

PIDATO PENGUKUHAN

PELUANG DAN KONSEKUENSI PEMANFAATAN LAHAN RAWA PADA MASA MENDATANG

Prof.Dr.Ir. Azwar Maas, MSc.

Judul tersebut saya pilih mengingat lahan rawa meliputi $\pm 18\%$ luas daratan Indonesia, merupakan bagian penting bagi kehidupan multi fungsinya. Rawa secara alamiah mempunyai fungsi ekologi (hidrologi, preservasi) sekaligus mempunyai nilai biodiversitas yang berupa hutan tropis basah dengan keanekaragaman hayatinya yang mengendalikan daur bahan dan energi di permukaan bumi. Hingga saat ini telah sekitar 2 juta ha (termasuk Pembukaan Lahan Gambut 1 juta ha/PLG di Kalimantan Tengah) rawa telah dialihfungsikan menjadi lahan pertanian yang dimanfaatkan sejalan dengan hasil penilaian kesesuaian lahan dan kelayakan sistem tata airnya. Lahan yang telah dimanfaatkan untuk tanaman pangan telah banyak yang ditinggalkan karena biaya produksi tanaman yang tidak sesuai dengan hasil yang sekaligus memacu degradasi ekosistem. Penurunan produktivitas lahan rawa pada umumnya selalu terkait dengan pemasaman tanah dan kinerja sistem tata air.

Hadirin yang saya hormati

Pendahuluan

Bumi diciptakan oleh Yang Maha Kuasa mengikuti kaidah yang tetap, tidak ada yang hilang dan yang datang. Perubahan yang terjadi hanya melalui proses transformasi dan translokasi. Proses transformasi dapat terjadi secara fisik/mekanik maupun secara kimia/biokimia, di daerah tropika seperti Indonesia lebih disebabkan oleh peristiwa biokimia yang melibatkan penyederhanaan bangun biomassa akibat keberadaan air dan kegiatan jasad renik. Proses translokasi di daerah tropis lebih dikuasai oleh peran air dibandingkan oleh angin, yang dikenal sebagai daur hidrologi. Air menguap dari permukaan tanah, dan uap air tersebut kembali ke permukaan bumi sebagai hujan. Hujan berfungsi sebagai bahan pelarut, pengencer, pembawa (kakas gravitas), dan aktif dalam proses sedimentasi dari bahan yang terbawa aliran permukaan dan sungai. Sedimentasi terjadi bilamana kecepatan pengaliran kakas kinetis secara lateral lebih lambat dari kakas gravitasi oleh bahan yang terbawa air tersebut. Proses akhir inilah yang sangat berperan dalam pengisian rawa oleh bahan tanah mineral, di samping akumulasi bahan organik (gambut) yang berasal dari tumbuhan setempat. Terjadinya penimbunan bahan organik dikarenakan kecepatan degradasi lebih lambat daripada kecepatan akumulasi akibat terbatasnya kegiatan mikroba pengurai dalam suasana anaerob. Pengisian rawa aktif di Indonesia ini terjadi pada periode holosin yang umumnya kurang

dari 7.000 tahun lalu (Geyh *et al.*, 1997), sewaktu muka air laut meningkat dari posisi 20 m di bawah posisi sekarang selama 4.000 tahun.

Syarat-syarat lingkungan untuk pembentukan rawa antara lain adalah: (a) terjadi di daerah cekung atau datar yang menyebabkan, (b) air tergenang sepanjang tahun dengan gerakan yang lambat, sehingga menciptakan (c) suasana reduktif akibat kebutuhan oksigen dari udara untuk jasad renik tidak dapat terpenuhi. Pereduksian komponen sedimen seperti nitrat, mangan, besi, sulfida dan karbon dioksida menghasilkan (d) alkalinitas yang merupakan bahan gas dan terlarut yang mudah terlindi ke luar dari lingkungannya. Tempat pengendapan, yang terdiri atas suasana salin (dipengaruhi oleh air asin/laut) sehingga terbentuk (e) tanah berpirit (hanya tanah mineral) atau tanah gambut yang relatif tidak matang, atau suasana tawar (endapan tanpa pirit, bergambut atau tanah gambut).

Hadirin yang saya hormati

Watak Alami Lahan Rawa

Konvensi Ramsar 1971 menakrifkan lahan basah secara internasional sebagai berikut (Dugan, 1990): Lahan basah adalah wilayah rawa, lahan gambut, dan air, baik alami maupun buatan, bersifat tetap atau sementara, berair ladung (*stagnant, static*) atau mengalir yang bersifat tawar, payau, atau asin, mencakup wilayah air marin yang di dalamnya pada waktu surut tidak lebih daripada enam meter.

Indonesia memiliki lahan rawa terluas di kawasan tropika dengan bahan sedimen yang terdiri atas tanah mineral, tanah gambut, atau kombinasi keduanya. Luas total lahan rawa belum dapat diidentifikasi secara pasti, ada yang menyebut luas lahan gambut Indonesia 34 juta ha, dan ada yang mengatakan 27,7 juta ha (Rieley *et al.*, 1996). Diperkirakan rawa yang layak untuk budidaya pertanian sekitar 6 - 7 juta ha. Lahan rawa yang cocok untuk budidaya tanaman umumnya adalah yang bebas dari pirit minimal di zona perakaran, dan gambut tipis yang tetap bersifat hidrofilik. Rawa yang tidak cocok untuk dikembangkan umumnya berupa gambut tebal dan tanah sulfat masam/berpirit pada jeluk yang dangkal.

Menurut morfologinya rawa dapat dibagi menjadi: (a) tanggul alam (*natural levee*) yang pada umumnya diisi oleh bahan sedimen mineral dengan susunan fraksi lebih kasar; dan (b) rawa belakang (*backswamp*) yang terletak di bagian tengahan antara dua sungai yang bila diisi oleh gambut akan membentuk kubah gambut. Kubah gambut tebal berfungsi penting untuk menyimpan air, menghidupkan mata air sekeliling kaki kubah, dan membersihkan air permukaan serta air tanah yang dikeluarkannya ke lahan bawahannya (ke arah sungai utama). Cadangan air menjadi teragihkan (*distributed*) lebih merata sepanjang tahun, mengecilkkan perbedaan debit aliran air pada musim hujan dan

pada musim kemarau. Kalau fungsi ini menurun, air permukaan dan air tanah menjadi banyak yang liar, tidak terkendali, dan cadangan air pada musim hujan dan kemarau akan mengoncah (*fluctuate*) tajam. Keadaan ini selanjutnya akan merusak lingkungan.

Di daerah tropis tanah gambut tersusun atas batang-tubuh tumbuhan mati yang terhambat proses dekomposisinya akibat air tergenang secara permanen/suasana anaerob dan kahat hara. Gambut terbentuk setempat/insitu, hasil penimbunan bahan organik dari lingkungannya sendiri. Tingkat dekomposisi alami ditentukan oleh durasi kestabilan muka air setempat (dikaitkan dengan evolusi perubahan muka air laut). Lahan gambut sebagai ekosistem berperan untuk pemendam karbon, penyimpan dan pelepas air, gambut dapat dimanfaatkan sebagai sumberdaya untuk pertanian, energi serta bahan dasar untuk diekstraksi komponen humatnya. Kesuburan gambut lebih ditentukan oleh keadaan lingkungan, relatif subur pada daerah cekungan (topogen) dan pantai.

Tanah sulfat masam potensial terdapat di daerah rawa mineral yang dalam proses pengisiannya terjadi di daerah pantai (sedimen marin), kaya akan bahan organik, sulfat, dan besi yang bersuasana anaerob. Bentuk interaksi fero dan sulfida akhirnya menjadi pirit (FeS_2) yang bila kandungannya $> 0,75\%$ disebut sebagai tanah sulfat masam potensial atau tanah yang mengandung bahan sulfidik. Komponen sulfida stabil pada $E_h < -200$ mV, bila diusik atau teroksidasi lemah segera akan membentuk asam sulfat dan fero sulfat yang dapat menyebabkan pH tanah $< 3,5$ di atas ambang toleransi produksi biomassa secara umum. Kadar pirit di rawa Indonesia teridentifikasi maksimal 7% (Maas, 2003) yang bila terdegradasi seluruhnya akan menghasilkan asam sebesar 252 me%. Bila asam ini harus dinetralkan, maka kebutuhan kapur dapat mencapai > 400 ton ha^{-1} .

Tanah-tanah rawa pada dasarnya bertataran piasan (*marginal*) bagi budidaya tanaman pada umumnya sehubungan dengan faktor-faktor: (a) bahan induk miskin hara; (b) bersuasana anaerob; (c) banyak yang bergambut tebal, berpirit, dan bila dialih fungsikan akan terusik mengeluarkan; (d) zat-zat yang dapat meracuni tanaman (sulfida, besi fero, dan asam-asam organik) yang ditandai oleh; (e) pH rendah (Notohadiprawiro, 1996).

Menurut ayunan pasang surut air laut yang mempengaruhi sungai dan luapan sungai tersebut pada lahan, Wijaya Adhi *et al.*, (1986) membagi lahan rawa menjadi:

- (a) tipe luapan A dimana air pasang harian mampu menggenangi lahan
- (b) tipe luapan B yaitu bila air pasang besar saja yang mampu meluapi lahan
- (c) tipe luapan C dengan air pasang berada < 50 cm dari permukaan tanah
- (d) tipe luapan D dengan air sungai hanya berayun pada jeluk (*depth*) > 50 cm dari permukaan tanah.

Pada dasarnya ayunan air sangat dipengaruhi oleh *discharge* sungai, hal ini berarti tipe luapan dapat berbeda antara musim kemarau dengan musim hujan.

Fungsi air di lahan rawa dapat disarikan antara lain: (a) sebagai tandon air di musim hujan, terutama di rawa belakang (*backswamp*); (b) sebagai pelepas air secara perlahan lahan bilamana sumber air hujan/debit air sungai menurun di musim kemarau (aliran dari rawa belakang ke sungai); (c) untuk mempertahankan suasana reduksi bilamana aliran lateral dalam tanah (*seepage*) sangat lambat. Di daerah rawa yang belum direklamasi, fungsi ini berjalan sangat bagus. Kelebihan air akan mengalir ke luar rawa melalui aliran permukaan yang terakumulasi dalam saluran alami sempit yang melebar ke arah sungai. Rawa secara utuh dapat dikatakan sebagai suatu daerah pengaliran sungai (DPS) renik, seperti halnya yang biasa dikemukakan untuk daerah lahan atasan (*upland*).

Pengelolaan air di lahan rawa dapat diartikan sebagai pemanfaatan air secara tepat untuk keperluan domestik, meningkatkan produksi tanaman, antara lain untuk kebutuhan evapotranspirasi, pembuangan kelebihan air, mencegah terbentuknya bahan toksik dan melindi elemen toksik yang terjadi, serta mencegah penurunan muka tanah (Sarwani, 2001). Gatra pengelolaan air ini sebetulnya mencakup kuantitas dan kualitas yang diinginkan oleh tanaman yang dibudidayakan dan rumah tangga.

Hadirin yang saya hormati

Pengenalan Permasalahan Lahan Rawa

- a. Lingkungan fisiknya spesifik, unik dan rentan terhadap pengusikan, sehingga menyamaratakan masalahnya dapat menyebabkan situasi yang fatal pada hasil pengembangannya.
- b. Daya dukung dan produktivitas lahan rendah, sehingga diperlukan kecerdikan dan kejelian dalam menemukan jenis budidaya yang saling sinergis, memperhatikan aspek konservasi SDA-nya dan juga berkelanjutan.
- c. Persepsi para pengambil kebijakan pengembangan rawa yang belum tepat dan sering konsep pengembangan yang digunakan masih rancu dengan system irigas/atasan di lahan atasan, yang bila diterapkan di lahan rawa kurang sesuai dengan karakter lahan rawa.
- d. Kelintasan dan ketercapaian umumnya relatif rendah, mengakibatkan di pasar perdagangan daya kompetisi produksinya rendah
- e. Daya dukung SDM setempat umumnya belum memadai, termasuk kemampuan penyediaan dana dalam menunjang usaha pengembangan lahan rawa secara lebih intensif dan berkelanjutan.

- f. Keanekaragaman bidang usaha masih rendah dan kurang sinergis, sehingga sulit ditemukan suatu sistem usaha terpadu yang cukup andal.
- g. Kondisi sosial dan kelembagaannya umumnya masih belum mapan, diperparah dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang diterapkan kurang sesuai dengan kondisi lokal.
- h. Prosedur teknis pengembangan yang kurang memperhatikan proses perubahan karakter lahan terhadap perlakuan fisik-teknis.

Sejarah Pemanfaatan Rawa

Usaha penyawahhan lahan rawa pasang surut sebetulnya bukan hal baru. Orang-orang Bugis sejak sebelum kemerdekaan telah menyawahkan lahan rawa di berbagai tempat di pantai timur Sumatera dan di pantai selatan Kalimantan dengan beraneka tingkat keberhasilan. Meskipun dengan hasil panen padi serendah 0,8 - 1 ton ha⁻¹ sekali setahun sudah memadai. Luas lahan yang mampu mereka buka juga terbatas, hanya dapat menjangkau 1 - 2 km ke pedalaman. Lahan rawa pasang surut di Indonesia mulai memperoleh perhatian, kajian dan garapan secara serbacakup (*comprehensive*) sebagai suatu sumberdaya pada tahun 1968. Pada tahun 1970an kebanyakan pakar tanah negara barat, khususnya dari Belanda, menyangsikan potensi lahan rawa pasang surut untuk dikembangkan untuk tujuan pertanian. Kendala yang dihadapi terutama berkenaan dengan hidrologi, gambut tebal, amblesan (*subsidence*), potensi membentuk tanah sulfat masam, konsistensi tanah rendah (*unripe*), pelindian hara oleh gerakan pasang surut air, dan penyusupan air laut, serta faktor keterisolasian (Notohadiprawiro, 1994).

Pengembangan lahan pasang surut 25 tahun pertama (1968 - 1993) telah mencapai 1 juta ha, dengan luas tiap satuan tata air makro berkisar 5.000 - > 10.000 ha. Meskipun telah didahului oleh kajian kelayakan serbacakup yang meliputi: hidologi dan hidrometri, hidrotopografi dan tanah, namun pada umumnya unit satuan pengembangan lebih banyak ditentukan oleh kelayakan keteknikan (*engineering*) dan gatra pertanian sebagai pemanfaat (umumnya transmigran dari lahan kering di Jawa) menyesuaikan diri dengan sistem tata saluran yang telah diimplementasikan. Masa penyesuaian yang didahului oleh penerapan kebiasaan bertani di lahan kering (tempat asal) dengan sistem olah intensif pada sistem tata air yang terbuka, menyebabkan tingkat keberhasilan berusaha tani cukup memadai pada 1 - 3 tahun pertama dan mengalami penurunan pada tahun-tahun berikutnya. Kejadian ini ada kesamaannya dengan pemanfaatan lahan kering dengan sistem perladangan berpindah. Keadaan ini menjadi penyebab banyaknya lahan rawa yang telah diusahakan menjadi "bongkor". Mungkin bila kasus temuan kinerja ISDP (*Integrated Swamp Development Project*) yang berlangsung tahun 1994 - 1999 pada lahan seluas 78.000 ha (PSSL, 2000) diekstrapolasikan untuk lahan rawa yang telah dibuka di Indonesia, maka lahan rawa bongkor telah mencapai > 60% dari luas yang 1 juta

ha tersebut. Bila luas lahan ditambahkan dengan 1 juta ha PLG di Kalimantan Tengah, maka kebongkoran lahan rawa telah mencapai > 70 %.

Hadirin yang saya muliakan

Kinerja Budidaya Tanaman Di Lahan Rawa

Untuk budidaya tanaman, rawa harus direklamasi melalui pembuatan saluran pengatus (*drainage*). Saluran ini akan menyebabkan keseimbangan alamiah lahan rawa berubah, suasana reduktif menjadi kearah oksidatif. Reaksi kimia, biokimia, dan mikrobiologis dalam suasana oksidatif akan lebih aktif. Oksidasi bahan metan, sulfida, fero, amonium, dan mangan atau percepatan oksidasi bahan organik akan menghasilkan senyawa-senyawa yang lebih sederhana dan sebagian besar berupa asam-asam dalam bentuk terlarutkan, di samping nutrisi/hara. Gambut yang mengandung koloid mineral pada tahap awal reklamasi mampu memberikan hasil produksi tanaman. Pada tahapan berikutnya dekomposisi yang selalu menghasilkan garam dan asam organik pada suatu saat bila terakumulasi akan melarutkan *koloid* mineral. Pelarutan koloid tersebut menyebabkan peningkatan kelarutan aluminium, diketahui bahwa Al^{3+} terlarutkan < 0,5 ppm telah menjadi toksik bagi perkembangan akar tanaman (Alva *et al*, 1986).

Potensi lahan didasarkan atas hasil evaluasi kesesuaian lahan untuk berbagai komoditas (terutama untuk padi sawah) yang survainya dikerjakan pada kondisi alamiah/hutan rawa. Setelah lahan rawa tersebut direklamasi dan dimanfaatkan ada yang bertahan secara sinambung dengan perlakuan tertentu, ada pula yang gagal. Beberapa contoh pengembangan yang berhasil dengan perlakuan-perlakuan yang spesifik lokasi adalah:

1. Pengalaman petani sayuran yang mengusahakan tanah gambut tebal di daerah sei Slamet (Kalimantan Barat) dan Kelampangan (Kalimantan Tengah) menunjukkan bahwa produksi mantap dicapai setelah 15 tahun. Gambut dengan ketebalan sampai 350 cm ternyata cocok untuk budidaya sayuran, terutama jagung, bawang daun, kubis dan bayam. Pemupukan yang diperlukan sangat berat dengan abu kayu dan kotoran ternak sebagai pupuk utama (s. Slamet), dan dengan abu bakaran gambut serta seresah (Kelampangan). Bertanam di lahan gambut tebal dapat dikatakan tidak lain daripada bertanam dengan **sistem hidroponik** (Notohadiprawiro, 1994). Bila 1 m³ gambut jenuh air tanpa mineral diabukan, maka kandungan abunya tidak akan lebih dari 5 kg. Kekuatan penetralan kemasaman pada 5 kg abu tersebut setara dengan 5 kg dolomit atau kapur lainnya, meskipun di abu terkandung kation basa lainnya (Maas, 1997a).
2. Pertanian di lahan gambut dengan ketebalan 20 - 50 cm di Pangkoh X (Kalimantan Tengah) yang bertipologi luapan B, dengan pengaturan muka air pada tingkat tersier yang berupa penandonan air di musim hujan dan

pembukaan tabat di musim kemarau dengan tetap mempertahankan sifat hidrofilik gambut, petani dapat bertanam 2 kali setahun dengan hasil 2 - 3 ton ha⁻¹ gabah kering, dan pada *demfarm* dapat menghasilkan 4,4 ton/ha padi IR66 (Maas *et al.*, 1999). Di gambut bukaan baru (Dadahup, PLG) dapat menghasilkan gabah kering IR66 sebesar 3,4 ton ha⁻¹ untuk gambut tergenang, dan 4,1 ton ha⁻¹ untuk gambut yang dipersegar (Ar-Riza dan Saragih, 2001). Pengamatan lapangan di wilayah tipologi luapan C Kalimantan Selatan menunjukkan bahwa padi varietas lokal (Siam, Bayar, Lakatan, Kawi) tetap menjadi pilihan utama petani, mengingat padi ini mudah beradaptasi (*tolerant*) terhadap suasana masam (pH < 3,5) dan kekeringan, meskipun umurnya panjang (7 bulan) dan hasilnya rendah (< 2,5 ton ha⁻¹).

3. Lahan dengan tipologi luapan A di berbagai wilayah di Sumatera dan Kalimantan Barat (wilayah ISDP) dengan IP (Indeks Pertanaman) 200 dapat menghasilkan 2 - 3 ton ha⁻¹ gabah kering, masih di bawah target ISDP yang sebesar 3,5 ton ha⁻¹. Pada tipologi luapan B di Sei Terusan dengan IP 100 - 200 menghasilkan panen 2,5 - 3,0 ton ha⁻¹.
4. Tanaman tahunan banyak dikembangkan oleh petani, terutama jeruk, kopi, rambutan, dan kelapa. Kopi dan rambutan umumnya dapat berproduksi di tipologi luapan B dan C dengan jeluk air tanah dangkal di Pangkoh I, II dan III (Kalimantan Tengah). Jeruk banyak dikembangkan dengan sistem sorjan di Kalimantan Selatan dan Kalimantan Barat pada tipologi luapan C dan D. Tanaman karet dan sawit dapat tumbuh subur, akan tetapi sampai saat ini tanaman tersebut umumnya belum berproduksi.

Bila dilihat dari sisi **kegagalan** budidaya tanaman pangan secara sinambung, banyak penyebabnya, antara lain:

1. Gambut tipis - tebal yang mengalami perubahan watak dari hidrofilik ke hidrofobik (*water repellent*), antara lain di Pinang Luar dan di Siantan Kalimantan Barat, gambut tebal di Tembilahan **di luar** pengaruh susupan air payau.
2. Tanah sulfat masam potensial yang mengalami **oksidasi**, contoh di unit transmigrasi Palingkau, dan sebagian lahan bongkor di anjir Besarang, Pangkoh VI dan Belanti, Kalimantan Tengah
3. Tanah rawa pantai yang sistem tanggulnya bocor menyebabkan air laut masuk ke lahan sehingga menggagalkan panen, contohnya di Sei Kakap dan Arus Deras Kalimantan Barat (PSSL, 2000).
4. Saluran pengatus tidak berfungsi, di awal musim hujan terjadi peluapan saluran yang terisolasi (luar biasa masam, mengandung fero/feri sulfat) ke lahan di sekitar saluran sehingga mematikan tumbuhan yang ada, contoh di Pangkoh VI Kalimantan Tengah.

Hadirin yang terhormat

Masalah Usahatani di Lahan Rawa

Pengetahuan ilmiah yang diramu dengan fenomena alam serta menelusuri informasi versi masyarakat pengguna, baik lokal maupun pendatang di daerah rawa diharapkan mampu membuka wawasan sektor terkait yang berkecimpung dalam pemanfaatan rawa. Diharapkan wawasan tersebut dapat dijadikan bahan pertimbangan ke depan untuk lebih mendayagunakan lahan rawa secara benar dan lestari, di samping mengusahakan perbaikan lahan rawa yang terlanjur menjadi rusak/bongkor. Sistem evaluasi kesuburan dan kemasaman gambut sampai pada saat ini masih berpedoman pada kriteria tanah mineral. Padahal pada nilai satuan yang sama, harkat nilai tersebut hanya sekitar 15 % dari nilai harkat tanah mineral. Ini disebabkan oleh daya simpan lengas yang sangat besar pada gambut dan nilai berat isi (BV) gambut yang jauh lebih kecil dari tanah mineral. Selain laksana tanah diatas, faktor yang juga sangat berperan dalam penentuan kesesuaian lahan adalah kondisi keairan (kualitas dan kuantitas) dalam keadaan asli ataupun keadaan setelah reklamasi. Ayunan air harian (pasang-surut), iklim dan salinitas air merupakan agensia yang berperilaku terhadap kemungkinan perubahan yang terjadi setelah lahan rawa direklamasi. Maas *et al.*, (2000) menyimpulkan bahwa peran air gambut sangatlah penting sebagai pemasok nutrisi. Pelindian di samping berperan untuk mengubah suasana gambut dan menghilangkan kemasaman terlarutkan, **juga sekaligus menghilangkan nutrisi** yang sangat dibutuhkan oleh tanaman. Dengan demikian konsep atusan bebas/tidak terkendali sangat perlu dipertimbangkan kembali dalam pengembangan lahan gambut.

Beberapa tindakan pengelolaan yang pernah ada dan yang sedang dikembangkan serta konsekuensinya untuk lahan rawa adalah:

- a. Pengaturan lahan rawa terutama gambut berdampak pada percepatan aliran air secara lateral yang sekaligus mengubah aerasi yang selanjutnya berfungsi sebagai pemacu proses perombakan, pembilas dan pembawa hasil dekomposisi tersebut keluar dari tempat semula. Air yang keluar dari areal gambut selalu berwarna kecoklatan keruh (*suspended*) atau bening (*solution*), ini menunjukkan terjadinya pelarian/pelindian material halus/koloidal dan terlarutkan secara sinambung. Suryanto (1991) dalam penelitiannya menemukan kehilangan > 75% unsur fosfor bila gambut teraerasi dilindi selama 15 hari yang juga disertai oleh hilangnya sebagian besar basa tertukarkan. Akibat kehilangan kation basa pada perombakan awal akan menyebabkan perombakan lanjutan hanya akan menghasilkan asam-asam organik (koloidal/terlarut) sehingga pH gambut menjadi sangat masam dan miskin hara. Bahan yang tidak mudah terombak akan menguasai sisa gambut setelah proses perombakan berjalan secara lambat, terdiri dari bahan lignin

dan komponen humat (> 85%) yang relatif stabil pada suasana masam (Driessen, 1978).

- b. Air yang berasal dari hujan atau sungai tawar bila digunakan untuk mengairi lahan tersebut hanya akan berfungsi sebagai bahan pengencer dari bahan terlarutkan. Air tersebut tidak dapat berperan untuk menukar atau menetralkan kation asam yang ada dalam tapak jerapan. Dengan demikian konsep peningkatan kesuburan gambut dengan pencucian air hujan adalah suatu konsep yang kurang tepat. Tindakan perbaikan kualitas air di petak pertanaman merupakan tindakan yang perlu diteliti lebih lanjut. Maas (1997a) menemukan peningkatan produksi padi sekitar 20% pada lahan gambut dengan penyegaran air, meskipun kedua perlakuan tersebut diperkaya dengan kombinasi pupuk kandang dan kapur. Pembenaan melalui air asin sewaktu pasang di musim kemarau dan membiarkan pelindian sisa air asin di awal musim hujan secara alami telah dilakukan oleh petani di Delta Mekong, Vietnam. Di Tembilahan (Riau) gambut dengan ketebalan > 3 m dan taraf perombakan hemik/fabrik, merupakan daerah penghasil utama kopra. Di sini susupan air payau/asin mampu memperbaiki nutrisi gambut, sehingga perkebunan kelapa menjadi penghasil utama secara turun temurun. Sebaran kelapa hanya terpusat pada lahan yang tidak secara langsung terkena air laut (di luar zona bakau dan nipah). Di Tembilahan ini tanaman kelapa pada umumnya kurang produktif pada lahan gambut yang sudah berada di luar pengaruh susupan air laut (Anonim, 1991).
- c. Pengapuran sering didengungkan untuk meningkatkan pH tanah, takaran kapur tiap unit volume gambut memang tidak besar (< 4 ton ha⁻¹), tetapi harus diingat bahwa pemberian bahan alkali kuat seperti kapur akan menyebabkan percepatan peruraian gambut. Kontak langsung kapur dengan gambut akan mempercepat pelarutan gambut dengan menyisakan komponen yang lebih sukar terombak seperti lignin (Maas & Notohadiprawiro, 1993). Percobaan pengapuran mencapai pH tetap 5,0, menunjukkan terjadinya pelarutan bahan humin sebanyak 26% dari berat tanah gambut (Maas, 1997a). Pelarutan dan pelindian komponen humin yang berbentuk humat dan fulvat tersebut akan sangat merugikan keharaan tanaman, karena sebagian besar hara terkandung di dalamnya (Gieseking, 1975). Perlindian di lahan gambut yang direklamasi dengan saluran terbuka akan terjadi berkesinambungan dalam waktu yang tidak terbatas, dengan demikian degradasi nutrisi juga akan berlangsung terus. Penanggulangan hal tersebut dapat dikerjakan antara lain melalui upaya pemampatan gambut, perbaikan kualitas air saluran tanpa harus dilindi melalui penabatan dan pengapuran.
- d. Dikenal istilah reklamasi total bagi lahan rawa yang mengandung pirit, yaitu membuat suasana oksidatif semaksimal mungkin sehingga hampir semua

pirit aktif dapat teroksidasi. Pada akhir reklamasi dikerjakan ameliorasi, dapat dengan proses penukaran maupun proses penetralan. Kebutuhan bahan penukar/penetral dapat diperhitungkan dari penurunan kejenuhan aluminium sehingga memenuhi persyaratan tumbuh tanaman.

Hasil penelitian tanah sulfat masam secara sinambung selama 5 tahun (1998 - 2002) di laboratorium dan lapangan, oleh Maas (2003) dirangkum sebagai berikut:

1. Usaha pemanfaatan tanah sulfat masam potensial akan berhasil bila didahului oleh peredaan laju degradasi pirit yang ditandai oleh nilai DHL < 0,5 mS dan pH < 4,0. Percepatan laju degradasi pirit dikerjakan dengan proses pembasahan-pembilasan-pengeringan secara sinambung dan mempertahankan tanah cukup kelembabannya sehingga tidak kohesif. Pirit sukar sekali terdegradasi bila tanah menjadi kering kohesif karena pirit akan terisolasi di dalam matrik tanah. Kelemahan pengembangan unit transmigrasi Palingkau (Bagian dari PLG) yang bertipologi luapan C karena mengubah fungsi rawa menjadi daerah tadah hujan. Tanah yang berubah menjadi kering bersifat masif/kohesif tidak balik dengan tingkat kemasaman yang sangat tinggi sehingga lahan usaha tidak dapat dimanfaatkan sejak dari pembukaan lahan.
2. Pemberian bahan pembenah tanah sangat diperlukan mengingat selama proses pelindian hasil degradasi pirit juga terikut hara yang dibutuhkan tanaman, nilai kejenuhan aluminium umumnya mencapai > 70% yang dengan pemberian bahan pembenah nilai ini harus diturunkan menjadi < 30%. Kombinasi kapur dan pupuk kandang adalah paket bahan pembenah yang perlu dikembangkan untuk budidaya padi sawah. Pemberian kapur hingga air genangan mencapai pH > 4,5 dapat menekan laju degradasi pirit melalui penghambatan pertumbuhan *Thiobacillus ferrooxidant*.
3. Pada kondisi reaktivitas reda dengan kadar pirit < 1%, di petak percobaan lapangan jagung hibrida dapat memberikan hasil 3,2 - 5,1 ton ha⁻¹, dan padi sawah (IR 64) mampu berproduksi 3,2 - 3,7 ton ha⁻¹ gabah kering.
4. Penentuan metode penyiapan tanah untuk tanah lahan rawa berbeda dengan metode pengering-anginan pada tanah lahan kering. Pengusikan minimum dan menjaga tanah tetap lembab/basah sangat diperlukan untuk mendapatkan hasil analisis yang mencerminkan keadaan lapangan.
5. Monitoring sistem tata air dan kualitas tanah perlu mendapatkan perhatian selama proses reklamasi. Hal ini penting pula untuk menentukan bentuk tata air yang tepat untuk suatu jenis komoditas yang diterapkan secara "berkelanjutan". Analisis laboratorium yang lebih rinci diperlukan secara berkala untuk menentukan macam dan takaran bahan masukan agar kebutuhan tanaman dapat dipenuhi.

Hadirin yang saya muliakan

Arah Pengembangan dan Reevaluasi ke depan

Pemanfaatan lahan rawa yang bijak serta pengelolaan yang serasi dengan karakteristik, sifat dan perilakunya serta didukung oleh pembangunan prasarana fisik (terutama tata air), sarana, pembinaan sumberdaya manusia dan penerapan teknologi spesifik lokasi diharapkan dijadikan dasar pengembangan lahan rawa secara lestari dan berwawasan lingkungan. Konsep pemanfaatan rawa sebaiknya berupa pengubahan peruntukan tanpa harus mengubah fungsi rawanya. Kalau mengubah fungsi (tandon air) rawa (terutama tipologi luapan C dan D), maka rawa menjadi lahan kering (tadah hujan) yang kualitas lahan keringnya tidak sama dengan lahan kering bentukan alam. Perbedaan pokok adalah bahwa aliran kapiler di lahan kering yang berasal dari konversi rawa mengandung bahan toksik (asam) yang berasal dari lapisan reduktif di air tanahnya, hal ini tidak terjadi di lahan kering bentukan alami. Bahan toksik yang terikut aliran kapiler akan terakumulasi di permukaan tanah karena tidak ikut terevaporasi. Akumulasi bahan ini berupa lapisan tipis berwarna kuning cerah disebut dengan bercak jarosit yang berciri khusus $\text{pH} < 3,5$ (Dent, 1986).

Berdasarkan hasil pemetaan tanah rawa di Indonesia telah diketahui bahwa $> 20\%$ lahan rawa berpotensi dikembangkan untuk budidaya tanaman, terutama untuk padi sawah. Hanya perlu diingat bahwa evaluasi hanya berdasar atas watak tanah yang dipersyaratkan **bila kondisi tanah tersebut tidak diubah menjadi oksidatif**. Persyaratan inilah yang sebenarnya menjerumuskan keberhasilan implementasi dari evaluasi tersebut, karena langsung dipakai oleh perancang tata air yang sebetulnya tidak dapat menjamin tidak berubahnya suasana reduktif tanah seperti yang disyaratkan. Bila landasan ini disepakati, maka peluang untuk mencari daerah bukaan baru yang layak, nampaknya sudah sulit, bahkan lahan yang sebelumnya telah dibuka dan dianggap layak, akan menjadi tidak layak dan perlu untuk dikembalikan kefuningsinya semula. Peraturan Pemerintah No. 150 tahun 2000 (KLH, 2000) tentang ambang batas kerusakan tanah lahan basah untuk produksi biomassa dapat dipakai sebagai acuan (lihat Lampiran 1) dengan latar belakang sebagai berikut:

- a. Amblesan gambut tidak akan mencapai > 35 cm dalam 5 tahun bila air tanah dipertahankan < 25 cm dari permukaan tanah, kecuali bila gambut tersebut diolah intensif, dibakar/terbakar.
- b. Lahan rawa dengan $\text{pH} (\text{H}_2\text{O}_2) \leq 2,5$ berarti masih mengandung pirit reaktif dan $\text{pH} (\text{H}_2\text{O})$ akan $< 3,5$ bila nilai redoks $> - 100$ mV, dimana sulfida teroksidasi menjadi sulfat.
- c. Gambut merupakan hasil sisa perombakan awal dari bahan organik segar penyusunnya, kekahatan nutrisi menyebabkan gambut tersebut dalam suasana alami mempunyai nilai redoks < 200 mV. Gambut akan mulai

terdegradasi pada suasana yang lebih oksidatif akibat turunnya muka air tanah pada pembuatan saluran pengatus.

A. Skala Penelitian

1. Tanah gambut:

Analisis tanah di laboratorium umumnya dapat mencerminkan watak tanah yang ada di lapangan. Hingga saat ini proses analisis tanah gambut masih mengikuti prosedur yang dikerjakan untuk tanah mineral, meliputi penyiapan tanah (pengeringangan, penyaringan), metode ekstraksi, dan interpretasi hasil analisis.

- a. Gambut yang dikeringanginkan telah mengubah gambut hidrofilik menjadi hidrofobik, penumbukan dan penyaringan juga akan merusak struktur dakhil gambut. Kondisi hidrofobik menyebabkan biasanya hasil analisis gambut dibandingkan kalau kondisinya masih hidrofilik (Masganti *et al.*, 2002). Diusulkan agar penyiapan bahan gambut untuk analisis tidak sampai mencapai kondisi hidrofobik.
- b. Daya desak suatu ekstraktan melalui penggojokan. Tanah gambut yang diusik/digojok dapat menyebabkan rusaknya struktur gambut itu sendiri. Pengusikan minimum diusulkan dengan cara kontak lindi bersistem tabung lisimeter dapat mengurangi perusakan struktur gambut ini.
- c. Interpretasi hasil analisis dinyatakan dalam berat kering mutlak yang untuk tanah mineral dengan BV 0,90 - 1,20 g cm⁻³, sedangkan untuk tanah gambut mempunyai BV 0,15 - 0,25 g cm⁻³. Untuk mencerminkan keadaan lapangan, tafsiran hasil analisis semestinya dikalikan faktor koreksi 0,15 - 0,20 (Maas, 1997). Rekomendasi pemupukan dan penentuan takaran amelioran juga didasarkan atas interpretasi hasil analisis tersebut. Selama ini sering terjadi *overdosis* amelioran (contohnya pengapuran) karena takarannya berdasar atas hasil analisis tanpa faktor koreksi.

2. Tanah mineral

- a. Penyiapan tanah secara pengeringangan akan mengubah suasana reduktif menjadi oksidatif, terjadi degradasi komponen organik dan sulfidik yang menyebabkan pemasaman tanah.
- b. Akibat degradasi komponen reduktif pada penyiapan, menyebabkan hasil analisis menjadi lebih besar yang setelah diinterpretasikan akan memperbesar takaran bahan amelioran.
- c. Model percepatan degradasi pirit hingga mencapai tatanan reda, dengan demikian upaya pemanfaatan gambut hidrofobik secara laboratoris dan rumah kaca perlu dikembangkan.

B. Skala Terapan

1. Gatra Pertanian (lihat Maas, 2000 di Lampiran 2):

- a. Luasan lahan rawa yang potensial dikembangkan untuk budidaya pertanian perlu ditinjau ulang dengan memasukkan parameter posisi lahan dan tipologi luapan, diperkirakan luas lahan tersebut < 2 juta ha meliputi lahan tipologi luapan A dan B, dan tipologi C dan D yang bebas dari gambut dan tanah sulfat masam. Mungkin sukar untuk mencari lahan baru untuk dikembangkan bila persyaratan di atas diterapkan sebagai acuan.
- b. Tanah pasir atau gambut yang berada di atas lapisan pasir tersier tidak layak untuk dikembangkan karena sifatnya yang lepas-lepas, tidak mempunyai muatan dan tidak dapat menahan air. Bila hutan pasir atau hutan gambut yang berada di atas pasir terdegradasi dapat menyebabkan terbentuknya padang savana.
- c. Rawa bukaan lama yang telah bongkor segera dikembalikan fungsi alamnya dengan tidak membiarkan pelindian berlangsung terus. Hal ini tentu saja berkaitan dengan pengontrolan, pengurangan atau penutupan saluran pengatus (di tingkat makro ataupun mikro). Sebagian besar lahan yang sesuai telah dikembangkan, bahkan cukup banyak lahan tidak sesuai juga ikut dikembangkan.
- d. Pengembangan lahan rawa ke depan lebih difokuskan pada lahan yang telah dibuka, dengan mengkaji ulang layanan tata air yang memungkinkan proses sirkulasi air segar dapat sampai di petak lahan dan inputan sesuai dengan kebutuhan tanaman.
- e. Rawa yang tanahnya tidak bermasalah dicirikan oleh tanah mineral halus berwarna kecoklatan, matang, jeluk lapisan piritik > 100 cm yang umumnya bertipologi luapan C dan D dapat dikonversi menjadi lahan kering/tadah hujan.

2. Gatra Rekayasa (*engineering*) yang diinginkan pengusahatani.

- a. Lahan rawa yang dapat dikonversi mempunyai tipologi luapan A dan B dengan ketentuan bahwa ada faktor penyanggaan air hutan yang berasal dari rawa belakang (*backswamp*) yang masih berfungsi.
- b. Tata air makro (sekesatuan hidrologi) dan mikro (sekesatuan perusahaan) dengan tinjauan luas jangkauan tipologi luapan sampai unit tata air mikro, difokuskan untuk tipologi luapan A dan B. Tipologi luapan jangan hanya ditentukan di muara saluran utama, tapi sampai di ujung saluran mikro dalam satu satuan tata air makro. Kegiatan ini akan merumuskan kembali besaran unit layanan air yang sesuai dengan tipologi luapannya, di samping mengembalikan ke **fungsi alam** bagi zona

- yang tidak terlayani (kaji ulang panjang saluran primer, sekunder dan tersier).
- c. Prospek pengembangan lahan basah untuk produksi pertanian dapat diharapkan terwujud apabila satuan-satuan kawasan pengembangan dibuat terpisah-pisah dengan luasan terbatas, kira-kira 2000 - 3000 ha tiap satuan (Darmanto, 2001).

Hadirin yang saya muliakan

Masih sangat diperlukan kesamaan persepsi antar pemangku kepentingan (*stakeholder*) yang berkepentingan dalam perancangan rehabilitasi lahan rawa dengan proporsi seimbang. **Rehabilitasi saluran dan pembenahan tanah sama pentingnya** dan saling terkait untuk pendayagunaan ulang lahan bongkor. Suatu bentuk pelatihan atau lokakarya di masing-masing propinsi dengan melibatkan semua pemangku kepentingan merupakan awal untuk perencanaan ke depan, termasuk kesepakatan sistem evaluasi kesesuaian lahannya.

Pemanfaatan yang bijak serta pengelolaan yang serasi dengan karakteristik, sifat dan kelakuannya serta pembangunan prasarana fisik (terutama tata air), sarana, pembinaan sumberdaya manusia dan penerapan teknologi spesifik lokasi diharapkan dijadikan dasar pengembangan lahan rawa secara lestari dan berwawasan lingkungan. Untuk itu diperlukan rancangan kriteria lahan rawa yang layak konversi/reklamasi dengan memperhatikan gatra hidrologi dan hidrometri (tipologi luapan, kualitas dan kuantitas air), kualitas tanah, fungsi tandon air di rawa belakang (*backswamp*) dan ketersediaan bahan amelioran serta sistem pengolahan tanahnya yang dijabarkan untuk spesifik lokasi. Diharapkan model ini dapat menjadi acuan untuk semua pemangku kepentingan yang berperan dalam memanfaatkan rawa untuk budidaya tanaman, terutama penentu kebijakan di Dept. Kimpraswil (Pengairan) dan Deptan (Puslitannak/Balittra) dalam usaha pemanfaatan ulang tanah gambut yang telah bongkor. Kesalahan yang menyebabkan timbulnya pembongkoran lahan gambut dapat diperbaiki dengan mempertimbangkan gatra hubungan tata air dan tanah secara selaras dan saling menentukan, termasuk usaha pengembalian daerah tadahan di rawa belakang.

Hadirin yang saya muliakan

Penutup

Dalam menutup orasi ini, perkenankanlah saya pada kesempatan ini memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala berkah, rahmat dan karuniaNya kepada saya sekeluarga, sehingga saya memperoleh kesempatan mencapai derajat dan kedudukan akademik tertinggi ini

Saya ucapkan terima kasih kepada Pemerintah Republik Indonesia, dalam hal ini Presiden Republik Indonesia dan Menteri Pendidikan Nasional atas kepercayaan yang diberikan kepada saya menduduki jabatan Guru Besar dalam bidang Ilmu Tanah pada Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada.

Pada kesempatan ini pula saya menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya atas jasa guru-guru saya di Sekolah Dasar, Sekolah Menengah Pertama, Sekolah Menengah Atas Muhammadiyah II Yogyakarta, yang telah mengajar dan mendidik saya dengan tulus dan membuka jalan bagi saya untuk melanjutkan pendidikan yang lebih tinggi.

Ucapan terima kasih saya sampaikan pula kepada rekan-rekan dosen di Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada yang selama ini telah menjalin kerjasama yang baik.

Penghargaan mendalam dan terima kasih yang tulus saya sampaikan juga kepada para pembimbing saya Prof.Dr. C. Sys, Prof.Dr. F. De Conink dan Prof. Dr. G. Stoops untuk mencapai gelar *Doctor of Science* di *Faculty of Science, University of Ghent*. Belgia.

Secara khusus saya sampaikan terima kasih sebesar-besarnya dan penghargaan setinggi-tingginya kepada Prof.Dr.Ir. KPH Tejoyuwono Notohadikusumo atas bimbingan, dorongan sejak pertama kali mengenal ilmu tanah sampai mencapai derajat Guru besar. Pola pikir beliau dalam memahami, mendalami dan mengembangkan ilmu menjadi panutan saya dalam berkarya.

Kepada anak didik saya, rekan seprofesi di berbagai perguruan tinggi dan Pusat penelitian lain di negara ini yang berkecimpung dalam masalah lahan rawa, saya menghimbau untuk tetap tanggung janji (*committed*) secara sinambung (*continues*) menekuni bidang ilmu ini. Masih banyak misteri dan upaya penyelesaian masalah yang perlu diungkap. Masih banyak petani yang memerlukan uluran tangan kita untuk memperbaiki taraf hidupnya. Marilah secara bersama dengan bidang ilmu lain yang terkait, kita berusaha merumuskan konsep yang dapat diterapkan untuk membantu pemerintah dalam mensejahterakan masyarakat rawa tersebut.

Hadirin yang saya muliakan

Dalam mengakhiri orasi pengukuhan ini saya sampaikan sekali lagi terima kasih sebesar-besarnya atas kehadiran, keikhlasan, perhatian dan kesabaran hadirin sekalian dalam mengikuti orasi say ini. Perkenankanlah saya mengucapkan rasa syukur tak terhingga kepada Allah SWT karena atas karunia dan izin-Nya saya dapat menyelesaikan orasi pengukuhan ini.

Billahitatufig wal hidayah, wassalaamu'alaikum warahmatullaahi wa barakatuh.

Yogyakarta 19 Juli 2003

RUJUKAN

- Ar-Riza, I., S. Saragih. 2001. Pengelolaan tanah dan hara untuk budidaya padi di lahan pasang surut. Monograf Pengelolaan Air dan Tanah di Lahan Pasang Surut. Balittra. p.43-64. ISSN 1410-637 X.
- Alva, A., D.G. Edwards, C.J. Asher, and F.P.C. Blamey. 1986. *Relationship between root length of soybean and calculated aluminium monomers in nutrient solution. Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 959 – 962.
- Anonim, 1991. Pendugaan kualitas gambut melalui interpretasi citra landsat TM. Pusdata, Dept. PU, Jakarta.
- Darmanto. 2001. Paparan serbacakup penanganan kawasan lahan basah eks-PL sejuta hektar Kalimantan Tengah. Devisi Lahan Basah PSSL – UGM.
- Dent, D., 1986. *Acid sulphate soils: a baseline for research and development. ILRI Publ.* 39. *The Netherlands.*
- Dugan, P.J. (ed.). 1990. *Wetland conservation. Into World Conservation Union. Gland, Switzerland.* 96 h.
- Geyh, MA., HR Kudras, and H. Sreip. 1979. *Sea level changes during the late Pleistocene and Holocene in the Strait of Malacca. Nature* 278:441-443.
- Gieseking, JE. 1975. Soils Component, Vol. I: *Organic Components*, Springer-Verlag, New York.
- Maas, A., 1995. *Tidal Swampy Land for Tree Crops Plantation. International Seminar on Sustainable Development and Management of Lowlands, Ministry of Public Works, JICA, WSTC Fund-CIDA, 24-25 Januari 1995.*
- Maas, A. 1997. Proses pembentukan dan perkembangan gambut tropika. Seminar Nasional Dampak Kemarau Panjang, Peragi Komisariat DIY, 16 Desember 1997.
- Maas, A. 1997a. Pengelolaan lahan gambut yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan. *Alami*. Vol. 2 No. 1. ISSN: 0853-8514
- Maas, A. 2000. Rancang ulang sistem evaluasi peruntukkan lahan rawa. Pasca Sarjana Tanah UGM.
- Maas, A., 2003. Seminar Nasional Hibah Bersaing VII. Direktorat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat. Dikti. Jakarta 18 – 20 Juni 2003.
- Maas, A and T. Notohadiprawiro. 1993. Constraint and prospect of tidal swamp developments in Indonesia. *International Seminar Swampland Development & management*, Direktorat Rawa, September 1993.
- Maas, A., Tukijo, Dwijono, Darmanto. 1999. Karakterisai dan identifikasi masalah lahan bongkor untuk perluasan areal tanam di wilayah kerja C PLBT Kalimantan Tengah. Makalah “Temu Pakar dan Lokakarya Nasional Optimasi Pemanfaatan Sumber-daya Lahan Rawa”. Jakarta 23 – 26 November 1999
- Maas, A, Darmanto, and Budi WS., 2000 Penyempurnaan Sistem Reklamasi dan pengembangan Jaringan Tata air mendukung keberlanjutan pengembangan pertanian di lahan rawa. Prosiding Seminar nasional

- Penelitian dan Pengembangan Pertanian di Lahan Rawa. Cipayung, Bogor, 25-27 Juli 2000
- Masganti, T. Notohadikusumo, A. Maas, B. Radjagukguk. 2002. *Hydrophobicity and its impact on chemical properties of peat. Proc. Intern. Symp. On Tropical Peatland*. p. 109-113. BPPT and Peat Assoc.
- Notohadiprawiro, T. 1994. Pengembangan lahan rawa pasang surut untuk tujuan pertanian. Pertemuan Teknis Kegiatan Pengajian Tahapan Pengembangan Rawa Pasang Surut, Badan Litbang PU, Bandung, 20 Oktober 1994.
- Notohadiprawiro, T. 1996. *Constraints to achieving the agricultural potential of tropical peatlands - an Indonesian perspective*. In: E. Maltby, CP. Immirzi, & RJ. Safford (eds.), *Tropical lowland Peatlands of Southeast Asia*. IUCN. Gland, Switzerland. h 139 – 154.
- PSSL, 2000. Studi Kinerja ISDP. Laporan penelitian kerjasama PSSL UGM-Deptan.
- KLH, 2000. PP 150, 2000. Baku mutu kerusakan tanah untuk produksi biomassa. Kementerian Lingkungan Hidup. Jakarta.
- PPLH-PSSL UGM, 1999. Penyusunan pedoman teknis pelaksanaan peraturan baku mutu tanah dan kriteria kerusakan tanah. Kerjasama dengan Bapedal Pusat, Jakarta.
- Rieley, JO, AA. Ahmad-Shah, & MA. Brady. 1996. *The extent and nature of tropical peat swamps*. In: E. Maltby, CP. Immirzi, & RJ. Safford (eds.), *Tropical Lowland Peat-lands of Southeast Asia*. IUCN. Gland, Switzerland. h 7-53.
- Sarwani, M., 2001. Penelitian pengembangan pengelolaan air di lahan pasang surut. Monograf Pengelolaan Air dan Tanah di Lahan Pasang Surut. Balittra. p. 19-42. ISSN 1410-637 X.
- Suryanto. 1991. Pengaruh Beberapa Amelioran Terhadap Ketersediaan Fosfor, Kalsium dan Kalium untuk Tanaman Jagung pada Gambut Ombrogen dari Pontianak. Laporan Penelitian Fak. Pertanian UGM. 100 hal.
- Widjaya Adhi, IPG., K. Nugroho, DS. Ardi, dan AS Karama. 1986. Pengelolaan rawa pasang surut dan lebak. J. Litbang Pertanian V(1).