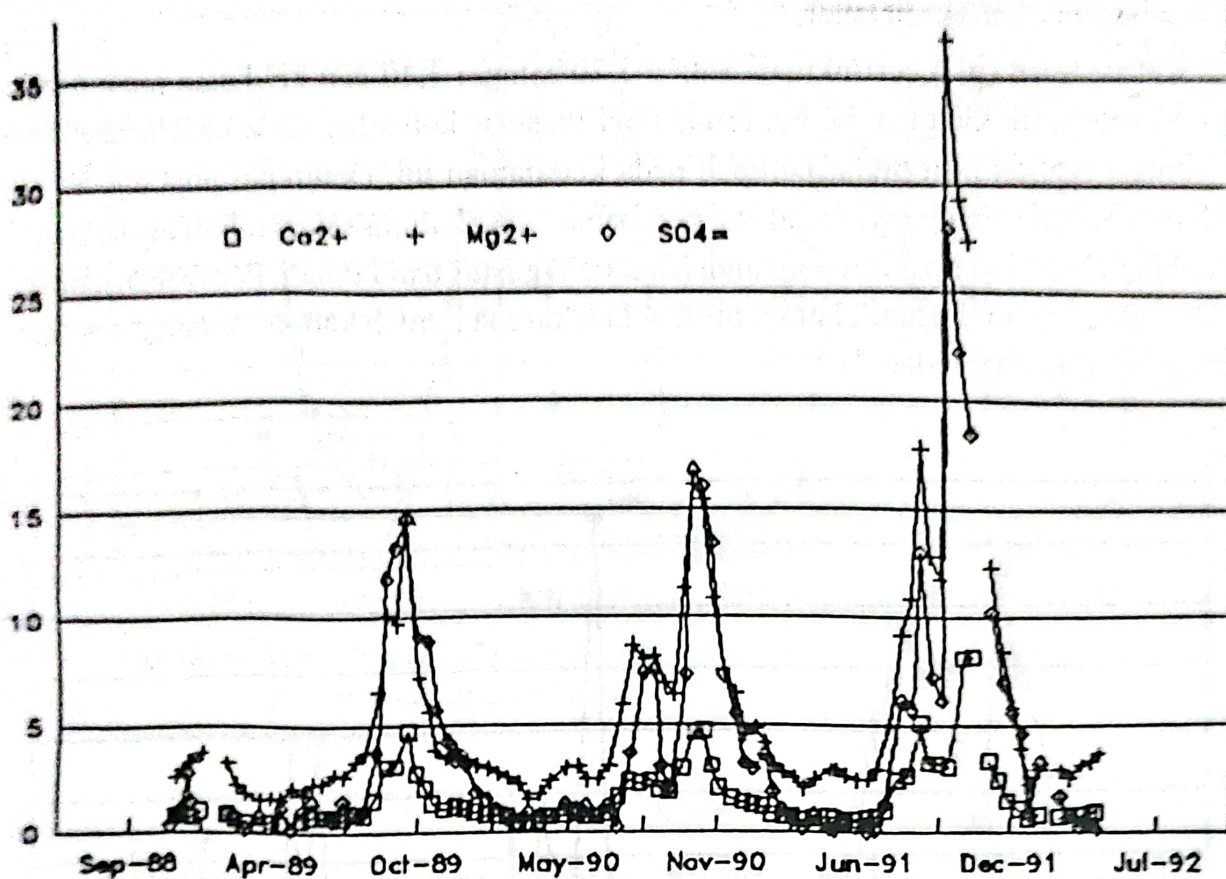
Gambar 2. Perubahan kemasaman air tanah (pH) pada lahan pasang surut sulfat masam potensial di Tabunganen

Sumber: Konsten *et al.* (1992)

Keadaan ini merupakan indikasi bahwa oksidasi pirit sudah berlangsung yang mana bisa dilihat juga dengan meningkatnya konsentrasi Al^{3+} dan SO_4^{2-} . Proses pemasaman pada musim kemarau pada lahan ini menyebabkan konsentrasi Al^{3+} meningkat dengan cepat sampai di atas aras meracun yaitu 0,20 me/l. Oksidasi pirit ini juga memegang peranan penting dalam perubahan kompleks pertukaran kation, dimana ion H^+ dan Al^{3+} yang terbentuk akan menjenuhi kompleks jerapan dan mendesak kation seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} dan K^+ dari kompleks jerapan (Gambar 3 dan 4). Hara tersebut kemudiah hilang tercuci terbawa air pada saat surut.



Gambar 3. Perubahan besi(II), kalium dan aluminium pada lahan pasang surut sulfat
masam potensial di Tabunganen
Sumber: Konsten *et al.* (1992)



Gambar 4. Perubahan kalsium, magnesium dan sulfat pada lahan pasang surut sulfat masam potensial di Tabunganen

Sumber: Konsten *et al.* (1992)

Pada musim kemarau konsentrasi besi(II) meningkat, tapi kemudian turun, mungkin karena mengendap menjadi $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Pada awal musim hujan konsentrasi besi(II) air tanah meningkat kembali, peningkatan ini karena adanya reduksi besi(III) menjadi besi(II) (Gambar 3).

Selama musim hujan karena adanya proses pencucian dan reduksi pH air tanah pada lapisan atas meningkat mencapai nilai 5,50 dan konsentrasi Al^{3+} turun.

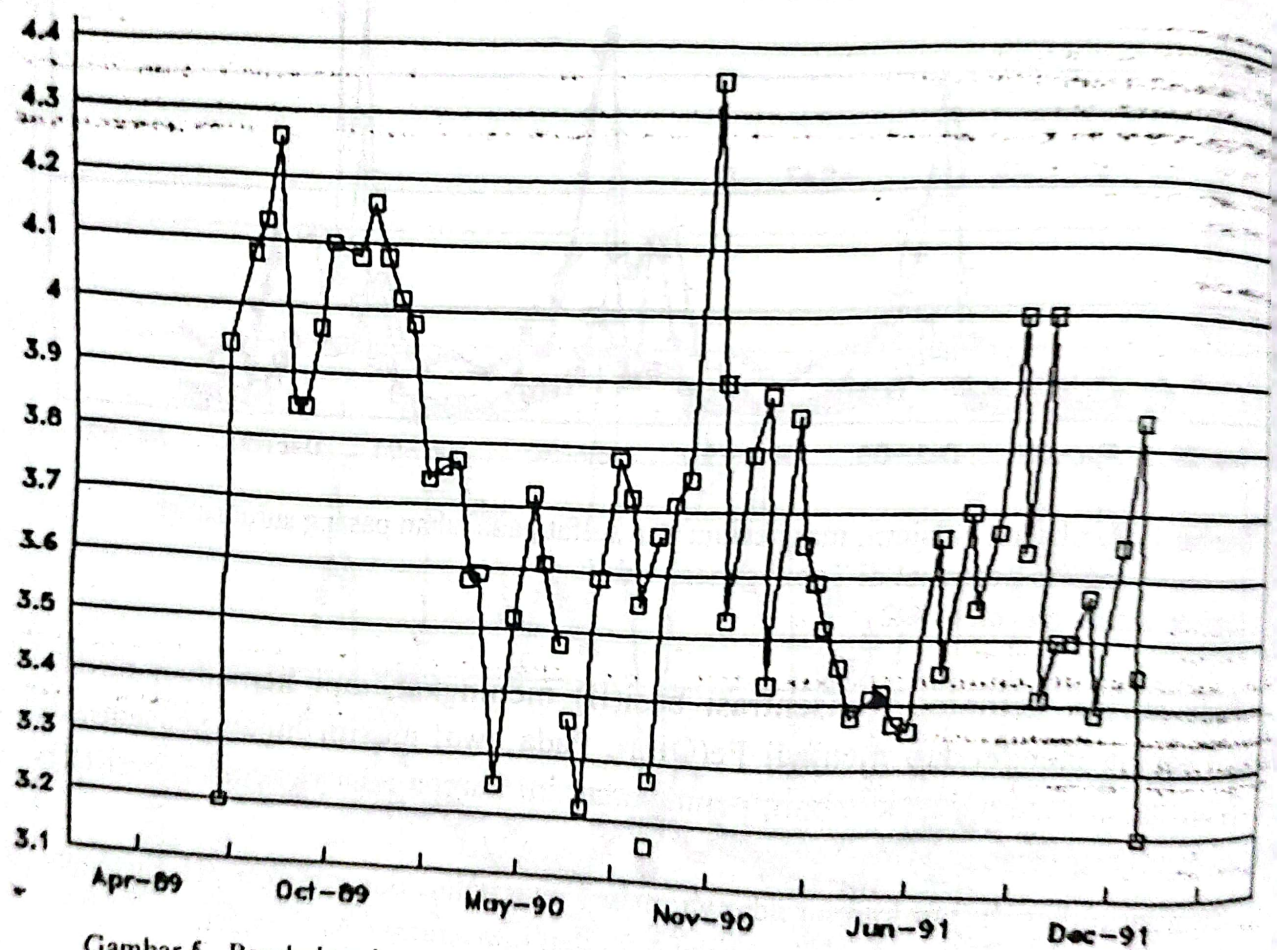
Redoks potensial pada permukaan lahan meningkat cepat pada musim kemarau, segera setelah muka air tanah berada dibawah permukaan lahan dan ini terlihat dari meningkatnya nilai redoks potensial pada kedalaman 5 cm mencapai nilai maksimum yaitu 619 mV (Tabel 1).

Perubahan Kimia Air Tanah dan Eh di Unit Tatas

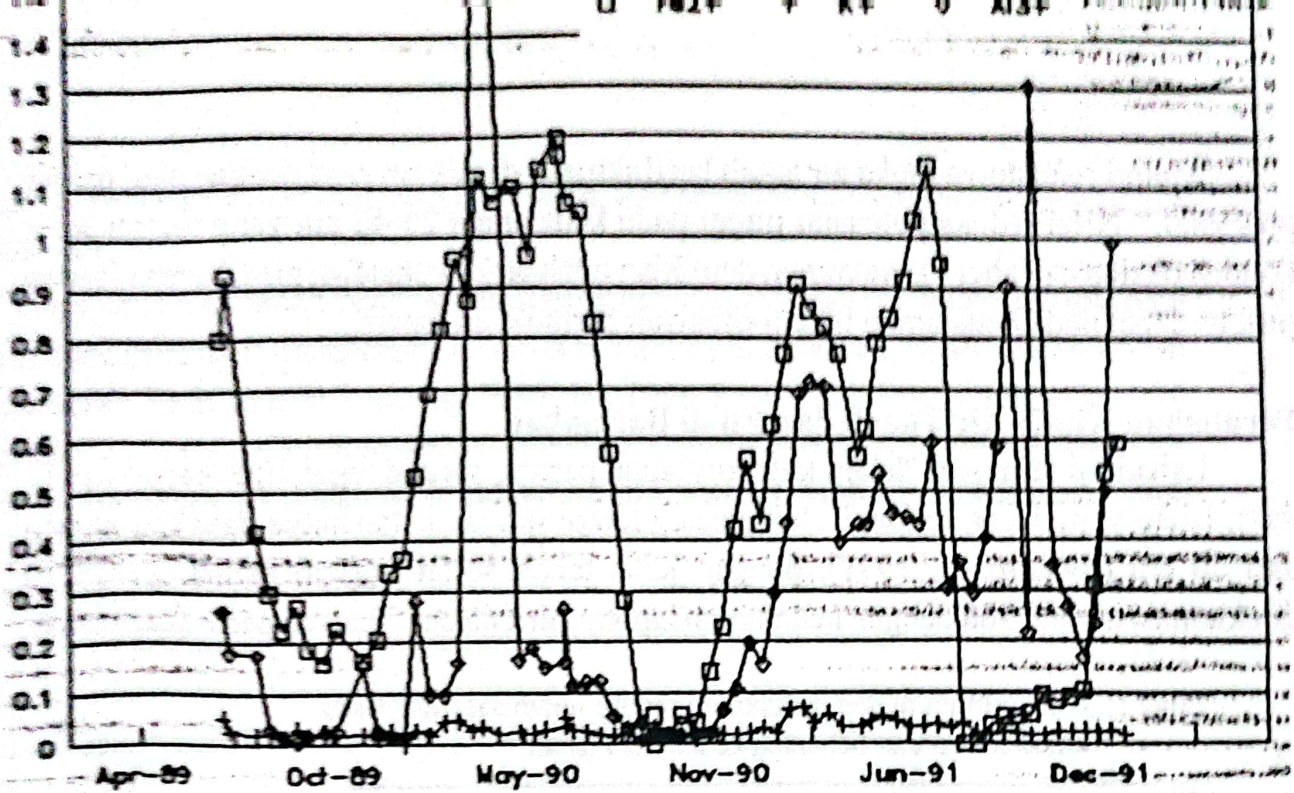
Lahan ini termasuk dalam kategori lahan pasang surut dengan tipe luapan tipe B, yaitu lahan yang hanya terluapi oleh pasang besar (Swamps-II, 1991), dengan jenis tanah

sulfat masam aktual (*Sulfic Tropaquept*). Lapisan pirit mulai nampak pada kedalaman 90 cm dibawah permukaan tanah.

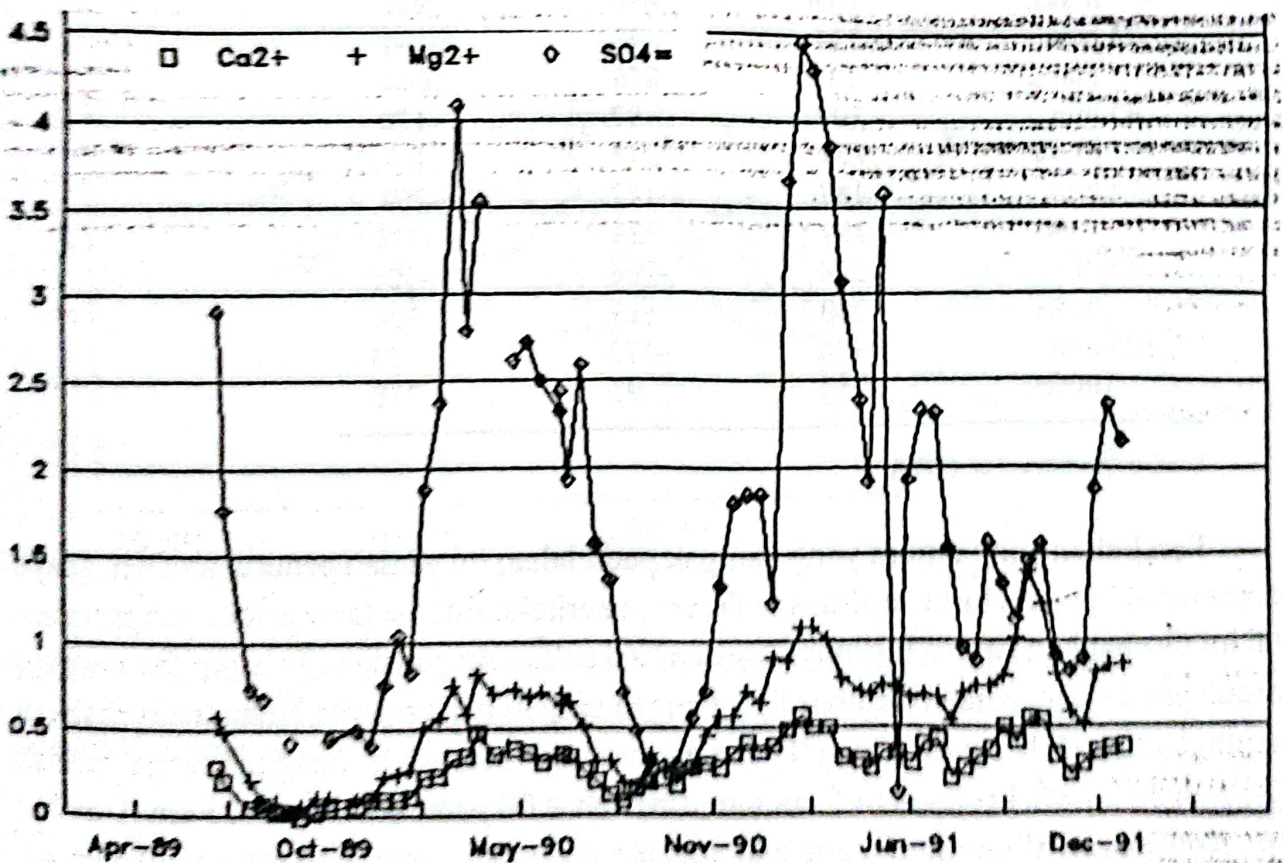
Kemasaman (pH) berfluktuasi antara 3,20 sampai 4,40 dan kelihatan turun pada bulan Maret-April (Gambar 5). Penurunan pH ini jelas kelihatan pada kedalaman 90 cm, dimana lapisan pirit mulai nampak pada kedalaman ini. Demikian juga ion SO_4^{2-} dan besi(II) mempunyai tendensi perubahan yang hampir sama, relatif agak tinggi dari bulan Februari sampai Juli dan rendah antara Agustus dan Januari. Perubahan kation K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} hampir stabil, hal ini disebabkan karena jumlah kation ini sangat rendah dalam tanah (Gambar 6 dan 7).



Gambar 5. Perubahan kemasaman air tanah (pH) pada lahan pasang surut sulfat masam aktual di Unit Tatas
Sumber: Konstent *et al.* 1992



Gambar 6. Perubahan besi(II), kalium dan aluminium pada lahan pasang surut sulfat masam aktual di Unit Tatas
 Sumber: Konsten *et al.* 1992



Gambar 7. Perubahan kalsium, magnesium dan sulfat pada lahan pasang surut sulfat masam aktual di Unit Tatas
 Sumber: Konsten *et al.* (1992)

Tinggi rendahnya muka air tanah berfluktuasi, demikian juga dengan nilai redoks potensial. Nilai redoks potensial tinggi pada kedalaman 25-45 cm yang menandakan kondisi oksidasi (Tabel 1), walaupun demikian tidak terjadi oksidasi pirit, karena lapisan pirit terdapat pada kedalaman 90 cm dibawah permukaan tanah.

Perubahan Kimia Air Tanah dan Eh di Barambai

Lahan ini termasuk dalam kategori lahan pasang surut dengan tipe luapan tipe C, yaitu lahan yang tidak terluapi oleh pasang tetapi muka air tanahnya dangkal, kurang dari 50 cm (Swamps-II, 1991), dengan jenis tanah sulfat masam aktual. Lahan ini direklamasi tahun 1968 dengan kedalaman lapisan pirit 65 cm dibawah permukaan tanah.

Tabel 1. Nilai minimum dan maksimum redoks potensial (mV) pada setiap lokasi dan beberapa kedalaman tanah

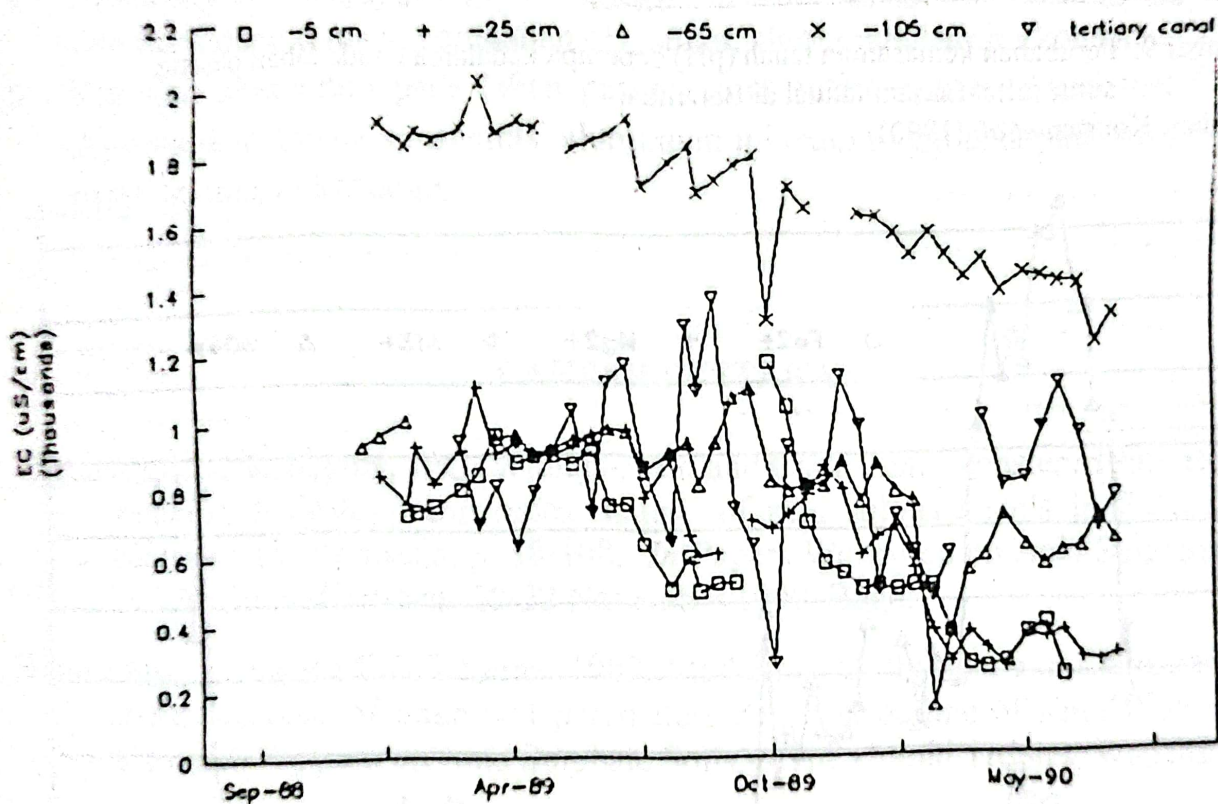
Kedalaman (cm)	Tabunganen	Unit Tatas	Barambai
5 min	- 147	-88	16
maks.	619	490	962
25 min.	- 234	72	-1
maks.	131	876	1044
45 min.	- 209	-97	-170
maks.	174	277	409
65 min.	- 187	-142	-204
maks.	289	423	411
85 min.	- 234	-206	-101
maks.	280	113	324
105 min.	- 174	-173	-159
maks.	154	93	378

Sumber: Aribawa *et al.* (1990)

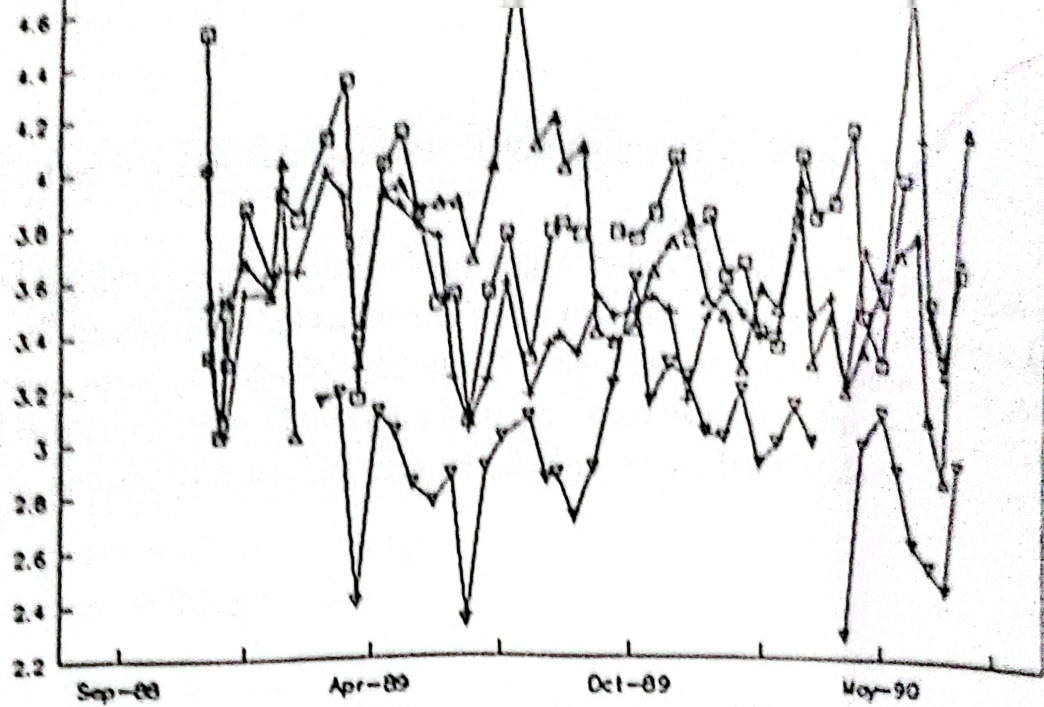
Perubahan yang umum yang nampak pada lahan ini adalah penurunan DHL (daya hantar listrik) pada seluruh lapisan tanah secara berkelanjutan selama periode pengamatan. Hal ini disebabkan karena turunnya konsentrasi sulfat, magnesium, kalsium dan natrium karena proses pencucian (Gambar 8). Penggenangan pada musim hujan menyebabkan meningkatnya DHL, sulfat, besi(II) dan aluminium air tanah, sedang pH sangat rendah dibawah 3,50 pada kedalaman 5 cm dan dibawah 4,00 pada kedalaman 25 cm (Gambar 9). Konsentrasi aluminium mencapai aras meracun yaitu antara 10 sampai 30 ppm Al. Selanjutnya pada akhir musim hujan, besi(II) kelihatan tetap tinggi, sedang magnesium turun dan pH meningkat dari 3,00 menjadi 4,00. Selama musim kemarau kualitas air tanah pada permukaan lahan kelihatan meningkat dengan meningkatnya pH secara

perlahan, konsentrasi sulfat dan besi(II) rendah, tapi konsentrasi aluminium tetap tinggi (Gambar 10).

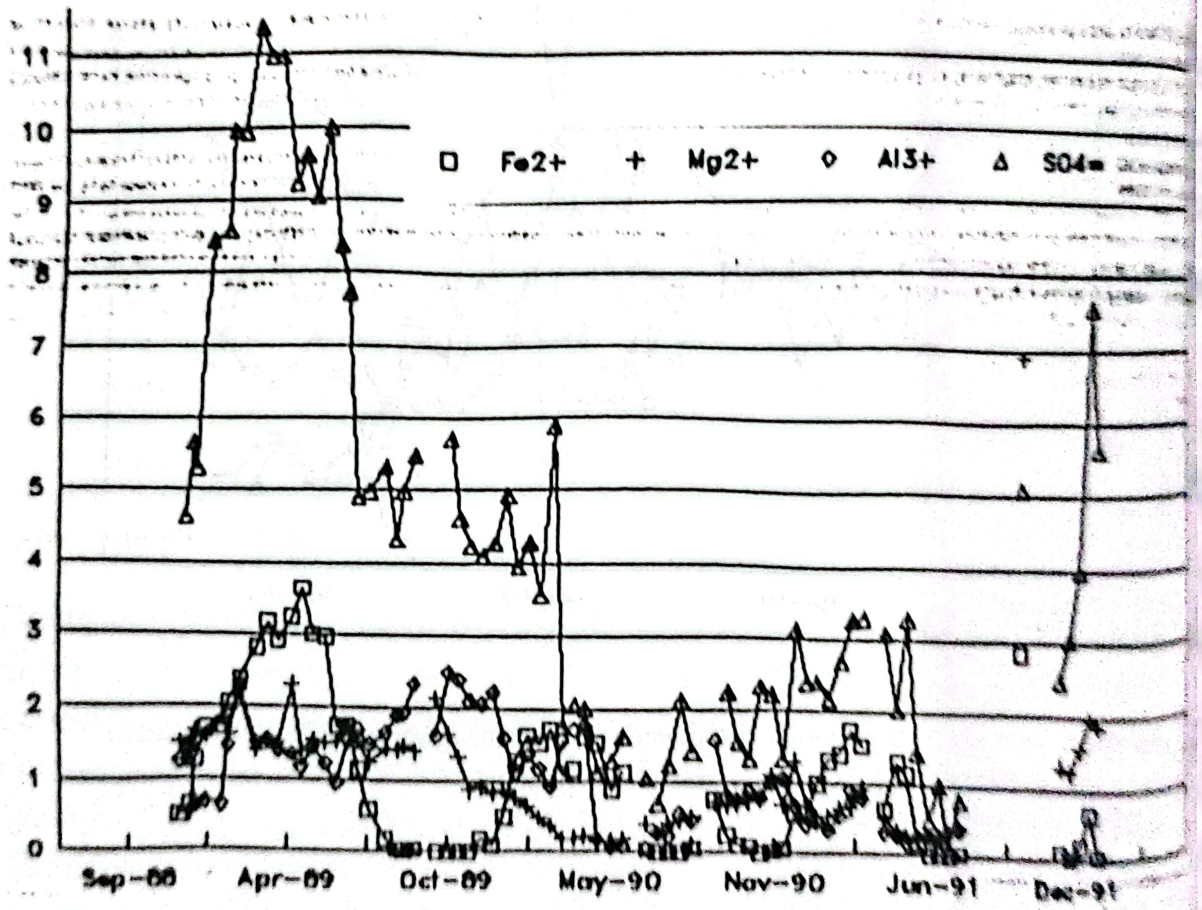
Tinggi muka air tanah berfluktuasi dan tergenang dari bulan Januari sampai Mei dengan tinggi genangan maksimum 17 cm dan minimum muka air tanah adalah 75 cm dibawah tanah. Pada musim kemarau 1989 dan 1990 kondisi oksidasi tercapai sampai kedalaman 45 cm yang dicirikan dengan meningkatnya nilai redoks potensial (Tabel 1), walaupun demikian oksidasi pirit tidak terjadi, karena lapisan pirit berada jauh dibawahnya.



Gambar 8. Perubahan daya hantar listrik pada lahan pasang surut sulfat masam aktual di Barambai
Sumber: Konsten *et al.* (1990)



Gambar 9. Perubahan kemasaman tanah (pH) beberapa kedalaman pada lahan pasang surut sulfat masam aktual di Barambai
 Sumber: Konsten *et al.* (1990)



Gambar 10. Perubahan besi(II), magnesium, aluminium dan sulfat pada lahan pasang surut sulfat masam aktual di Barambai
 Sumber: Konsten *et al.* (1990)

KESIMPULAN

1. Kelarutan dan ketersediaan hara serta transformasinya didalam tanah erat kaitannya dengan keadaan redoks potensial (Eh) tanah.
2. Proses pemasaman lapisan atas tanah pada lahan pasang surut sulfat masam potensial di Tabunganen berlangsung pada musim kemarau, dicirikan dengan turunnya pH air tanah menjadi 2,90, naiknya sulfat dan aluminium diatas aras meracun yaitu 0,20 me/l.
3. Proses pemasaman menurunkan kesuburan tanah, karena terdesaknya kation-kation basa dari kompleks jerapan dan hilang tercuci terbawa air saluran pada saat surut.
4. Tidak terjadi oksidasi pirit pada lahan pasang surut sulfat masam aktual di Unit Tatas dan Barambai, dimana perubahan pH, sulfat, aluminium hampir konstan.
5. Masalah aluminium pada lahan pasang surut sulfat masam aktual tipe C perlu diperhatikan karena konsentrasi aluminium ini tetap tinggi baik pada musim hujan maupun musim kemarau.

DAFTAR PUSTAKA

- Aribawa, I.B., S. Suping, IPG. Widjaja-Adhi and Carla J.M. Konsten. 1990. Relation between hydrology and redox status of acid sulphate soils in Pulau Petak, Kalimantan, Indonesia. p. 88-108. *In* Papers Workshop on Acid Sulphate Soils in The Humid Tropics, 20-22 November 1990. Bogor.
- Bronswijk, J.J.B. and C.J. Ritsema. 1987. Modelling of Physical and Chemical Processes: analysis of important parameters and first outline of simulation model. Research Program on Acid Sulphate Soils in The Humid Tropics, Wageningen.
- Dent, D. 1986. Acid Sulphate Soils: A baseline for research and development, ILRI, Publ. 39, Wageningen.
- Konsten C.J.M., S. Suping, I.B. Aribawa and IPG. Widjaja-Adhi. 1990. Chemical processes in acid sulphate soils in Pulau Petak, South and Central Kalimantan, Indonesia, pp. 109-135. *In* Papers Workshop on Acid Sulphate Soils in The Humid Tropics, 20-22 November 1990, Bogor.
- Konsten C.J.M., S. Suping, I.B. Aribawa, C.J. Ritsma and K. Nugroho. 1992. Field experiments in Southern Kalimantan, in Simulation Model of Physical and Chemical Processes to Evaluate Water Management Strategis. Research on Acid Sulphate Soils in The Humid Tropics, AARD & Lawoo.

- Nugroho, K., Alkusuma, Paidi, Wahyu Wahdini, Aburrahman, H. Suhardjo, dan Widjaja-Adhi. 1992. Peta areal potensial untuk pengembangan pertanian pasang surut, rawa dan pantai. Proyek Penelitian Sumberdaya lahan. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian.
- Swamps-II. 1991. Hasil utama penelitian sistem usahatani lahan pasang surut dan 1987-90. Badan Litbang, Departemen Pertanian.
- Widjaja-Adhi, IPG. 1990. Pengendalian keracunan besi di lahan sulfat masam pp. 199-215. *Dalam Agusli Taher et al. (Eds). Prosiding Pengelolaan Sawah Bukaan Baru Menunjang Swasembada Pangan dan Program Transmigrasi*. Padang, 17-18 September 1990. Faperta Univ. Ekasakti/Balittan Sukarami.
- Widjaja-Adhi, IPG., K. Nugroho, Didi Ardi S., dan A.S. Karama. 1992. Sumber Daya Lahan Rawa: potensi, keterbatasan dan pemanfaatan. pp. 19-38. *Dalam Agusli Taher, Partohardjono dan Mahyuddin Syam (Eds.). Pengembangan Terpadu Pertanian Lahan Rawa Pasang Surut dan Lebak*. Puslitbangtan, Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian.
- Yusuf, A., Sjamsudin Djakamihardja, Gunawan Satari dan Sulya Djaka Sutami. 1990. Pengaruh pH dan Eh terhadap kelarutan Fe, Al dan Mn pada lahan sawah bukaan baru. pp. 237-264. *Dalam Agusli Taher et al (Eds.) Prosiding Pengelolaan Sawah Bukaan Baru Menunjang Swasembada pangan dan Program Transmigrasi*. Padang, 17-18 September 1990. Faperta Ekasakti/Balittan Sukarami.