

PENGELOLAAN LAHAN SULFAT MASAM UNTUK PENGEMBANGAN PERTANIAN

Agusalim Masulili¹

Email : agus_masulili@yahoo.com

Abstract

Acid sulfate soil for the development of agriculture, especially food crops, will be increasingly important and strategic if it associated with the growth in population and industry and as the decrease of fertile soil for a variety of non-agricultural use. By managing it properly through the application of appropriate technology, land that is considered marginal acid sulfate can be converted into productive farmland. However, because the land is fragile, especially with the various physico-chemical soil issues, the development of agriculture in a region needs to be done carefully and cautiously by selecting the appropriate technology with the characteristics of the territory. Acid sulphate soil is one of the marginal lands (land issue) that have the potential to be developed into productive land with adequate technology input. This land is located on tidal plains with relatively flat topography and water availability that has made the land suitable for agricultural activities.

Keywords: management, acid sulphate soil, agricultural development strategy

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tanah sulfat masam berkembang dari bahan induk yang kaya akan senyawa pirit (FeS_2). Di dunia terdapat sekitar 12 juta ha tanah sulfat masam dan 1,5 juta ha diantaranya terdapat di Indonesia (Bos, 1990; Anda and Siswanto, 2002). Jika digabungkan asosiasi tanah ini dengan tanah gambut dan salin maka luas tanah sulfat masam di Indonesia menjadi 6,7 juta ha (Adhi dan Alihamsyah, 1998).

Reklamasi tanah sulfat masam untuk lahan pertanian ternyata menimbulkan masalah kimia tanah dan menjadi kendala besar bagi pengelolaan pertanian di lahan pasang surut. Pada saat drainase, oksigen masuk ke dalam tanah mengoksidasi senyawa pirit sehingga menghasilkan asam sulfat yang menyebabkan terjadinya pemasaman tanah yang hebat, kemudian diikuti oleh kelarutan aluminium, besi, mangan yang tinggi dan unsurhara menjadi tidak tersedia (Dent, 1986 dalam Priatmadi, 2004). Pada saat tergenang, senyawa pirit menjadi lebih stabil, pH cenderung naik, namun terjadi proses reduksi menghasilkan senyawa-senyawa terutama sulfida dan besi yang dalam jumlah tertentu konsentrasinya dapat meracuni terhadap pertumbuhan padi (Smilde, et al., 1992; Adhi dan Alihamsyah, 1998 dalam Priatmadi, 2004).

Selama ini usaha-usaha yang telah digalakkan untuk mengatasi kendala tersebut antara lain dengan menerapkan pengolahan tanah minimum, tanpa olah tanah (TOT), pemupukan, pengapuran, introduksi varietas padi spesifik lokasi, pengaturan sistem hidrologi seperti tata air mikro, sistem aliran satu arah, sistem garpu dan perbaikan teknik budidaya. Namun demikian, pencapaian produktifitas tanaman padi di lahan ini belum optimal sesuai yang diharapkan.

Dalam rangka meningkatkan produktifitas tanaman padi di lahan sulfat masam, dibutuhkan kajian terhadap lahan ini yang dapat memberikan penilaian untuk kesesuaian lahan tanaman padi yang bersifat spesifik, sehingga dalam pengelolaan dan pemanfaatan tanah ini sesuai dengan daya dukungnya.

B. Perumusan Masalah

Terdapatnya lapisan pirit (FeS_2) di dalam tanah sulfat masam yang kedalamannya sangat bervariasi dari satu lokasi dan lokasi lainnya dapat menimbulkan masalah terutama dalam kaitannya dengan penyiapan lahan. Pirit perlu dikonservasi dan diusahakan tetap stabil di dalam tanah, karena jika pirit terekspose atau terangkat ke permukaan tanah akan mengalami oksidasi dan dapat memasamkan tanah serta dapat menimbulkan keracunan besi pada tanaman padi (Adhi, 1997 dalam Simatupang dan Indrayati, 2005).

Dari permasalahan yang telah di kemukakan, nampak bahwa karakter tanah sulfat masam kurang menguntungkan bagi usaha pertanian pangan, diantaranya kemasaman tanah yang sangat tinggi, tingkat kesuburan tanah rendah terutama kahat unsur hara NPK, dan timbulnya keracunan besi.

Oleh karena itu untuk meningkatkan produktifitas lahan diperlukan pengelolaan tanah dan hara, sehingga lahan yang kurang subur menjadi lahan yang produktif. Hal ini dapat dilakukan melalui pengelolaan lahan yang tepat sesuai kondisi lahan.

C. Tujuan Penulisan

Karya Ilmiah ini bertujuan untuk menguraikan tentang aspek masalah pirit, drainase, agrohidrologi tanaman semusim, dan strategi peningkatan produktifitas lahan sulfat masam.

LAHAN SULFAT MASAM

A. Potensi dan Penyebaran

Tanah sulfat masam termasuk dalam kategori lahan rawa. Di kalangan ahli Belanda, lahan rawa digolongkan ke dalam lahan basah tropik atau tropical wetland (Lawoo, 1994). Di Indonesia lahan rawa dibedakan menjadi lahan lebak dan lahan pasang surut. Luas areal lahan rawa di Indonesia oleh Nugroho, et al. (1992) diperkirakan mencapai 33,4 juta ha, terdiri dari 20,11 lahan pasang surut dan 13,29 juta ha lahan lebak.

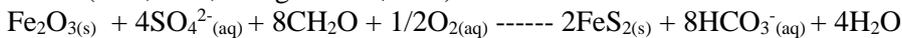
Dari luasan tersebut sekitar 4,168 juta ha lahan pasang surut sudah direklamasi dan sekitar 0,73 juta ha lahan lebak diusahakan sebagai areal pertanian. Berdasarkan data Bos, 1990; Anda and Siswanto, 2002 bahwa tanah sulfat masam di Indonesia mencapai 1,5 juta ha. Sejalan dengan hal ini Adhi dan Alihamsyah (1998) mengemukakan, jika digabungkan asosiasi tanah ini dengan tanah gambut dan salin maka luas tanah sulfat masam di Indonesia menjadi 6,7 juta ha. Selanjutnya menurut Mahyudin dan Hermanto, 1995; Adhi, et al., 2000 dalam Achmad dan Ananto, 2005, lahan rawa di Indonesia tersebar di Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan Papua.

B. Pembentukan Tanah Sulfat Masam

Tanah sulfat masam berkembang sebagai akibat drainase bahan induk yang kaya dengan pirit (FeS_2) (Shamsudin dan Sarwani, 2002). Pirit terakumulasi pada tanah tergenang yang banyak mengandung bahan organik dan sulfat terlarut yang biasanya berasal dari air laut. Ketika drainase membawa oksigen kepada tanah tergenang tersebut, pirit teroksidasi menjadi asam sulfat. Tanah sulfat masam berkembang jika produksi asam melebihi kemampuan netralisasi dari bahan induk, sehingga pH turun menjadi kurang dari 4 (Rimwanich and Suebsiri, 1984; Dent, 1986).

1. Genesa Pirit

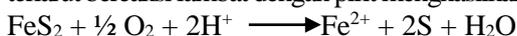
Pembentukan pirit melibatkan : (1) reduksi ion sulfat menjadi sulfida oleh bakteri pereduksi sulfat, (2) sulfida-sulfida selanjutnya mengalami oksidasi parsial menjadi sulfur elemental dan ion polisulfida, (3) reaksi sulfide terlarut dengan besi menghasilkan besi monosulfida (FeS), (4) reaksi monosulfida dengan sulfur membentuk pirit (Soil Research Institute, 1973). Garis besar persamaan reaksi proses pembentukan pirit dinyatakan sebagai berikut (Dent, 1986; Zhang and Luo, 2002):



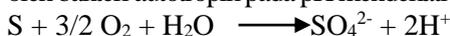
Kondisi penting terbentuknya pirit adalah: (1) kondisi lingkungan anaerob, (2) adanya sumber sulfat terlarut, baik dari air laut, air pasang payau atau air tanah yang kaya akan sulfat, (3) bahan organik sebagai sumber energi bakteri, (4) sumber besi, umumnya berasal dari sedimen yang mengandung besi oksida dan hidroksida, dan (5) waktu (Dent, 1986 dalam Priatmadi, 2004).

2. Oksidasi Pirit

Oksidasi pirit pada tanah sulfat masam terjadi dalam beberapa tahap, melibatkan baik proses kimia maupun biologis. Menurut Dent (1986) dalam Priatmadi (2004) mulanya oksigen terlarut bereaksi lambat dengan pirit menghasilkan besi (II) dan sulfat atau sulfur elemental:



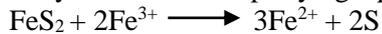
Selanjutnya oksidasi sulfur oleh oksigen berjalan sangat lambat, tetapi dapat dikatalisasi oleh bakteri autotropik pada pH mendekati netral:



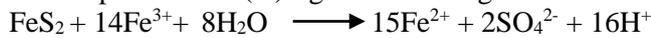
Pemasaman juga dapat terjadi pada oksidasi senyawa kimia amorf besi monosulfida, walaupun jumlah pirit yang ada sangat kecil :



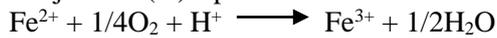
Jika pH dari sistem oksidasi di bawah 4, Fe³⁺ menjadi larut cukup banyak dan menyebabkan oksidasi pirit yang cepat:



Reaksi besi (III) dengan sulfur juga berlangsung sangat cepat dan secara keseluruhan oksidasi pirit oleh besi (III) digambarkan sebagai berikut:

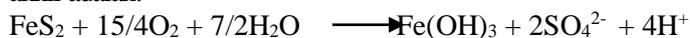


Pada pH rendah, *Thiobacillus ferrooxidans* mengoksidasi sulfur dan demikian pula besi (II) menjadi besi (III) seperti reaksi berikut :



Thiobacillus ferrooxidans

Secara keseluruhan reaksi oksidasi pirit yang menghasilkan besi (III) hidroksida sebagai produk akhir adalah:



(Konsten, *et al.*, 1990; Smilde, *et al.*, 1990; Groenenberg, 1990; Ritsema dan Groenenberg, 1993).

Endapan berwarna kuning pucat, yakni yang mengendap mengisi pori dan melapisi ped pada kondisi oksidasi kuat dan sangat masam (Eh > 400 mV, pH < 3,7) disebut jarosit. Jarosit terbentuk dari oksidasi pirit melalui reaksi:



(Dent, 1986; Konsten, *et al.*, 1990 dalam Priatmadi, 2004).

AGROHIDROLOGI TANAMAN SEMUSIM

A. Siklus Air di Lahan dan Pengelolaannya Bagi Tanaman Semusim

Secara agronomis, tanaman semusim adalah tanaman yang dalam siklus hidupnya mulai dari fase vegetatif sampai reproduktif membutuhkan waktu musiman (1 – 3 bulan). Tanaman semusim pada umumnya sangat peka terhadap kondisi ketersediaan air. Dengan kata lain, dalam rangka mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman semusim ini, ketersediaan air di lahan sangat menentukan. Dimana kelebihan dan kekurangan air akan berdampak terhadap proses fisiologis tanaman.

Sejalan dengan hal tersebut, Hillel (1982) mengemukakan bahwa gerakan air di lahan bersifat siklis dan kuntinyu. Siklus ini dapat diawali oleh masuknya air kedalam tanah oleh proses infiltrasi, diteruskan dengan penyimpanan air secara temporer dalam tanah dan diakhiri dengan pembuangan air dari tanah oleh proses drainase, evaporasi dan pengambilan air oleh tanaman. Berkaitan dengan pengambilan air oleh tanaman ini, maka siklus air di lahan yang berkaitan dengan presipitasi, infiltrasi, perkolasi, limpasan permukaan, evaporasi, transpirasi dan evapotranspirasi harus menjadi perhatian dalam pengelolaan lahan untuk budidaya tanaman.

B. Kedudukan Air di Dalam Tanah

Di dalam tanah, air berada di dalam ruang pori di antara padatan tanah. Jika tanah dalam keadaan jenuh air, semua ruang pori tanah terisi oleh air. Dalam keadaan ini jumlah air yang disimpan di dalam tanah, merupakan jumlah air maksimum disebut kapasitas penyimpanan air maksimum. Selanjutnya jika tanah mengalami pengeringan, sebagian ruang pori akan terisi udara dan sebagian lainnya akan terisi air. Dalam keadaan ini tanah dikatakan tidak jenuh.

Di dalam tanah air dapat bertahan tetap berada di dalam ruang pori karena adanya berbagai gaya yang bekerja pada air tersebut. Untuk dapat mengambil air dari rongga pori tanah diperlukan gaya atau energi yang diperlukan untuk melawan energi yang menahan air. Islami dan Utomo (1995) menyatakan bahwa gaya-gaya yang menahan air hingga dapat bertahan dari rongga pori berasal dari: a) adsorpsi molekul air oleh padatan tanah, b) gaya tarik menarik antara molekul air, c) adanya larutan garam, d) gaya kapiler.

C. Kesetimbangan Air dan Kesetimbangan Energi di Lahan

Suatu usaha untuk mengendalikan jumlah dan ketersediaan air untuk tanaman harus didasarkan pada pemahaman menyeluruh dan pengetahuan kuantitatif tentang kesetimbangan dinamis air dalam tanah. Lebih jauh Hillel (1995) menjelaskan bahwa kesetimbangan air lahan sangat berkaitan dengan kesetimbangan energi, karena hal ini meliputi proses yang memerlukan energi. Kandungan air di dalam tanah mempengaruhi cara pembagian dan penggunaan pengaliran energi mencapai lahan. Hal yang sama, pengaliran energi mempengaruhi kondisi dan pergerakan air. Kesetimbangan air dan ke-setimbangan energi adalah terkait erat, karena keduanya terjadi dengan proses dan di dalam lingkungan yang sama.

D. Pengambilan Air Tanah Oleh Tanaman

Untuk tumbuh dengan baik, suatu tanaman harus mencapai suatu kebutuhan air yang seimbang dengan suplai air yang tersedia. Pergerakan air dari dalam tanah melewati tubuh tanaman kemudian dikeluarkan ke atmosfer merupakan proses yang berkesinambungan. Pada dasarnya air dapat bergerak karena adanya perbedaan energi potensial. Karena air bergerak dari dalam tanah ke tanaman, maka energi air tanaman harus lebih rendah dari energi potensial air tanah (Islami dan Utomo, 1995 dalam Masulili, 2004).

SISTEM TATA AIR (DRAINASE) DAN PERGERAKAN PIRIT

A. Strategi Pengelolaan Air

Pengelolaan air merupakan salah satu faktor penentu keberhasilan pengembangan pertanian, yang dapat ditata sebagai sawah, tegalan dan surjan disesuaikan dengan tipe luapan air dan tipologi lahan serta tujuan pemanfaatannya.

Berdasarkan pengaruh luapan air pasang dan tingkat pengatusannya, lahan pasang surut dapat dibagi atas empat tipe luapan yaitu tipe A, B, C dan D (Noorsyamsi et al., 1984; Kselik, 1990).

Tipe A : Wilayah yang selalu mendapatkan luapan pasang baik oleh pasang tunggal maupun pasang ganda. Wilayah ini berada antara rata-rata pasang terendah dan pasang ganda, mendapatkan pengaliran harian selama pasang rendah.

Tipe B : Wilayah yang mendapatkan luapan hanya oleh pasang tunggal. Wilayah ini berada antara rata-rata pasang ganda dan pasang tunggal, mengalami pengatusan selama pasang rendah.

Tipe C : Wilayah yang tidak mendapatkan luapan pasang langsung baik selama pasang tunggal maupun pasang ganda. Tinggi muka air tanah bervariasi < 50 cm. Wilayah ini berada di atas pasang tunggal, gerakan pasang hanya berpengaruh terhadap muka air tanah melalui peresapan dan mengalami pengatusan secara permanen.

Tipe D : Wilayah ini tidak pernah mendapatkan luapan. Tinggi muka air tanah > 50 cm. Wilayah ini identik dengan lahan kering dan mengalami pengatusan secara permanen.

Dalam kaitannya dengan pengembangan pertanian di lahan rawa, Adhi (1995) dan Alihamsyah *et al.* (2000) memberikan strategi acuan penataan lahan berdasarkan tipe luapannya sebagaimana tertera pada tabel 1 berikut ini.

Keberagaman sifat dan watak tanah maupun lingkungan fisik lainnya memberikan suatu konsekuensi suatu sistem pengelolaan air, tanah dan tanaman dalam skala lokal. Perlunya pendekatan skala lokal ini berhubungan erat dengan sifat dan watak tanah yang bersifat spesifik, tidak seragam, dan tidak serba sama.

Menurut Hardjoso dan Darmanto (1996) dalam reklamasi perlu diperhatikan beberapa kriteria teknis jaringan saluran tata air yang harus diikuti untuk mencapai tujuan yang diharapkan, antara lain sebagai berikut :

Tabel 1. Acuan Penataan Lahan Pada Pengembangan Pertanian Di Lahan Rawa

Tipologi Lahan	Tipe Luapan			
	A	B	C	D
Potensial	Sawah	Sawah/Surjan	Sawah/Surjan/ Tegalan	Sawah/Tegalan/ Kebun
Sulfat masam	Sawah	Sawah/Surjan	Sawah/Surjan/ Tegalan	Sawah/Tegalan/ Kebun
Bergambut	Sawah	Sawah/Surjan	Sawah /Tegalan	Sawah/Tegalan/ Kebun
Gambut dangkal	Sawah	Sawah	Tegalan/Kebun	Tegalan/Kebun
Gambut sedang	-	Konservasi	Tegalan/Perke bunan	Perkebunan
Gambut dalam	-	Konservasi	Tegalan/Perke bunan	Perkebunan
Salin	Sawah/ Tambak	Sawah/ Tambak	-	-

Sumber : Adhi (1995) dan Alihamsyah (2000)

1. Aspek Hidrologi

Dalam hal ini perlu diperhatikan neraca air setempat. Intensitas curah hujan harus cukup untuk menjamin ketersediaan di lahan dan mampu mempercepat proses pelindian (leaching). Wilayah pengembangan dianjurkan yang mempunyai bulan basah 8 bulan atau lebih.

2. Aspek Gerakan Air

Wilayah pengembangan seyogyanya ditentukan tidak terkena penyusupan air laut dan masih termasuk wilayah jangkauan air pasang secara memadai.

3. Aspek hidro-topografi

Data topografi yang akurat harus cukup tersedia untuk mendukung stratifikasi lahan menurut kondisi pada saat pasang dan surut sehingga membantu dalam penentuan tataguna lahan dan realisasi saluran.

4. Aspek Mutu Air

Mutu air sangat berpengaruh terhadap tanah dan aktifitas pertumbuhan tanaman. Mutu air sungai sebagai pelindi dan pengairan cukup memadai dengan pH > 5 dan DAL < 40 uS/cm sebagai mutu yang ideal.

B. Tujuan Penerapan Sistem Tata Air

Tujuan sistem tata air selain untuk memenuhi kebutuhan air selama penyiapan lahan dan pertumbuhan tanaman juga untuk memperbaiki sifat fisiko-kimia tanah, yaitu dengan jalan : (1) memanfaatkan air pasang untuk kebutuhan pengairan sesuai kebutuhan tanaman; (2) mencegah masuknya air asin ke petakan lahan; (3) mencuci zat-zat beracun bagi tanaman; (4) mengurangi semaksimal mungkin terjadinya oksidasi pirit pada tanah sulfat masam; dan (5) mencegah terjadinya proses kering tak balik pada gambut.

Sistem jaringan tata air yang dibangun meliputi pembagian fungsi, yakni saluran primer, sekunder, dan tersier yang disusun dalam sistem berbentuk garpu atau sistem sisir. Rancangan jaringan tata air dibangun dengan beberapa nggapan antara lain :

- lahan datar, dengan sifat fisik seragam;
- keadaan hidrologis dengan pola pasang surut di suatu lokasi tertentu;
- panjang saluran primer ditentukan oleh jarak rambatan gelombang pasang;
- adanya potensi tanah sulfat masam yang harus dijaga agar lapisan pirit tetap dalam suasana reduksi;
- terjadinya pertukaran air yang lancar di lahan usahatani.

C. Sistem Jaringan Tata Air (Drainase)

Tata air yang teruji baik di lahan pasang surut termasuk lahan sulfat masam adalah sistem aliran satu arah (one way flow system) dan sistem tabat (dam overflow) (Jumberi dan Alihamsyah, 2005). Penerapan sistem tata air ini perlu disesuaikan dengan tipologi lahan dan tipe luapan air serta komoditas yang diusahakan.

Pada lahan bertipe luapan air A diatur dalam sistem aliran satu arah, sedangkan pada lahan bertipe luapan B diatur dengan sistem aliran satu arah dan tabat, karena air pasang pada musim kemarau sering tidak masuk ke petakan lahan. Sistem tata air pada lahan bertipe luapan C dan D ditujukan untuk menyelamatkan air, karena sumber air hanya berasal dari air hujan. Oleh karena itu, saluran air pada sistem tata air di lahan bertipe luapan C dan D perlu ditabat dengan pintu stoplog untuk menjaga permukaan air tanah agar sesuai dengan kebutuhan tanaman serta memungkinkan air hujan tertampung dalam saluran tersebut. Penerapan penataan lahan dan sistem tata air tersebut menurut Sarwani (2001), selain dapat meningkatkan kualitas dan produktivitas lahan juga dapat meningkatkan intensitas penggunaan lahan dan penerapan beragam pola tanam serta pendapatan masyarakat.

Berdasarkan bentuk dan sistem jaringan tata air yang telah dikembangkan dalam reklamasi rawa, terdapat empat sistem jaringan pengelolaan air yaitu sistem handil, sistem anjir, sistem garpu, dan sistem sisir.

1. Sistem Handil

Sistem handil merupakan sistem tata air tradisional yang rancangannya sangat sederhana berupa saluran yang menjorok masuk dari muara sungai. Kata handil diambil dari kata *anndeel* dalam bahasa Belanda yang artinya kerjasama, gotong-royong. Di Sumatera dikenal dengan istilah parit kongsi. Handil dalam masyarakat suku Banjar diartikan sebagai suatu lahan atau areal yang dibuka dengan sekaligus pembuatan saluran yang menjorok masuk ke pedalaman dari pinggir sungai besar. Saluran berukuran lebar 2 m – 3 m, dalam 0,5 – 1,0 m, dan panjang masuk dari muara sungai 2-3 km. Jarak antara handil satu dan lainnya berkisar 200 m – 300 m. Adakalanya, panjangnya handil ditambah atau diperluas sehingga luas yang dikembangkan dapat mencapai antara 20 – 60 ha (Idak, 1982 dan Noorsyamsi et al., 1984 dalam Noor, 2002).

Selain sebagai saluran pengairan, handil juga sekaligus berfungsi sebagai saluran pengatusan. Biasanya, dari pinggir handil dibuat saluran-saluran yang tegak lurus yang menyerupai bangunan sirip ikan atau tulang daun nangka. Handil, selain sebagai jaringan pengairan/ pengatusan, dimanfaatkan juga sebagai alur transportasi.

Sistem handil mengandalkan tenaga alam berupa pasang surut untuk mengalirkan air sungai ke saluran-saluran handil dan parit kongsi, kemudian mengeluarkannya ke arah sungai pada saat surut. Sistem ini hanya cocok dikembangkan untuk skala pengembangan yang relative kecil. Sebagian handil di Kalimantan yang dibangun sekitar tahun 1950-an, sekarang banyak mengalami kekeringan pada musim kemarau karena posisinya makin lebih tinggi daripada muka air sungai.

2. Sistem Anjir

Sistem anjir disebut juga dengan sistem kanal yaitu sistem tata air makro dengan pembuatan saluran besar yang dibuat untuk menghubungkan antara dua sungai besar. Saluran yang dibuat dimaksudkan untuk dapat mengalirkan dan membagikan air yang masuk dari sungai untuk pengairan jika terjadi pasang dan sekaligus menampung air limbah (pengatusan) jika surut melalui handil-handil yang dibuat sepanjang anjir. Dengan demikian, air sungai dapat dimanfaatkan seoptimal mungkin.

Dengan dibuatnya anjir, maka daerah yang berada di kiri dan kanan saluran dapat diairi dengan membangun handil-handil (saluran tersier) tegak lurus kanal. Adanya anjir ini menimbulkan lalu lintas transportasi air antara dua kota menjadi lebih ramai sehingga mendorong pembangunan daerah karena terjadinya peningkatan arus pertukaran barang dan jasa.

3. Sistem Garpu

Sistem garpu adalah sistem tata air yang dirancang dengan saluran-saluran yang dibuat dari pinggir sungai masuk menjorok ke pedalaman berupa saluran navigasi dan saluran primer, kemudian disusul dengan saluran sekunder yang dapat terdiri atas dua saluran bercabang sehingga

jaringan menyerupai garpu. Ukuran lebar saluran primer antara 10 m – 20 m dan kedalaman sebatas dibawah batas pasang minimal. Ukuran lebar saluran sekunder antara 5 m – 10 m (Notohadiprawiro, 1996). Pada setiap ujung saluran sekunder sistem garpu dibuat kolam yang berukuran luas sekitar 90.000 m² (300 m x 300 m) sampai dengan 200.000 m² (400 m x 500 m) dengan kedalaman 2,5 m – 3 m. Kolam ini berfungsi untuk menampung sementara unsure dan senyawa beracun pada saat pasang, kemudian diharapkan keluar mengikuti surutnya air (Noor, 2002).

4. Sistem Sisir

Sistem sisir merupakan pengembangan sistem anjir yang dialihkan menjadi satu saluran utama atau dua saluran primer yang membentuk sejajar sungai. Pada sistem ini panjang saluran sekunder dapat mencapai 10 km, sedangkan pada sistem garpu hanya 1 – 2 km (Notohadiprawiro, 1996). Perbedaan lain pada sistem sisir tidak dibuat kolam penampung pada ujung-ujung saluran sekunder sebagaimana pada sistem garpu. Sistem saluran dipisahkan antara saluran pemberi air dan pengatusan. Pada setiap saluran tersier dipasang pintu air yang bersifat otomatis (aeroflegate). Pintu bekerja secara otomatis mengatur kedalaman muka air sesuai pasang surut.

D. Konsep Peningkatan Produktifitas Lahan

Dalam pemanfaatan lahan rawa, khususnya lahan sulfat masam sebagai sumber areal produksi pertanian, Alihamsyah *et al.* (2002) mengajukan tiga pendekatan yaitu: (1) memperbaiki kondisi lahan dengan menerapkan teknologi pengelolaan lahan berupa pengelolaan air, tanah, bahan ameliorasi, dan hara; (2) menggunakan tanaman dan varietas toleran kondisi lahan dan preferensi petaninya; (3) memadukan keduanya secara serasi.

Penerapan teknologi pengelolaan sumberdaya lahan khususnya lahan sulfat masam secara parsial, selain memerlukan input dan biaya lebih tinggi, juga dampaknya lama terhadap peningkatan produktifitas lahan sehingga hasilnya tidak optimal, dan keberlanjutan penerapannya oleh petani sangat rendah. Jumberi dan Alihamsyah (2005) mengemukakan konsepsi dasar teknologi percepatan peningkatan produktifitas lahan rawa yang tepat untuk dilaksanakan adalah mengacu pada pengelolaan lahan terpadu. Konsep tersebut didasarkan pada pemaduan secara komplementer antara upaya peningkatan kualitas lahan sampai tingkat tertentu dengan input serendah mungkin dan penggunaan tanaman yang toleran pada tingkat kualitas tersebut. Upaya ini secara tidak disadari sebenarnya sudah dilakukan oleh petani local dengan indigineous knowledge-nya.

Teknologi pengelolaan sumberdaya terpadu adalah memadukan teknologi pengelolaan sumberdaya yang berupa tanah, air, bahan ameliorasi, pupuk dan tanaman secara serasi dan sinergi. Penerapan teknologi tersebut selain dapat meningkatkan kualitas dan produktifitas lahan secara lebih cepat, juga dapat meningkatkan efisiensi produksi dengan biaya yang lebih murah.

E. Pengelolaan Tanah dan Sistem Tata Air

Pengelolaan tanah dan sistem tata air diperlukan selain untuk memperbaiki kondisi lahan menjadi lebih seragam dengan adanya penggeburan atau pelumpuran dan perataan, juga untuk mempercepat proses pencucian bahan beracun dan pencampuran bahan ameliorasi maupun pupuk dengan tanah (Adhi, 1998 dalam Jumberi dan Alihamsyah, 2005).

Pengolahan tanah yang memberikan hasil baik dari segi fisik lahan dan hasil tanaman adalah dengan bajak singkal atau tajak diikuti oleh rotary atau glebeg yang dikombinasikan dengan herbisida (Riza dan Saragih, 2001). Khusus pada tanah mineral yang keras dan berbongkah atau pada lahan bergambut, sebaiknya tanah diolah sampai gembur dengan mencampurkan lapisan gambut dan tanah mineral di bawahnya (Djajusman *et al.*, 1995). Namun demikian cara pengolahan tanah seperti ini harus memperhatikan keberadaan pirit yang berada di lapisan bawah jangan sampai terekspos ke permukaan.

F. Penggunaan Jenis dan Varietas Tanaman Toleran

Tanaman yang bisa dikembangkan meliputi : (1) tanaman pangan (padi, jagung, kedelai, kacang tanah, kacang hijau dan ubi-ubian); (2) tanaman sayuran (tomat, cabai, timun, kacang panjang,

terong, buncis, kubis, bawang merah, waluh dan aneka sayuran cabut seperti sawi, slada, bayam, dan kangkung); (3) tanaman buah-buahan (nenas, semangka, timun suri, jeruk, rambutan dan pisang); (4) tanaman perkebunan (kelapa, kelapa sawit, kopi, lada dan jahe) (Ismail et al., 1993).

Tabel 2. Varietas Unggul Padi Rawa Pasang Surut Yang Telah Dilepas Sampai Tahun 2002

Varietas	Tahun dilepas	Umur (hari)	Potensi hasil (t/ha)	Ketahanan hama	Ketahanan penyakit
Barito	1981	140-145	4,5-5,0	Tahan Wck-1	Cukup tahan bakteri hawar daun (BHD)
Mahakam	1983	135-140	3-4	Peka Wck-1,2,3	Cukup tahan BHD
Kapuas	1984	127	3	Tahan Wck-1	Cukup tahan BHD
Musi	1988	135-140	4,5	Tahan Wck-2	Tahan 8 ras blas dan BHD
Sei Lilin	1991	115-125	5-6	Agak tahan Wck-2	Cukup peka blas
Lematang	1991	125-130	5-6	Tahan Wck-1	Cukup tahan blas
Lalan	1996	125-130	5-6	Tahan Wck	Cukup tahan blas
Banyuasin	1996	115-120	5-6	Tahan Wck-3	Tahan bercak coklat dan blas
Batanghari	1999	125	5-6	Tahan Wck-1,2	Tahan hawar daun dan blas
Dendang	1999	125	3-5	Tahan Wck-1,2	Agak tahan blas dan bercak coklat
Indragiri	2000	117	4,5-5,5	Tahan Wck-1,2	Tahan blas dan hawar daun
Punggur	2000	117	4,5-5	Tahan Wck-2,3	Tahan blas
Margasari	2000	120-125	3-4	Agak tahan Wck-2	Tahan blas leher
Martapura	2000	120-125	3-4	-	Tahan blas leher
Air Tenggulang	2001	125	5	Tahan Wck	Tahan blas dan hawar daun
Siak Raya	2001	120	5	Tahan Wck-IR26	Tahan blas leher dan bercak coklat
Lambur	2001	115	3,99	Agak tahan Wck-3	Tahan blas daun
Mendawak	2001	115	3,98	Agak tahan Wck-3	Agak tahan blas daun

Sumber : Jemberi dan Alihamsyah (2005)

Khusus untuk padi, varietas unggul yang beradaptasi baik di sawah lahan pasang surut yang tingkat kemasaman dan kadar besinya tidak terlalu tinggi adalah Kapuas, Cisanggarung, Cisdane, Cisokan, IR42 dan IR66. Hasil padi varietas unggul ini dapat mencapai 3-6 ton/ha.

Sedangkan untuk lahan yang kemasaman dan kadar besinya tinggi dapat digunakan beberapa varietas unggul lokal seperti Talang, Ceko, Mesir, Jalawara, Siam Lemo, Siam Unus, Siam Pandak, Semut, Pntianak, Sepulo, Pance, Salimah, Jambi Rotan, dan Tumbaran. Varietas ini dapat menghasilkan 2-3 ton/ha dengan umur 120-150 hari.

Tabel 2 dan 3 menunjukkan beragam pilihan jenis dan varietas tanaman adaptif yang dapat dikembangkan di lahan rawa. Pemilihan jenis dan varietas tanaman disesuaikan dengan preferensi atau konsumen yang sangat prospektif.

Tabel 3. Jenis Dan Varietas Tanaman Toleran Lahan Pasang Surut

Jenis tanaman	Varietas	Daya toleransi	Hasil (ton/ha)
Jagung	Arjuna, Kalingga, Wiyasa, Bisma, Bayu, Antasena, C-3, C-5, Semar, Sukmaraga, H6, Bisi Dua	Sedang	4-5
Kedelai	Wilis, Rinjani, Lokon, Dempo, Galunggung, Slamet, Lawit, Merbabu, Petek, Kerinci, Tampomas, Tanggamus, Menyapa	Sedang	1,5-2,4
Kacang tanah	Gajah, Pelanduk, Kelinci, Singa, Jerapah, Komodo, Mahesa	Tahan	1,8-3,5
Kacang hijau	Betet, Walet, Gelatik	Tahan	1,5
Tomat	Intan, Permata, Berlian, Mirah, AV-22, Ratna	Sedang	10-15
Cabai	Tanjung-1, Tanjung-2, Barito, Bengkulu, Tampar, Keriting, Rawit Hijau dan Putih	Sedang	4-6
Terong	Mustang, Kopek Ungu, Ungu Panjang, No. 4000	Tahan	30-40
Kubis	KK Cross, KY Cross, Grand 33	Sedang	20-25
Kacang Panjang	Super King, Pontianak, KP-1, KP-2	Tahan	15-28
Buncis	Horti-1, Horti-2, Proessor, Farmer Early, Green Leaf	Sedang	6-8
Timun	Satumus, Mars, Pluto	Sedang	35-40
Bawang Merah	Ampenan, Bima, Menteng, Sumenep, Kuning	Sedang	4,1-7,6
Sawi	Asveg#1, Sangihe, Talaud, Tosakan, Putih Jabung, Sawi Hijau, Sawi Huma, No. 28-157	Tahan	15-20
Slada	New Grand Rapids	Sedang	12-15
Bayam	Maestro, Giti Hijau dan Merah, Cimangkok, Kakap Hijau	Sedang	10-12
Kangkung	LP-1, Lp-2, Sutura	Sedang	25-30
Semangka	Sugar Baby, New Dragon	Sedang	15-25
Nenas	Madu, Bangka, Paun	Tahan	40
Jabe	Merah	Sedang	20-40
Kencur		Sedang	21,6
Kelapa	Kelapa Kelapa Dalam Riau	Tahan	2,5-4,1 Kopra
Kelapa Sawit		Tahan	19

Sumber : Alihamsyah et al., (2003) dalam Jumberi dan Alihamsyah (2005)

G. Ameliorasi dan Pemupukan

Pemberian bahan ameliorasi atau bahan pembenah tanah dapat berupa kapur atau dolomit, bahan organik, abu sekam padi, dan serbuk kayu gergaji atau limbah pertanian lainnya. Hasil penelitian Anwar dan Noor (1993), menunjukkan bahwa pemberian kapur sebanyak 1-2 ton/ha mampu meningkatkan hasil padi, jagung dan kacang tanah. Takaran bahan ameliorasi secara tepat selain tergantung pada kondisi lahan terutama pH dan kandungan zat beracun, juga pada tanaman akan ditanam. Untuk keperluan praktis, secara umum pemberian kapur sebanyak 0,5 – 3 ton/ha di lahan pasang surut sudah mencukupi.

Salah satu upaya untuk meningkatkan efisiensi pemupukan pada lahan rawa pasang surut adalah pemberian pupuk disesuaikan ketersediaan hara di dalam tanah dan varietas yang ditanam. Alihamsyah (2003) dalam Balitra (2005) mengemukakan beberapa hasil penelitian pemupukan di lahan pasang surut sebagaimana tertera pada tabel 3, dan 4 berikut.

Tabel 4. Takaran Amelioran Dan Pupuk Pada Tanaman Padi Dan Palawija Di Lahan Pasang Surut

Tanaman	Tipologi Lahan	Takaran Amelioran dan Pupuk (kg/ha)			
		Kapur/abu gergajian	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Padi	Potensial	0	45-90	22,5-45	50
	Sulfat Masam	1000-3000	67,5-135	45-70	50-75
	Gambut**)	1000-2000	45	60	50
Kedelai	Potensial	500-1000	22,5*)	22,5	30
	Sulfat Masam	1000-2000	22,5*)	45	50
	Gambut	1000-2000	22,5*)	45	50
Jagung	Potensial	0	67,5	45-90	50
	Sulfat Masam	500	90	45-90	50
	Gambut**)	500	67,5	45	50
Kacang tanah	Potensial	500-1000	22,5	30	50
	Sulfat Masam	1000-2000	22,5	60	50
	Gambut	1000-2000	22,5	45	50
Kacang hijau	Potensial	0	22,5	45	50

*) perlu diberi rhizobium sebanyak 15 g/kg benih

***) ditambah 5 kg CuSO₄ dan ZnSO₄

Sumber : Alihamsyah (2003) dalam Balittra (2005)

Keseimbangan hara N, P, K dan Ca sangat penting dalam pengelolaan hara dan pemupukan khususnya di lahan pasang surut. Hasil penelitian Ar-Riza (2001), menunjukkan bahwa untuk memperoleh hasil optimal, unsure hara harus diberikan secara lengkap yakni N, P, K dan Ca. Untuk efisiensi, penentuan jenis dan takaran pupuk maupun bahan ameliorasi yang tepat hendaknya dilakukan analisis tanah.

Tabel 5. Takaran Pupuk Pada Tanaman Hortikultura Dan Kelapa Dilahan Pasang Surut

Tanaman	Tipologi lahan	Takaran ameliorant dan pupuk (kg/ha)				
		Kapur	Pupuk kandang	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Cabai	Potensial	0	5000	67,5	90	50
	Sulfat Masam	1000-2000	5000	67,55	112,5	50
	Gambut*)	1000-2000	5000	45	90	60-90
Tomat	Potensial	500	5000	135	90	60
	Sulfat Masam	1000-2000	5000	135	90	60
	Gambut	1000-2000		90	90	60
Bawang merah	Potensial	0	10000	90	90	75
	Sulfat Masam	1500	10000	90	90	75
	Gambut	1500	5000	90	90	75
Sawi	Potensial	0	5000	90	90	75
	Sulfat Masam	1000	5000	90	90	75
Semangka	Potensial/Salin		10000	0,027	0,020	0,006
Kelapa**)	Sulfat Masam	0,8		0,675	0,3375	0,750

*) ditambah 0,5 gr CuSO₄ dan ZnSO₄ per pohon.

***) satuan per pohon dan ditambah 60 g kieserite/pohon

Sumber : Balittra (2005)

H. Pengelolaan Bahan Organik

Bahan organik merupakan bahan penting dalam menciptakan kesuburan tanah, baik secara fisika, kimia maupun dari segi biologi tanah. Bahan organik adalah bahan pemantap agregat yang tiada taranya. Disamping itu sekitar lebih dari setengah kapasitas tukar kation (KTK) berasal dari bahan

organik; merupakan sumber hara tanaman; dan sumber anergi dari sebagian besar organisme tanah. Oleh karena itu menyatakan bahwa bahan organik merupakan indikator kunci bagi kualitas tanah, dan kualitas lingkungan. Dalam memainkan peranan tersebut bahan organik sangat ditentukan oleh sumber dan susunannya, kelancaran dekomposisinya, serta hasil dekomposisi itu sendiri.

Pemberian bahan organik dalam jangka panjang tidak saja mampu mempertahankan lahan dari proses degradasi, tetapi juga memperbaiki kualitasnya. Hasil penelitian Jumberi et al. (1998) dalam Jumberi dan Alihamsyah (2005), pemberian bahan organik jerami padi sebanyak 4 ton/ha yang di komposkan dengan *Tricoderma reesei* di lahan sulfat masam dapat mengurangi kandung besi dan sulfat serta meningkatkan keersediaan unsur K dan hasil padi. Pemberian kompos eceng gondok atau kangkung liar rawa maupun abu sekam di lahan lebak dapat meningkatkan lengas tanah dan permeabilitas tanah serta kandung C-organik, N-total, P-tersedia dan K-dd maupun hasil jagung.

PENUTUP

Lahan rawa pasang surut termasuk didalamnya lahan sulfat masam, memiliki potensi besar dan merupakan salah satu pilihan strategis sebagai areal produksi tanaman pangan guna mendukung peningkatan ketahanan pangan dan pengembangan agribisnis. Namun karena lahannya rapuh dengan berbagai masalah dan kendala yang kompleks, maka pengembangannya harus benar-benar dilakukan secara terencana, cermat dan hati-hati melalui penerapan teknologi tepat guna yang telah tersedia.

Pengembangan sistem usaha tani di lahan ini perlu mengacu kepada pendekatan holistik dan partisipatif dengan fokus optimalisasi pemanfaatan dan pelestarian sumberdaya dengan strategi selektif dan bertahap. Komitmen, koordinasi dan sinkronisasi serta keterpaduan kerja antar pihak terkait perlu diwujudkan secara nyata.

REFERENSI

- Anwar K. dan Noor M., 1993. Pengaruh Pemberian Kapur dan Fosfat Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kedelai di Lahan Pasang Surut Sulfat Masam. Risalah Hasil Penelitian Kacang-Kacangan 1990-1993. Balittan. Banjarbaru.
- Adhi W., 1995. Pengaruh Tanah Masam Untuk Kedelai. Puslitbangtan. Bogor
- Adhi W. dan Alihamsyah, 1998. Pengembangan Lahan Pasang Surut: Potensi, Prospek dan Kendala serta Teknologi Pengelolaannya Untuk Pertanian. Prosiding Seminar Nasional Himpunan Ilmu Tanah Jawa Timur. Malang.
- Ar-Riza I., Sardjjo dan Chaerudin, 2001. Pengaruh Pemberian Pupuk P dan K Terhadap Keragaan Pertumbuhan dan Hasil Padi Di Lahan Sulfat Masam. Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Lahan Pupuk. Cisarua, 12 – 13 Nopember 2001.
- Alihamsyah T., 2002. Optimalisasi Pendayagunaan Lahan Rawa Pasang Surut. Seminar Nasional Optimalisasi Pendayagunaan Sumberdaya Lahan. Cisarua 6 – 7 Agustus 2002. Puslitbang Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Ahmad D.R., Alihamsyah T. dan Ananto Eko, 1997. Evaluasi Berbagai Cara Tanam Padi di Lahan Pasang Surut Karang Agung. Laporan Proyek ISDP 1996/1997.
- Achmad M.F. dan Ananto E., 2005. Lahan Rawa Dalam Perspektif Pembangunan Pertanian Ke Depan. Balitbangpang.
- Asdak C., 2001. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Bos, M.G. 1992. Research On Acid Sulphate In The Humid Topics. In Papers Workshop On Acid Sulphate Soils In The Humid Tropics, 20 – 22 Nopember 1990. AARD/LAWOO. Bogor.
- Balittra, 2005. Prosiding Inovasi Teknologi Pengelolaan Sumberdaya Lahan Rawa dan Pengendalian Pencemaran Lingkungan. Banjarbaru.
- Chattopadhyay N.S. and A.K. Chakrabarty. 1990. Tomato. In S.K. Mitra., M.K. Sadhu and T.K. Bose (eds). Nutrition Of Vegetable Crops. Noya Prakash. Calcuta.
- Dent D., 1986. Acid Sulphate Soil: A Baseline for Research and Development. IRLI. Wageningen. Publikation No. 39.

- Djayusman, M.S. Sastraatmadja, I.G. Ismail dan IPG Wijaya Adhi, 1995. Penataan Lahan dan Pengelolaan Air Untuk Meningkatkan Produktifitas Lahan Sulfat Masam. Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor.
- Groenenberg J.E., 1990. Modelling of Solute Transport and Chemical Processes in Acid Sulphate Soils. In Paper Workshop in Acid Sulphate Soils in The Humid Tropics, 20 – 22 November 1990. AARD/LAWOO. Bogor.
- Hillel D., 1982. Introduction To Soil Physics. Academic Press Inc. Orlando. Florida.
- Hillel D., 1998. Environmental Soil Physics. Academic Press. San Diego California. USA.
- Hardjoso P.R. dan Darmanto, 1996. Pengalaman dan Kendala Pengembangan Serta Pemanfaatan lahan Basah dan Lahan Gambut di Kalimantan. Makalah Seminar Nasional Peringatan Setengah Abad Fakultas Pertanian UGM. Yogyakarta, 25 – 26 September 1996.
- Hardjoso P.R. dan Darmanto, 1996. Pengalaman dan Kendala Pengembangan Serta Pemanfaatan lahan Basah dan Lahan Gambut di Kalimantan. Makalah Seminar Nasional Peringatan Setengah Abad Fakultas Pertanian UGM. Yogyakarta, 25 – 26 September 1996.
- Ismail, I.G., T. Alihamsyah, IPG Wijaya Adhi, Suwarno, T. Herawati, R. Thahir dan DE. Sianturi, 1993. Sewindu Penelitian Pertanian di Lahan Rawa: Kontribusi dan Prospek Pengembangan. Proyek Swamps II. Puslitbang Tanaman Pangan. Bogor.
- Islami, T dan Utomo, WH., 1995. Hubungan Tanah, Air dan Tanaman. IKIP-Press. Semarang
- Idak, H., 1982. Perkembangan dan Sejarah Persawahan di Kalimantan Selatan. Pemda Tingkat I Kalimantan Selatan. Banjarmasin.
- Jumberi A. dan T. Alihamsyah, 2005. Pengembangan Lahan Rawa Berbasis Inovasi Teknologi. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Balittra. Banjarbaru.
- Kutilek, M and Nielsen D.R., 1994. Soil Hydrology (Wye College Library). Catena Verlag. Germany.
- Kselik, R.A.L., 1990. Water Management On Acid Sulphate Soil at Pulau Petak, South Kalimantan. In Papers Workshop On Acid Sulphate Soils In The Humid Tropic. 20 - 22 November 1990. AARD/LAWOO. Bogor.
- Konsten, C.J.M., S. Suping, I.B. Aribawa, and IPG. Wijaya Adhi, 1990. Chemical Processes In Acid Sulphate Soil In Pulau Petak South and Central Kalimantan, Indonesia. In Papers Workshop On Acid Sulphate Soils In The Humid Tropic. 20-22 November 1990. AARD/LAWOO. Bogor.
- Masulili, A., 2004. Analisis Potensial Air Daun dan Pertumbuhan Tanaman Kedelai Pada Histosols Dengan Perlakuan Abu Sekam Padi dan Berbagai kadar Lengan Tanah (Tesis). PPSUB. Malang.
- Mengel, K. and E.A. Kirkby, 1982. Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute. Switzerland.
- Molen W.H., 1983. Agrohydrology. Agricultural University. Wageningen. The Netherlands.
- Noorsyamsi, H., H. Anwarhan, S. Sulaiman and H.M. Beachell, 1984. Rice Cultivation in The Tidal Swamps of Kalimantan. In Workshop on Research Priorities in Tidal Swamps Rice. IRRI. Los Banos.
- Nugroho, K. Alkasuma, Paidi, Wahdini, W. Abdurachman H., Suharjo H. dan Wijaya Adhi, 1992. Peta Areal Potensial Untuk Pengembangan Pertanian Lahan Pasang Surut, Rawa dan Pantai. Proyek Penelitian Sumberdaya Lahan. Puslittanak. Bogor.
- Notohadiprawiro, T., 1998. Prospek Pengembangan Lahan Basah Kalimantan Tengah Untuk Pertanian Pangan Menurut Pandangan Ketahanan Pangan Nasional. HITI Komda Jatim.
- Noor, M., 2002. Pertanian Lahan Gambut, Potensi dan Kendala. Kanisius. Yogyakarta.
- Priatmadi, B.J., 2004. Segmentasi, Dinamika S dan Fe, dan Reklamasi Tanah Sulfat Masam Dalam Kaitannya Dengan Pertumbuhan Tanaman Padi. Desertasi Program Doktor. Pasca Sarjana Unibra. Malang.
- Rorison, I.H. 1973. The Effect Of Extreme Soil Acidity On The Nutrient Uptake and Physiology Of Plant. Proceedings Of The International Symposium On Acid Sulphate Soil 13-20 August 1972. Wageningen. ILRI. Wageningen.

- Ritsema, C.J. and S.E. Groenenberg, 1993. Pyrite Oxidation, Carbonate Weathering, dan Gypsum Formation in a Drained Potential Acid Sulphate Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57.
- Soil Research Institute, 1973. Report On Soil Investigation of Delta Pulau Petak (South and Central Kalimantan). Publication No. 59.
- Smilde K.W., S. Saragih, Masganti, M. Noor, K. Anwar, K. Subagyo, and T. Vadari, 1992. Agronomic Experiment. Acid Sulphate Soils In The Humid Tropics. Water Management and Soil Fertility. AARD/LAWOO. Jakarta.
- Sarwani M., 2001. Penelitian dan Pengembangan Pengelolaan Air di Lahan Pasang Surut. Makalah Pada Monograf Pengelolaan Air dan Tanah di Lahan Pasang Surut. Balittra Banjarbaru.
- Zhang J and Luo S., 2002. A Cas Study On The Relationship Between Sulfur Forms and Acidity in Acid Sulphate Soil (ASS). Thailand.