

1

PEMBENTUKAN DAN KARAKTERISTIK GAMBUT TROPIKA INDONESIA

¹Muhammad Noor, ²Masganti, ³Fahmuddin Agus

¹ Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa, Jl. Kebun Karet, Loktabat Utara, Banjarbaru 70712. Email: m_noor_balitra@yahoo.co.id.

² Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Riau, Jl. Kaharudin Nasution No. 341, PO Box 1020, Pekanbaru.

³ Balai Penelitian Tanah, Jl. Tentara Pelajar No. 12, Kampus Pertanian Cimanggu, Bogor 16114.

Gambut tropika terbentuk melalui proses paludifikasi dari bahan biomassa tumbuhan yang mati. Dominasi yang kuat dari bahan organik sebagai penyusunnya mengakibatkan karakteristik tanah gambut berbeda dengan tanah mineral sehingga pengelolaannya untuk pertanian bersifat spesifik dan perlu kehati-hatian. Pembentukan tanah gambut memerlukan waktu ribuan tahun melalui proses yang sangat beragam antara satu tempat dengan tempat lainnya. Pembentukan gambut di Indonesia diperkirakan terjadi sejak 6.800-4.200 tahun silam. Laju pembentukan gambut bervariasi antara 0,05 mm per tahun sampai dengan 0,50 mm per tahun pada kondisi hutan primer. Apabila hutan sudah dibuka dan lahan didrainase maka penyusutan (subsidence) gambut terjadi sangat cepat disebabkan dekomposisi dan pemadatan, jauh melebihi laju pembentukannya. Karakteristik spesifik dari tanah gambut yang membedakan dengan tanah mineral umumnya, antara lain: (1) mudah mengalami kering tak balik (irreversible drying), (2) mudah ambles (subsidence), (3) rendahnya berat isi dan daya dukung (bearing capacity) lahan terhadap tekanan, (4) tingginya kemampuan menyimpan air, (5) tingginya kandungan bahan organik dan karbon, (6) rendahnya kandungan hara dan kesuburannya, dan (7) rendahnya pH. Oleh karena itu, pemanfaatan gambut untuk pertanian secara umum lebih problematik” dibanding tanah mineral, karena memerlukan input yang lebih banyak dan model pengelolaan air yang lebih kompleks serta adanya kemungkinan dampak negatif terhadap lingkungan.

A. Pendahuluan

Tanah gambut tropika terbentuk melalui proses paludifikasi yaitu penebalan gambut karena tumpukan bahan organik dalam keadaan tergenang air. Bahan utama gambut tropika adalah biomassa tumbuhan, terutama pohon-pohonan. Karena bahan dan proses pembentukan yang khas, maka sifat tanah gambut sangat berbeda dari sifat tanah mineral. Gambut yang tebal (dalam) dominan dibentuk oleh bahan organik, sedangkan gambut dangkal (tipis) dibentuk oleh bahan organik bercampur tanah mineral, terutama liat.

Semakin dalam tanah gambut dan semakin jauh lahan gambut dari sungai, maka semakin sedikit pengaruh tanah mineral dan semakin tinggi kandungan bahan organiknya.

Kandungan bahan organik di lapisan permukaan suatu kubah gambut bisa mendekati 100% dan dengan demikian kandungan karbon (C) organiknya bisa mencapai 60% dari berat keringnya. Untuk dapat digolongkan sebagai tanah gambut, kandungan C organiknya minimal 12% dan ketebalan gambutnya minimal 50 cm (Subagyo, 2006).

Setiap satu meter ketebalan tanah gambut menyimpan antara 400-700 ton C_{org} /ha. Selain mengandung C yang sangat tinggi, tanah gambut, terutama yang sangat dalam, mengandung unsur hara makro P, K, Ca, Mg, dan unsur hara mikro Cu, Zn, Mn, dan Fe sangat rendah sehingga rendah kesuburannya. Tinggi rendahnya kesuburan tanah gambut diindikasikan oleh tinggi dan rendahnya kadar abu (kadar bahan non organik). Semakin tinggi kadar abu, maka semakin baik kesuburan tanah gambut tersebut.

Dari aspek sifat fisik, tanah gambut mempunyai berat isi dan daya dukung beban (*bearing capacity*) yang sangat rendah. Namun tanah gambut alami mengandung air yang sangat tinggi sampai ke puncak kubahnya. Keadaan jenuh (anaerobik) tersebut menyebabkan proses dekomposisi bahan organik tanah gambut berjalan sangat lambat, sedangkan penumpukan bahan organik di permukaan berjalan lebih cepat. Hal ini menyebabkan tanah gambut alami yang tidak dipengaruhi drainase semakin lama semakin tebal.

Pembangunan pertanian, untuk memenuhi kebutuhan produksi pangan dan serat akibat pesatnya pertumbuhan penduduk dan alih fungsi lahan memerlukan areal bukaan baru yang lebih luas. Oleh karena itu, maka sebagian lahan gambut dibuka dan direklamasi dengan membangun sejumlah saluran drainase yang menyebabkan berubahnya suasana tanah gambut dari anaerobik menjadi aerobik sehingga memicu terjadinya peningkatan aktivitas organisme perombak sisa tanaman yang menyebabkan peningkatan emisi gas karbon dioksida (CO_2) yaitu gas rumah kaca terpenting.

Emisi CO_2 menjadi perhatian banyak kalangan baik di tingkat nasional maupun internasional. Di lain sisi pemanfaatan lahan gambut yang ditujukan untuk menghasilkan pangan dan energi juga penting untuk memenuhi konsumsi dalam negeri maupun konsumsi dunia. Target peningkatan produksi pertanian dari lahan gambut tidak selalu bersinergi dengan penurunan emisi dan pemeliharaan kualitas lingkungan sehingga menjadi salah satu dilema pembangunan dan target pencapaian penurunan emisi gas rumah kaca di tingkat nasional sebesar 26 sampai 41% dengan bantuan negara maju, diantaranya 9,5 sampai 13,0% dari lahan gambut, dikhawatirkan tidak akan terpenuhi dari tenggang waktu yang telah ditentukan tahun 2020 (Balitbangtan, 2011).

Bab ini membahas tentang pembentukan dan karakteristik lahan gambut dan implikasi dari keadaan ekosistem lahan gambut yang tidak stabil terhadap keberlanjutan (*sustainability*) pengelolaan lahan gambut. Informasi ini penting sebagai dasar dalam pengembangan gambut untuk pertanian ke depan, sehingga lahan gambut dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan dan dampak kerusakan lingkungan pengelolaannya dapat diminimalkan.

B. Pembentukan Gambut Tropika

Pembentukan gambut tropika, dapat dipahami sebagai hasil proses transformasi dan translokasi. Proses transformasi yaitu proses pembentukan biomassa dengan dukungan nutrisi terlarut, air, udara, dan radiasi matahari. Proses translokasi yaitu pemindahan bahan oleh gerakan air dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah dan gerakan angin (udara) yang disebabkan oleh adanya perbedaan tekanan. Akibat proses pembentukan biomassa dari sisa tumbuhan setempat lebih cepat dibandingkan dengan proses penguraian, maka terbentuklah lapisan bahan organik yang semakin tebal yang disebut tanah gambut. Pembentukan gambut pada dasarnya akibat terjadinya kondisi tumpat (jenuh) air yang disebut paludifikasi⁷. Laju pembentukan tanah gambut sangat lambat dan berbeda antara satu tempat dengan tempat lainnya yang dipengaruhi oleh banyak faktor utamanya lingkungan setempat meliputi, yaitu (1) sumber dan neraca air, (2) kandungan mineral yang ada dalam air, (3) iklim (curah hujan, suhu, kelembaban), (4) tutupan vegetasi, dan (5) pengelolaan setelah drainase (Maas, 2012). Tanah gambut tropika terbentuk secara bertahap dengan memakan waktu yang sangat panjang. Selanjutnya proses pembentukan diikuti oleh proses penyederhanaan atau penguraian menjadi ion (larut) dan gas (emisi) yang melibatkan mikroorganisme yang aktivitasnya juga memerlukan air, dan udara.

Proses translokasi berperan dalam pembentukan gambut berupa pengisian landaian/cekungan oleh bahan mineral yang terbawa aliran air dan bahan organik yang berasal dari sisa tumbuhan mati insitu. Akibat kondisi lingkungan rawa yang reduktif, maka proses penimbunan sisa tumbuhan setempat berlangsung lebih cepat dibandingkan proses penguraian, sehingga membentuk lapisan bahan organik yang disebut gambut (Maas, 2012).

Proses pembentukan di atas boleh jadi tidak jauh berbeda antara daerah tropika dengan beriklim sedang (*temperate*). Namun dari sisi bahan atau tumbuhan penyusun gambutnya sangat berbeda. Penyusun gambut tropika terdiri atas tumbuhan berkayu atau pohon yang kaya kandungan selulosa dan lignin, sedangkan gambut beriklim sedang terdiri atas tanaman air (*sphagnum*) yang kandungan selulosa dan ligninnya rendah. Kedua, regenerasi gambut tropika lebih lambat dibandingkan pertumbuhan gambut beriklim sedang. Oleh karena itu, gambut beriklim sedang cocok dipanen dan digunakan untuk bahan bakar (energi), sebaliknya gambut tropika karena kadar kayunya tinggi menjadi kendala dalam proses pengekstrakan untuk menjadi bahan bakar (*biofuel*). Pemanenan gambut untuk penyediaan bahan bakar non minyak pernah direncanakan dalam rangka mengatasi dan memenuhi kebutuhan listrik di Pulau Jawa pada tahun 1980an dan kelangkaan bahan bakar minyak dan gas alam pada tahun 1990an (Euroconsult, 1984; Noor, 2010).

Terlepas dari pengaruh penambangan (*mining*) terhadap gambut, gambut dapat dijadikan lahan produktif penghasil pangan dan pengganti bahan bakar minyak (*biofuel*)

sehingga kurang bijak kalau gambut dieksplorasi untuk memenuhi kebutuhan yang sifatnya jangka pendek seperti ditambang untuk bahan bakar (*peat mining*). Keadaan hidrologi dan proses pengisian rawa gambut dapat diterangkan dalam uraian berikut ini.

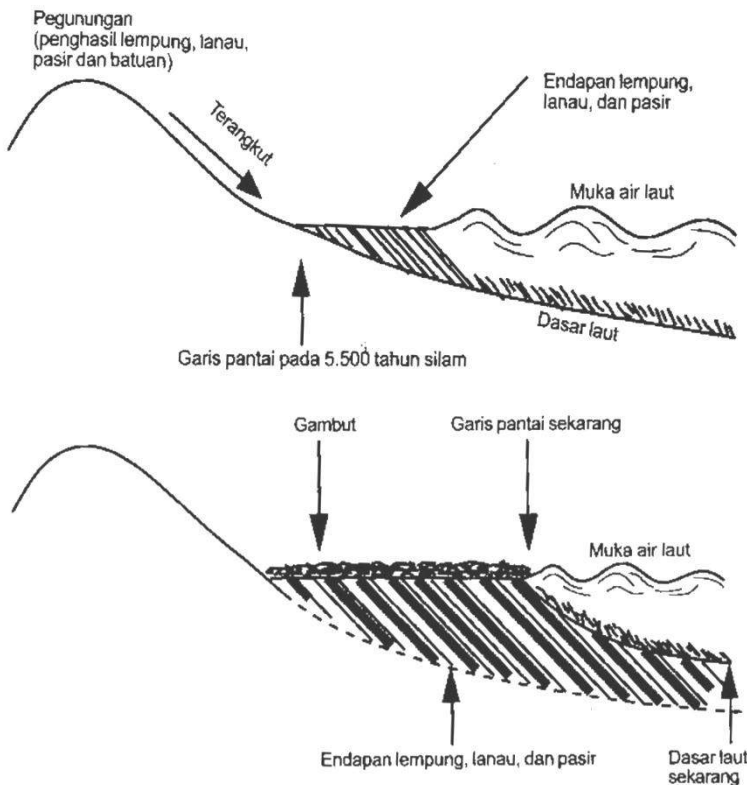
1. Dinamika Perubahan Muka Air Laut

Proses pengisian bahan mineral atau gambut pada ekosistem rawa sebagai tahap awal dalam pembentukan tanah gambut dimulai sejak ribuan tahun silam. Pengisian rawa ini tidak lepas dari pengaruh perubahan iklim global yang terjadi pada era Pleistosen. Peningkatan suhu akibat perubahan iklim global ini mengakibatkan sebagian lapisan es di daerah kutub mencair sehingga secara perlahan menaikkan muka air laut. Selama masa glasial Wurm pada akhir periode Pleistosen terjadi peningkatan muka air laut antara 3-4 m per seribu tahun (Blackwelder *et al.*, 1979). Penelitian *carbon dating* di selat Malaka menunjukkan bahwa pada periode Holosen sekitar 7.000 tahun lalu, muka air laut meningkat sampai 20 m selama kurun waktu 4.000 tahun, dan menurun pada 3.000 tahun yang lalu hingga mencapai kondisi saat ini. Menurut Karama dan Suriadikarta (1998) tinggi muka air laut pada periode Pleistosen ditaksir berada sekitar 60 m di bawah muka air laut sekarang. Puncak terjadinya peningkatan muka air laut, khususnya di lingkungan dataran Asia (*sundaland*) ditaksir pada 5.500 tahun silam dengan membentuk garis pantai. Seiring dengan penurunan kembali muka air laut, terjadi pembentukan gambut yang diperkirakan sekitar 6.000 tahun silam. Gambut Indonesia terbentuk antara 6.800-4.200 tahun silam (Andriessse, 1974). Gambar 1 menunjukkan proses pembentukan dataran pantai pada sekitar 5.500 tahun silam dan pergeseran (*transgesi*) garis pantai dan pengisian rawa pada situasi sekarang.

2. Dinamika Pengisian Rawa dan Pembentukan Gambut

Penurunan muka air laut atau pergeseran garis pantai yang mengarah lebih ke laut mendorong terbentuknya daerah-daerah rawa yang mempunyai cekungan atau danau dan secara berkala mengalami pengisian. Menurut Andriessse (1988) berdasarkan lingkungan fisik rawa, tanah gambut tropika dibedakan antara : (1) gambut delta, (2) gambut dataran, (3) gambut lagun-dekat pantai, (4) gambut lebak (*small inland valey*), (5) gambut yang terisolasi antara dua bukit, dan (6) gambut pantai (salin). Pembentukan gambut pada dasarnya akibat terjadinya kondisi tumpat air (*water logging*) yang disebut paludifikasi”.

Gambar 1. Sketsa terbentuknya dataran pantai pada masa 5.500 silam (atas) dan pergeseran garis pantai serta pengisian rawa/gambut (bawah)



Sumber: van de Meene (1982)

Pembentukan gambut ditentukan oleh faktor lingkungan yang utamanya meliputi, yaitu 1) sumber dan neraca air, 2) kandungan mineral yang ada dalam air, 3) iklim (curah hujan, suhu, kelembaban), 4) tutupan vegetasi, dan 5) pengelolaan setelah drainase (Maas, 2012). Gambut tropika terbentuk secara bertahap dengan memakan waktu yang sangat panjang. Menurut Bellamy (1974) dalam Andriess (1988) terdapat lima tahap pembentukan gambut tropika sebagai berikut:

Tahap 1. Pengisian rawa (cekungan) oleh sedimen dari luar yang terbawa oleh aliran air (banjir). Laju pembentukan gambut pada tahap ini sangat lambat. Melalui aliran air ditambahkan bahan-bahan sedimen dari luar.

Tahap 2. Pengisian rawa dimulai pada saluran-saluran utama yang semula terbentuk kemudian tertutup. Pada tahap ini terjadi perubahan muka air tanah menjadi lebih dalam, sehingga sebagian massa gambut menjadi kering atau lembab.

Tahap 3. Pertumbuhan lanjut gambut lebih cepat secara horisontal dan vertikal. Pasokan air menjadi tergantung pada hujan yang jatuh langsung pada permukaan atau rembesan dari sekitarnya.

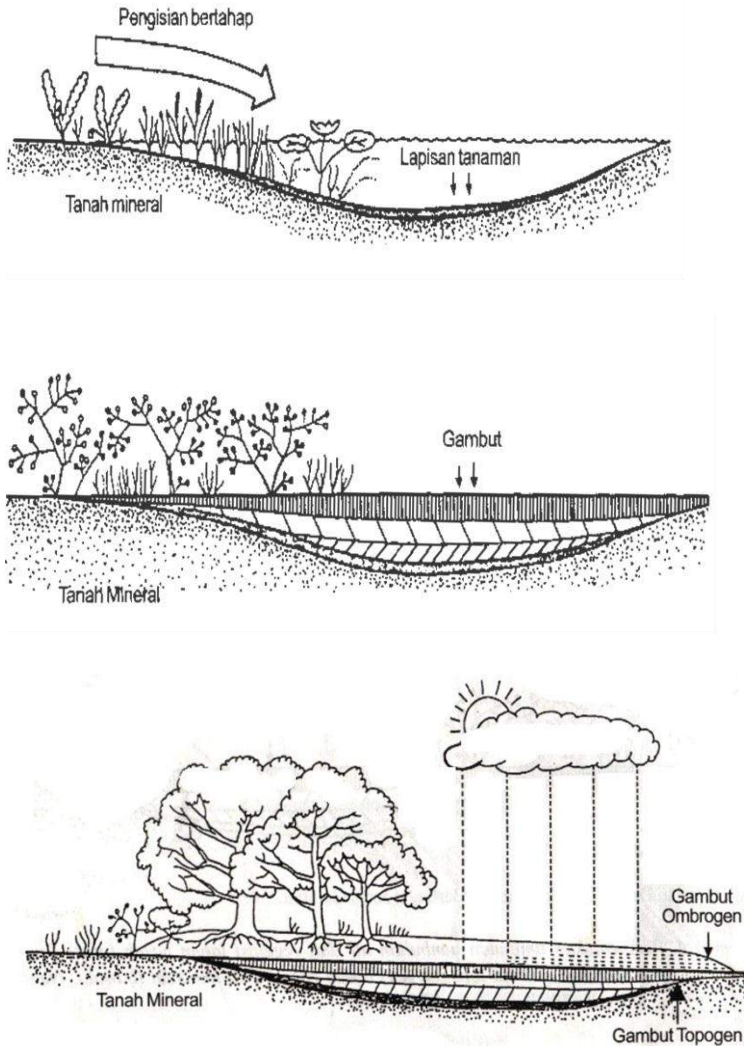
Tahap 4. Pertumbuhan lanjut gambut lebih cepat mulai menebal yang terdiri atas sisa tumbuhan, berupa sisa ranting, batang dan akar tumbuhan hutan alami. Kondisi gambut tidak lagi dipengaruhi oleh perpindahan air, tetapi muka air tanah menaik apabila terjadi hujan lebih banyak.

Tahap 5. Permukaan gambut naik, muka air tanah tidak lagi dipengaruhi oleh musim. Permukaan gambut dapat naik turun dipengaruhi oleh air tanah. Terbentuk kubah gambut (*peat dome*).

Pada tahap ke tiga, akar tumbuhan yang hidup di atas timbunan gambut (tipis) masih dapat mengambil hara mineral dari lapisan di bawahnya (*substratum*) yang sebagian besar hara disumbang dari air sungai, sehingga gambut yang terbentuk termasuk subur (*topogenous*). Namun, pada tahap keempat dan selanjutnya, dengan semakin tebalnya lapisan gambut yang terbentuk, maka tumbuhan atau vegetasi yang hidup di atas gambut (tebal) tersebut tidak dapat lagi menyerap hara dari lapisan mineral di bawahnya, sehingga pasokan hara hanya dari air hujan dan atau hasil perombakan bahan organik setempat sehingga gambut yang terbentuk tergolong tidak subur (*ombrogenous*). Oleh karena itu, semakin tebal gambut maka semakin tidak subur lapisan gambut di atasnya. Demikian juga, gambut yang di bawahnya berupa lapisan liat (marin) lebih subur dibandingkan apabila di bawahnya lapisan pasir. Gambar 2 menunjukkan proses tahapan pembentukan gambut tropika menjadi gambut *topogenous* dan *ombrogenous*.

Laju pembentukan lapisan gambut ini sangat lambat dan berbeda antara satu tempat dengan tempat lainnya yang dipengaruhi oleh banyak faktor, utamanya lingkungan setempat. Perubahan lingkungan setempat umumnya yang sudah berbeda dari sebelumnya misalnya kerapatan hutan dan jenis vegetasi hutan yang tumbuh di atasnya mengakibatkan pertumbuhan/pembentukan gambut terhenti. Menurut Lucas (1982) dan Andriesse (1988) laju pembentukan gambut tidak lebih dari 3 mm per tahun pada kondisi hutan primer. Laju pembentukan gambut Barambai, di Kalimantan Selatan hanya 0,05 mm per tahun, sedangkan di Pontianak, Kalimantan Barat berkisar 0,13 mm per tahun (Neuzil, 1997).

Menurut Sieffermann *et al.* (1988) laju pembentukan gambut pada periode awal (9.600-8.450 Sebelum Masehi) dapat mencapai 0,5 m (500 mm) per 100 tahun, kemudian pada periode 8.000-5.000 SM menurun menjadi 0,20-0,25 m per 100 tahun, pada periode akhir ditaksir hanya sekitar 0,14 m per 100 tahun. Terbukti juga bahwa ketebalan (*depth*) gambut berkorelasi dengan umur (waktu) pembentukan gambut. Semakin dalam gambut semakin tua umur pembentukan.

Gambar 2. Tahap pembentukan gambut tropika menjadi gambut ombrogenous

Sumber: van de Meene (1982)

Menurut Page *et al.* (2002) gambut Kalimantan Tengah pada kedalaman 0,5-1,0 m berumur 140 tahun, sedang kedalaman 1-2 m berumur antara 500-5.400 tahun, kedalaman 2-3 m berumur 5.400-7.900 tahun, kedalaman 3-4 m berumur 7.900-9.400, kedalaman 4-8 m berumur 9.400-13.000 tahun, dan kedalaman 8-10 m berumur 13.000-25.000 tahun. Dibandingkan dengan gambut di tempat lain, gambut di Kalimantan Tengah lebih tua. Gambut di Serawak, Kalimantan Barat terbentuk sekitar 4.300 tahun silam, sedangkan gambut di Muara Kanan, Kalimantan Timur terbentuk antara 4.400-3.850 tahun silam (Diemont and Ponds, 1991; Tie and Esterle, 1991).

Pengambilan kayu sebagai penyusun utama gambut berpengaruh pada lambatnya pembentukan gambut. Konversi lahan dengan menghilangkan tumbuhan alami, berakibat pada hilangnya sumber pembentukan gambut, gambut akan menipis dengan sendirinya, terlebih apabila suasana reduktif menjadi oksidatif akibat pembuatan saluran drainase mempercepat perombakan gambut dan pengeringan gambut (*irreversibel drying*) sehingga rawan terbakar.

C. Karakteristik Tanah Gambut Tropika

Tanah gambut tropika mempunyai karakteristik yang khas dan spesifik, terkait dengan kandungan bahan penyusun, ketebalan, kematangan, dan lingkungan sekitarnya yang berbeda. Karakteristik spesifik dari tanah gambut yang membedakan dengan tanah mineral umumnya, antara lain : (1) mudah mengalami kering tak balik (*irreversible drying*), (2) mudah ambles (*subsidence*), (3) rendahnya daya dukung (*bearing capacity*) lahan terhadap tekanan, (4) rendahnya kandungan hara kimia dan kesuburannya (*nutrient*), dan (5) terbatasnya jumlah mikroorganisme.

Gambut yang mengalami kering tak balik berubah sifat menjadi gambut yang tidak lagi mempunyai kemampuan dalam menyerap air seperti semula dan sifat gambut berubah dari suka air (*hidrofilik*) menjadi menolak air (*hidrofobik*). Misalnya, gambut yang terbakar hanya dapat menyerap air sekitar 50% dari semula sebelum terbakar karena sebagian berubah menjadi hidrofobik. Sifat hidrofobik pada gambut muncul akibat (1) kandungan asam humat berupa selaput lilin, dan (2) adanya gugus non-polar seperti etil, metil dan senyawa aromatik (Valat *et al.*, 1991).

Ambles (*subsidence*) diartikan sebagai penurunan muka tanah gambut akibat perubahan kematangan atau kemampuan gambut dalam menyerap air akibat pembukaan, penggunaan yang intensif, kebakaran, atau musim kemarau yang panjang. Namun belakangan ini amblesan dihubungkan dengan besaran emisi karbon sehingga taksiran emisi menjadi berlebihan. Besar amblesan pada tahun 1-2 pembukaan lahan gambut lebih besar dan cepat dibandingkan tahun berikutnya. Rata-rata amblesan pada gambut Barambai, Barito Kuala (Kalsel) selama tiga tahun pertama rata-rata 16 cm/tahun dan pada gambut Delta Upang (SumSel) antara 6,5-65,5 cm/tahun. Amblesan mulai mengecil setelah tahun ke enam dan mantap setelah tahun ke delapan atau ke sepuluh (Notohadiprawiro, 1979; Hardjowigeno, 1997). Semakin tebal gambut semakin tinggi risiko amblesan, tergantung pada pengaturan muka air. Gambut sangat dalam (tebal 5,5-6,0 m) mengalami amblesan antara 8-15 cm/tahun dan gambut dalam (tebal 2-3 m) mengalami amblesan 0,05-1,50 cm/tahun (Mutalib *et al.*, 1992). Lahan gambut Serawak (tebal 2-6 m) yang dipertahankan dengan muka air tanah antara 75-100 cm dari permukaan rata-rata ambles hanya 6 cm/tahun (Tieh and Kueh, 1979). Pemadatan dengan menggunakan alat berat dapat menurunkan amblesan, walaupun pada tiga tahun

pertanaman amblesan masih tinggi (Taher dan Zaini, 1989). Gambar 3 menunjukkan kondisi lahan gambut yang mengalami amblesan.

Gambut di Indonesia umumnya dikategorikan pada tingkat kesuburan *oligotrofik*, yaitu gambut dengan tingkat kesuburan yang rendah, yang banyak dijumpai pada gambut *ombrogenoes* yaitu gambut pedalaman seperti gambut Kalimantan yang tebal dan miskin unsur hara. Sedangkan gambut pantai termasuk ke dalam gambut *eutrofik* karena adanya pengaruh air pasang surut dengan tingkat kesuburan tinggi. Pada beberapa tempat gambut mempunyai tingkat kesuburan yang baik karena adanya pengaruh sisa-sisa vulkanik seperti di Lunang, Sumatera Barat (Taher dan Zaini, 1989).

Karakteristik tanah gambut sangat berbeda dengan tanah mineral (Tan, 1994; Soil Survey Staff, 2003). Perbedaan tersebut terletak pada sifat kimia, fisika, dan biologi tanah. Oleh karena itu, pemanfaatan gambut untuk pertanian secara umum lebih problematik” dibanding tanah mineral, antara lain memerlukan *input* yang lebih banyak dan model pengelolaan yang lebih kompleks. Karakteristik gambut alami dapat berubah setelah pembukaan atau penggunaan, sehingga disebut bersifat rapuh (*fragile*). Pemanfaatan dan pengelolaan lahan gambut memerlukan teknologi inovatif untuk meningkatkan produktivitas sekaligus mencegah kerusakan atau kemerosotan akibat penggunaannya.

Selanjutnya dikemukakan beberapa karakteristik fisika, kimia dan biologi tanah gambut dari hasil penelitian dan survei, khususnya di Kalimantan dan Sumatera.

Gambar 3. Amblesan (subsiden) pada lahan usaha tani padi (kiri) dan jeruk (kanan) di tanah gambut (tebal > 2 m)



1. Karakteristik Fisika Tanah Gambut

Karakteristik fisika tanah gambut meliputi ketebalan, kematangan, lapisan di bawahnya (*substratum*), berat isi (berat isi), porositas, kadar air, dan daya hantar hidrolis. Ketebalan gambut, kematangan, dan substratum di bawahnya sudah disinggung di atas. Karakteristik fisika tanah gambut, antara satu dengan lainnya saling berhubungan dan saling pengaruh, yang semuanya terkait dengan kadar bahan organik atau ketebalan gambutnya. Karakteristik fisika tanah gambut ini menjadi bahan pertimbangan utama dalam penilaian kesesuaian lahan (evaluasi lahan) untuk pertanian. Berikut dikemukakan tiga karakteristik penting fisika tanah gambut, yaitu (1) berat isi, (2) porositas, dan (3) kapasitas simpan air.

a. Berat Isi

Berat isi (*bulk density*, BV) gambut dataran rendah berkisar 0,1-0,3 g/cm³ jauh sangat rendah dibandingkan dengan tanah mineral (1,2-1,8 g/cm³). Berat isi gambut sangat bervariasi tergantung kematangannya. Misalnya, berat isi gambut fibrik < 0,1 g/cm³, gambut hemik berkisar 0,07-0,18 g/cm³, dan gambut saprik >0,2 g/cm³ (Notohadiprawiro, 1988; Andriess, 1988), sementara kerapatan jenis (*particle density*) gambut 1,4 g/cm³. Salampak (1999) melaporkan berat isi gambut di Kalimantan Tengah berdasarkan kematangannya sebagai berikut: gambut fibrik 0,07-0,09 g/cm³, gambut hemik 0,11-0,15 g/cm³, dan gambut saprik 0,19-0,22 g/cm³. Masganti (2003a) melaporkan bahwa berat isi gambut saprik dan fibrik dari Bereng Bengkel berturut-turut 0,22 dan 0,09 g/cm³. Berat isi gambut lapisan atas 0,10-0,15 g/cm³ lebih besar dibandingkan lapisan bawah berkisar 0,05-0,10 g/cm³ (Driessen and Rochimah, 1976). Berat isi gambut di Indonesia antara 0,07 sampai 0,27 g/cm³ (Nugroho dan Widodo, 2001). Maas *et al.* (2000) memperoleh berat isi gambut saprik sebesar 0,26 g/cm³ dan meningkat apabila lahan dibudidayakan secara intensif.

Berat isiyang rendah menunjukkan rendahnya kemampuan menumpu (*bearing capacity*) dari gambut, sehingga pengolahan tanah secara mekanis sulit dilakukan. Daya dukung gambut kayuan yang telah mengalami drainase hanya sekitar 0,21 kg/cm², sedangkan tanah mineral umumnya 0,48-0,56 kg/cm² (O'Brien and Wickens, 1975). Daya tumpu yang rendah menyebabkan tanaman tahunan maupun tanaman semusim rentan terhadap kerebahan (Widjaja-Adhi, 1997; Adimihardja *et al.*, 1998). Pengeringan dapat meningkatkan berat isi tanah gambut (Nugroho dan Widodo, 2001). Peningkatan daya tumpu terendah terjadi pada gambut fibrik, diikuti gambut hemik, dan tertinggi pada gambut saprik.

b. Porositas Tanah Gambut

Porositas tanah gambut umumnya relatif tinggi antara 70-95%. Hasil penelitian Nugroho dan Widodo (2001) menunjukkan porositas tanah gambut berkisar 83,62 sampai 95,13%. Porositas gambut mengalami penurunan jika dikeringkan secara terus-menerus. Besarnya penurunan nilai porositas gambut akibat pengeringan tergantung dari tingkat perombakan gambut. Gambut saprik mengalami penurunan paling tinggi, diikuti gambut hemik dan terendah pada gambut fibrik.

Perbedaan porositas tanah gambut menyebabkan perbedaan kemampuan menahan air. Porositas berkorelasi positif terhadap kedalaman atau tingkat kematangan gambut. Semakin tebal gambut, maka semakin tidak matang gambut, Semakin tidak matang gambut, maka semakin tinggi porositas dan semakin tinggi kemampuan menahan air (Nugroho dan Widodo, 2001; Masganti, 2003a). Hal ini disebabkan berat isi (BV) gambut mentah (fibrik) lebih rendah dibandingkan gambut saprik. Oleh karena porositas gambut berhubungan dengan tingkat kematangan, maka daya konduktivitas hidrolik secara horizontal lebih cepat atau lebih tinggi dibandingkan dengan daya konduktivitas hidrolik secara vertikal.

c. Kapasitas Simpan Air

Kapasitas simpan air dari tanah gambut antara 289 sampai 1.057%, tergantung pada tingkat kematangan (Andriess, 1988). Kelembaban gambut (*peat moisture*) Sumatera dan Kalimantan berkisar 301 sampai 705% (Atmawidjaja, 1988). Menurut Andriess (1988) dan Stevenson (1994) kemampuan gambut mengikat air dapat mencapai 20 kali berat keringnya, tetapi gambut bersifat menolak air jika *hidrofobik* (Masganti *et al.*, 2001; Masganti, 2005;2006). Misalnya, gambut saprik lebih rendah secara kuantitas dalam menyerap air, tetapi lebih kuat dalam menahan air dibandingkan gambut fibrik (Nugroho dan Widodo, 2001; Masganti, 2003a). Hal tersebut disebabkan karena gambut mentah (fibrik) mengandung gugus OH-fenolat yang lebih tinggi (Tan, 1994; Spark *et al.*,1997). Gugus OH-fenolat bersifat polar dan mempunyai kemampuan mengikat air yang besar (Valat *et al.*, 1991; Stevenson, 1994). Selain itu, gambut fibrik juga mengandung selulosa yang lebih tinggi dari gambut saprik (Masganti, 2003a). Selulosa adalah komponen organik yang bersifat *hidrofilik*, sehingga dapat mengikat air lebih besar.

Pengeringan, baik disebabkan oleh drainase yang berlebih maupun kebakaran menyebabkan gambut tidak dapat basah kembali (*hidrofobik*). Menurut Najiyati *et al.* (2008) gambut yang kering peka terhadap kebakaran, bobotnya ringan sehingga mudah diterbangkan angin, mengapung jika kondisinya tergenang, dan terbentuk *pseudosand* yang menyerupai tanah pasir, sehingga koloid gambut tidak/kurang berfungsi sebagai pemegang air.

Hidrofobik adalah suatu keadaan tanah memegang air dengan energi rendah atau permukaan tanah tidak dapat memegang air (Valat *et al.*, 1991; Sabiham, 2000). Adanya senyawa hidrokarbon aromatik yang menyelimuti koloid tanah gambut menyebabkan gaya tarik antara partikel-partikel/koloid tanah dengan molekul-molekul air menjadi berkurang. Pada keadaan *hidrofilik* dengan kandungan gugus OH-fenolat yang lebih tinggi, tanah gambut mempunyai kemampuan menyerap air yang tinggi, sehingga apabila dilakukan analisis dalam keadaan demikian menyebabkan kontak dengan larutan pengekstrak dapat berlangsung secara intensif. Kemampuan tersebut menjadi sangat berkurang apabila gambut menjadi hidrofobik akibat pemanasan (Masganti, 2005; 2006).

Ketidak mampuan bereaksi dengan air jika tanah menjadi *hidrofobik* merupakan masalah serius dalam analisis sifat kimia tanah. Kurang atau tidak bereaksinya larutan pengekstrak dengan bahan padatan gambut dapat menyebabkan nilai pengamatan terhadap sifat kimia tanah gambut tidak tepat (Masganti *et al.*, 2001). Gambut dianalisis dalam kondisi *hidrofobik* mempunyai nilai kadar P-tersedia dan daya hantar listrik (*electric conductivity*) lebih rendah, tetapi nilai pH-nya lebih tinggi dari gambut yang *hidrofilik*.

Hidrofobik dapat terjadi dalam proses preparasi tanah gambut. Oleh karena itu, untuk menjaga agar gambut tetap hidrofilik, disarankan (a) jika pengeringan dilakukan pada suhu kamar tidak lebih dari 60 jam untuk gambut saprik, dan tidak lebih dari 48 jam untuk gambut fibrik, (b) jika dipanaskan dalam oven bersuhu 50⁰C, sebaiknya kurang dari 450 menit untuk gambut saprik, dan maksimal 48 jam untuk gambut fibrik, dan (c) jika dikeringkan berdasarkan kadar air kapasitas lapang, sebaiknya tidak kurang dari 25% kapasitas lapang (Masganti *et al.*, 2001; Masganti, 2005; 2006).

2. Karakteristik Kimia Tanah Gambut

Tanah gambut umumnya memiliki tingkat kesuburan yang rendah ditandai dengan pH rendah (masam), ketersediaan sejumlah unsur hara makro (Ca, K, Mg, P) dan mikro (Cu, Zn, Mn, dan B) yang rendah, mengandung asam-asam organik yang beracun. Karakteristik kimia tanah gambut sangat bervariasi. Karakter kimia tanah gambut yang utama adalah (1) kemasaman tanah, (2) ketersediaan hara makro dan mikro, (3) kapasitas tukar kation, (4) kadar abu, (5) kadar asam organik, dan (6) kadar pirit.

a. Kemasaman Tanah Gambut

Salah satu sifat kimia gambut yang menjadi kendala untuk pemanfaatannya adalah tingkat kemasaman yang tinggi (Andriessse, 1988; Masganti *et al.*, 1994; Masganti, 2003a). Tingkat kemasaman yang tinggi antaranya disebabkan oleh kondisi drainase yang jelek dan hidrolisis asam-asam organik. Asam-asam organik tersebut biasanya didominasi oleh asam fulvat dan asam humat (Stevenson, 1994; Spark, 1995). Kondisi pH yang rendah ini

secara tidak langsung akan menghambat ketersediaan unsur-unsur hara makro seperti P, K, dan Ca, dan sejumlah unsur hara mikro (Masganti dan Fauziati, 1999; Masganti, 2003a). Untuk menjamin pertumbuhan tanaman padi di lahan gambut perlu dilakukan pengapuran (Masganti *et al.*, 1994; Masganti, 1995; Masganti *et al.*, 1998; Masganti dan Fauziati, 1999).

Kemasaman gambut berbeda menurut tingkat kematangannya (Salampak, 1999; Masganti, 2003a). Oleh karena itu, gambut yang lebih dalam mempunyai pH yang lebih rendah. Gambut yang mengalami perombakan lebih lanjut (matang) mempunyai pH nisbi tinggi. Gambut yang tersusun dari bahan gambut yang belum atau kurang matang, nisbi belum terurai dan mengandung asam-asam organik dengan konsentrasi yang lebih tinggi sehingga nisbi masam. Tanah gambut yang mengalami perombakan mengandung abu yang lebih banyak sebagai sumber basa-basa (Kurnain *et al.*, 2001; Masganti, 2003a).

b. Ketersediaan Hara Makro dan Mikro

Masalah hara pada tanah gambut utamanya adalah ketersediaan P dan daya simpan P yang rendah (Masganti, 2003a). Penyebab rendahnya daya simpan P pada tanah gambut adalah karena P diikat oleh senyawa-senyawa organik dengan kekuatan ikatan yang lemah. Ion P yang terikat pada tapak jerapan mudah terlepas dan terbawa air lindian (*leached*). Untuk memperkuat ikatan tersebut diperlukan kiat-kiat seperti menggunakan senyawa yang efektif menjerap P (Masganti *et al.*, 2002; 2003; Masganti, 2003b), penggunaan fosfat alam (Masganti, 2003b;2004a; 2004b), dan mengatur waktu pemberian amelioran dan pemupukan P (Masganti, 2003a; 2004c).

Adimihardja *et al.* (1998) melaporkan bahwa ketersediaan P dalam gambut di beberapa lokasi PLG Sejuta Hektar (Kalimantan Tengah) berkisar dari rendah hingga tinggi. Kadar P-tersedia dalam gambut Bereng Bengkel, Kalimantan Tengah tergolong sedang (Masganti, 2003a). Ketersediaan P dalam gambut ditentukan oleh tingkat dekomposisi gambut (Andriesse, 1988; Salampak, 1999; Masganti, 2003a). Gambut dengan tingkat kematangan saprik mempunyai kadar P-tersedia yang lebih tinggi diikuti oleh gambut khemik dan fibrik. Oleh karena itu, untuk mendukung pertumbuhan dan produktivitas tanaman padi diperlukan pemupukan P (Masganti dan Sudarmadji, 1996; Masganti, 1997; Masganti dan Fauziati, 1998).

Ketersediaan P dalam tanah gambut berbanding terbalik dengan kedalaman gambut. Semakin dalam tanah gambut, semakin rendah kadar P (Saragih, 1996; Salampak, 1999; Masganti, 2003a). Penurunan kadar P akibat penambahan kedalaman, disebabkan pada lapisan yang lebih dalam biasanya tanah gambut yang ditemui tingkat dekomposisinya lebih rendah, sehingga kadar P dalam tanah lebih rendah.

Kandungan N dalam tanah gambut sangat tinggi, akan tetapi seperti halnya dengan hara P, sebagian besar N berada dalam bentuk organik, sehingga agar dapat dimanfaatkan tanaman harus melalui proses mineralisasi (Stevenson, 1986; Andriesse 1988). Kisaran

kandungan N gambut yang terbentuk dari kayu/pohon adalah 0,3-4,0% (Andriessse, 1988), sedang Maas *et al.* (1997) melaporkan bahwa kadar N gambut dari Pangkoh adalah sebesar 0,75%. Selanjutnya Salampak (1999) dan Masganti (2003a) menegaskan bahwa kandungan N gambut bervariasi menurut tingkat kematangan. Gambut yang lebih matang mempunyai kandungan N yang lebih tinggi.

Selain ketersediaan P yang rendah, tanah gambut kahat (*deficiency*) K, Mg, dan Ca. Kejenuhan basa (Ca, Mg, K, Na) tanah gambut berkisar 5-10%, padahal secara umum kejenuhan basa yang baik agar tanaman dapat menyerap basa-basa dengan mudah adalah sekitar 30% (Soepardi dan Surowinoto, 1982). Kejenuhan basa tanah gambut di Kalimantan Tengah, rata-rata lebih kecil dari 10% (Salampak, 1999; Sitorus *et al.*, 1999; Masganti, 2003a).

Selain kahat hara makro, tanah gambut juga kahat hara mikro khususnya Cu dan Zn (Suryanto, 1988; Salampak, 1999). Hal ini disebabkan terbentuknya senyawa organik-metalik yang menyebabkan unsur mikro tidak atau kurang tersedia (Spark *et al.*, 1997). Pada tanah gambut yang mengalami perombakan lanjut, karboksilat dan fenolat merupakan gugus fungsional penting yang mengikat logam, dimana urutan pengikatannya adalah Cu>Pb>Zn> Ni>Co>Mn> (Saragih, 1996; Salampak, 1999). Kekahatan hara mikro disebabkan terbentuknya senyawa organo-metal yaitu ikatan fiksasi antara asam-asam organik dengan Cu, atau Zn, sehingga menjadi bentuk yang tidak tersedia bagi tanaman. Tingginya kadar asam fenolat pada tanah gambut menyebabkan kahat Cu (Sabiham *et al.*, 1997). Dilaporkan juga, tingginya produksi CO₂ yang membentuk senyawa bikarbonat dapat menyebabkan kahat Zn (Moormann and Bremenn, 1978). Ketersediaan hara Cu dan Zn yang rendah pada tanah gambut juga dapat disebabkan pH yang rendah. Widjaja-Adhi (1976) melaporkan hasil padi pada tanah gambut Riau memberikan respon yang baik dengan pemberian kapur, N, P, K, dan S. Pemberian hara mikro Cu pada tanah gambut menurunkan gabah hampa dan meningkatkan hasil padi (Ambak *et al.*, 1992).

Penelitian rumah kaca dengan menggunakan tanah lapisan 0-30 cm dari gambut dalam Rasau Jaya (Kalbar) menunjukkan respon tanaman (jagung) yang baik dengan pemberian N, K, dan Cu. Tanpa pemberian kapur dan Cu, hasil jagung cenderung menurun (Radjagukguk, 1982).

Gambar 4. Usaha petani menyuburkan lahan gambut dengan pemberian abu yang dibakar langsung di lahan (kiri) dan di luar lahan (kanan)



c. Kapasitas Tukar Kation

Kapasitas tukar kation (KTK) tanah gambut tergolong tinggi, tetapi kejenuhan basa (KB) rendah. KTK yang tinggi dan KB yang rendah menyebabkan pH rendah dan sejumlah pupuk yang diberikan ke dalam tanah relatif sulit diambil oleh tanaman. KTK tanah gambut berkisar dari <math><50</math> sampai lebih dari 100 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$. KTK pada tanah gambut yang tinggi, sementara kandungan kation basa yang rendah mengakibatkan nilai kejenuhan basa gambut rendah, seperti gambut Kalimantan dan ini dikategorikan sangat tinggi (Barchia, 2002). Nilai KTK ini sama dengan yang diungkapkan Salampak (1999) sebesar 174,34100 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$. Namun demikian, nilai KTK yang tinggi pada lahan gambut tidak menggambarkan bahwa kandungan kation-kation basa yang cukup (tinggi) karena pada dasarnya lahan gambut lebih didominasi oleh ion hidrogen (H^+). Nilai ukur KTK tanah gambut sangat dipengaruhi oleh pH larutan ekstraksi (NH_4 -asetat) karena gambut termasuk *variable charge* sehingga pengukuran dengan pH larutan 7 memberikan nilai bias dengan nilai lebih tinggi.

d. Kadar Abu

Abu sebagai penciri tingkat kesuburan gambut dilaporkan kadarnya dalam gambut sangat rendah (Salampak, 1999; Kurnain *et al.*, 2001; Masganti, 2003a). Kadar abu dalam gambut di Indonesia umumnya kurang dari 1%, kecuali pada tanah-tanah gambut yang mengalami kebakaran (Kurnain *et al.*, 2001) atau telah dibudidayakan secara intensif, kadar abu mencapai 2-4% (Adijaya *et al.*, 2001).

Laporan lain menunjukkan kadar abu tanah gambut dari Kalimantan antara 11 sampai 41% dan Sumatera antara 1 sampai 15% (Euroconsult, 1984). Kadar abu gambut rawa Lakkok dan Kamurang (Banten) pada lapisan atas masing-masing 45,1 dan 48,4%

lebih besar dari lapisan bawah masing-masing 37,4 dan 41,37% (Darmawidjaja, 1980) Semakin dalam atau tebal gambut, semakin tinggi kadar abunya (Salampak, 1999; Kurnain *et al.*, 2001; Masganti, 2003a). Kadar abu dari gambut dangkal (tebal >1 m) sekitar 5%, gambut tengahan sampai dalam (tebal 1-3 m) antara 11-12 %, dan gambut dalam (tebal >3 m) sekitar 15% (Suhardjo dan Widjaja-Adhi, 1976). Kadar abu juga berhubungan dengan kematangan dan kadar bahan organik gambut. Gambut mentah (fibrik) dengan kadar bahan organik 45,9% mempunyai kadar abu 3,09%, sedangkan gambut hemik dengan kadar bahan organik 51,7% mempunyai kadar abu 8,04%, dan gambut saprik dengan kadar bahan organik 78,95 mempunyai kadar abu 12,04% (Setiawan, 1991). Semakin tinggi mineral yang terkandung pada tanah gambut, semakin tinggi kadar abu. Kadar abu gambut oligotrofik sekitar 2%, gambut mesotrofik antara 2-7%, dan gambut eutrofik (kadar mineral tinggi) > 14% (Widjaja-Adhi, 1986).

e. Kadar Asam Organik

Dalam proses perombakan (humifikasi) dihasilkan asam humat dan fulvat. Asam humat memberikan warna lebih gelap, sedang fulvat memberikan warna lebih terang pada larutan yang dihasilkan. Asam humat mempunyai kadar N lebih besar dua kali dari fulvat, tetapi kemasaman total dari asam fulvat lebih tinggi dua kali dari asam humat (Tan, 1997). Asam humat lebih banyak ditemukan pada lahan yang jelek tata air, sebaliknya asam fulvat banyak ditemukan pada lahan gambut yang mengalami drainase dan tata udaranya sudah baik (Hardjowigeno, 1991).

Asam humat mengandung senyawa aromatik lebih banyak daripada asam fulvat, sedangkan asam fulvat mengandung senyawa alifatik lebih banyak daripada asam humat (Tan, Tan, 1997). Asam humat (aromatik) dicirikan oleh gugus fungsi OH-fenolat yang tinggi sedang fulvat (alifatik) dicirikan jumlah gugus fungsi COOH yang tinggi (Barchia, 2006). Bahan gambut yang tinggi kadar ligninnya relatif banyak mengandung asam humat dibandingkan dengan bahan gambut yang selulosanya tinggi (Barchia, 2006). Kadar lignin dari gambut tropika Indonesia cukup tinggi antara 64-74%, sedangkan selulosa dan hemiselulosa sekitar 6% dari bahan kering (Polak, 1975 *dalam* Barchia, 2006).

Asam-asam alifatik juga menghasilkan asam-asam fenolat yang bersifat racun yang menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat. Jenis asam fenolat yang dijumpai dalam tanah adalah asam vanilat, p-kumarat, p-kumarat benzonat, salisilat, galat, gentisat, dan asam syringat (Tsutsuki, 1984 *dalam* Hartatik *et al.*, 2011). Asam-asam fenolat ini selain menghambat perkembangan akar juga penyediaan hara di dalam tanah (Hartatik *et al.*, 2011). Pengaruh asam-asam fenolat terhadap tanaman budidaya antara lain: (1) pada kadar 250 μM menurunkan secara nyata serapan kalium pada barley; (2) pada kadar 500-1.000 μM menurunkan serapan fosfor pada tanam kedelai; (3) pada kadar 0,6-3,0 μM dapat menghambat pertumbuhan akar padi sampai 50%, (4) pada kadar 0,001-0,1 μM dapat mengganggu pertumbuhan beberapa tanaman (Takijima, 1960 *dalam* Hartatik *et al.*,

2012). Menurut Wang *et al.* (1967) dalam Hartatik *et al.* (2011) pada konsentrasi antara 7-70 μM p-hidroksibenzoat dapat menekan tanam jagung, gandum, kacang-kacangan, sedang pada konsentrasi > 180-360 μM dapat mengganggu pertumbuhan akar tebu.

f. Kadar Pirit

Sebagian lahan gambut mempunyai substratum liat marin, sehingga mempunyai risiko apabila terjadi ekspose atau kekeringan yang mengakibatkan meningkatnya kemasaman dan pelarutan ion-ion logam yang meracun, seperti Fe^{2+} , Mn^{2+} . Peningkatan kemasaman (pH turun) pada tanah gambut selain karena perombakan bahan organik menjadi asam organik juga terjadi karena oksidasi terhadap pirit (FeS_2). Pirit sebagai endapan marin apabila teroksidasi akan menghasilkan ion H^+ secara berlebihan sehingga pH dapat turun menjadi 2,0-3,0 akibatnya tidak ada tanaman yang tumbuh baik, kecuali yang tahan seperti nanas, tahan pada pH 3,0 (Noor, 2001).

Asam sulfida (H_2S) atau asam sulfat (H_2SO_4) yang dihasilkan dari oksidasi pirit selain menghambat pertumbuhan tanaman juga dapat menyebabkan karat pada alat-alat pertanian dari logam seperti cangkul, pintu air, traktor sehingga cepat rusak.

Tabel 1 menyajikan karakteristik kimia tanah gambut berdasarkan tingkat kesuburan (ombrogen dan topogen) dan Tabel 2 menyajikan karakteristik kimia tanah gambut berdasarkan kedalaman gambut.

Tabel 1. Karakteristik kimia gambut ombrogen dan topogen di Indonesia

Karakteristik	Ombrogen		Topogen air tawar	
	Oligotrofik	Oligo-mesotrofik	Mesotrofik	Eutrofik
Kadar abu (%)	< 2	2-7,5	5-10	>10
Bobot isi/BD (g/cm^3)	0,2	0,15	0,2	0,3
C/N	50-85	20-80	25-55	15-35
pH- H_2O	3,5-4,5	3,5-4,5	3,5-4,8	4,0-6,0
P_2O_5 (kg/ha per 0,2 m)				
- Terekstrak HCl 25%	80	45-300	160-600	360-1.200
- Terekstrak asam sitrat 2%	20	15-150	20-200	30-300
K_2O (kg/ha per 0,2 m)				
- Terekstrak HCl 25%	60	60-240	120-330	130-720
- Terekstrak asam sitrat 2%	40	30-120	60-200	90-300
KTK tanah ($\text{cmol}(+)/\text{kg}$)	160-240	140-200	120-180	60-140
Kejenuhan basa (%)	2-11	4-11	7-20	7-30

Sumber: Driessen dan Sudjadi (1984)

Tabel 2. Karakteristik kimia tanah bergambut dan gambut pada lahan pasang surut

Keterangan	Pulau	Bergambut		Gambut dangkal		Gambut sedang		Gambut dalam		Gambut sangat dalam	
		Lap. atas	Lap. bwh	Lap. atas	Lap. bwh	Lap. atas	Lap. bwh	Lap. atas	Lap. bwh	Lap. atas	Lap. bwh
Jumlah profil	Sum Kal	66 23		49 56		56 35		25 9		12 19	
Tekstur	Sum Kal	SiC	SiC, hC- SiC, hC	C hC		SiC hC		SiC hC		- -	
pH H ₂ O (1:5)	Sum Kal	3,9 3,9	3,8 3,8	4,1 3,8	4,0 3,8	4,0 4,0	3,8 3,6	3,6 3,6	3,7 3,6	3,6 3,2	3,4 3,4
Daya Hantar Listrik (dS/m)	Sum Kal	0,3 sr 0,1 sr	2,0 sr 0,6 sr	0,4 sr	1,3 sr 0,8 sr	0,5 sr 1,1 sr	1,6 sr 0,8 sr	0,2 sr -	0,5 sr -	0,2sr -	0,8 sr -
Karbon organik (%)	Sum Kal	34,17 25,03	5,71 7,87	41,98 38,86	29,87 28,70	47,20 36,28	32,57 31,36	56,98 45,39	53,09 35,15	56,39 55,49	44,70 47,23
Nitrogen (%)	Sum Kal	0,98 1,09	0,11 0,21	1,50 1,34	1,21 0,74	1,78 1,46	1,10 0,72	1,94 1,54	1,40 0,95	2,02 1,43	1,16 1,06
Rasio C/N	Sum Kal	31 st 25 t	25 t 32 st	31 st 31 st	30 st 40 st	28 st 29 st	37 st 46 st	30 st 31 st	41 st 41 st	29 st 45 st	40 st 48 st
P ₂ O ₅ -HCl (mg/100 g tnh)	Sum Kal	38 sd 94 st	8 sr 24 sd	50 t 46 t	16 r 31 sd	42 t 58 t	15 r 16 r	65 st 49 t	20 r 34 sd	41 t 22 sd	9 sr 23 sd
K ₂ O-HCl (mg/100 g tnh)	Sum Kal	27 sd 15 r	29 sd 17 r	33 sd 19 r	16 r 14 r	21 sd 24 sd	19 r 14 r	59 t 41 t	33 sd 21 sd	54 r 19 r	26 sd 12 r
P ₂ O ₅ -Bray I (ppm)	Sum Kal	38,8 65,1	13,4 13,2	19,4 71,8	17,9 30,7	13,2 32,3	23,4 18,6	11,2 57,5	5,3 41,5	- 34,3	- 25,9
Jumlah basa (cmol(+)/kg)	Sum Kal	23,9 6,9	17,7 8,5	29,7 9,0	21,8 8,1	51,5 7,8	39,8 5,5	22,7 4,4	21,7 4,4	14,8 3,4	9,0 4,1
Ca-dapat tukar (cmol(+)/kg)	Sum Kal	9,20 2,79	6,13 2,08	12,03 3,70	7,20 2,46	15,38 5,18	12,23 2,22	4,79 2,06	6,05 1,46	8,09 1,07	2,24 1,71
Mg-dapat tukar (cmol(+)/kg)	Sum Kal	11,70 3,60	8,83 5,74	14,21 3,73	11,64 4,26	25,60 2,10	16,36 2,70	7,19 1,86	7,87 2,37	4,66 1,86	5,34 1,87
K-dapat tukar (cmol(+)/kg)	Sum Kal	0,48 0,20	0,41 0,18	0,76 0,61	0,60 0,28	0,92 0,25	0,87 0,16	1,16 0,21	0,68 0,20	1,24 0,26	0,47 0,15
Na-dapat tukar (cmol(+)/kg)	Sum Kal	2,40 0,33	2,60 0,58	2,68 0,94	2,46 1,13	5,99 0,26	7,80 0,42	1,97 0,24	3,28 0,32	1,79 0,19	0,90 0,41
KTK-pH 7 (cmol(+)/kg)	Sum Kal	88,1 65,0	32,2 34,5	100,7 91,2	72,9 84,5	120,4 78,8	84,4 73,2	115,5 104,1	123,9 73,6	128,9 121,5	134,2 113,2
Kejenuhan basa (%)	Sum Kal	36 sd 24 sr	54 sd 25 r	37 sd 15 sr	40 sd 12 sr	43 sd 14 sr	57 sd 11 sr	15 sr 5 sr	18 sr 21 r	10 sr 3 sr	15 sr 5 sr
Kejenuhan Al (%)	Sum Kal	30 r 69 t	37 r 66 t	23 r 60 sd	33 r 73 r	7 sr 45 sd	14 sr 68 t	10 sr 59 sd	22 r 56 sd	- -	- -
Pirit (%)	Sum Kal	0,46 0,33	1,87 0,76	1,20 -	0,93 -	0,64 -	0,89 -	0,26 -	1,07 -	0,27 -	0,60 -

Sumber: Subagyo (2006)

Keterangan: Tekstur, pH H₂O, dan masing-masing kandungan sifat/hara dihitung berdasarkan rata-rata dari semua profil yang dievaluasi; Tekstur: SiC = liat berdebu, C = liat, hC = liat berat (*heavy clay*); pH H₂O: me = masam ekstrim (pH: 3,5 atau kurang), sms = sangat masam sekali (pH: 3,5-4,5); Kandungan sifat/hara sr = sangat rendah, r = rendah, sd = sedang, t = tinggi, st = sangat tinggi, dan sts = sangat tinggi sekali (> 100); Lokasi: Sum = Sumatera, Kal = Kalimantan

g. Cadangan Karbon

Cadangan karbon gambut merupakan salah satu sifat kimia tanah gambut, namun karena keberadaan karbon dan bahan organik yang merupakan isu lokal dan isu global, maka topik ini dibahas secara khusus. Berdasarkan analisis 1.823 contoh tanah gambut dari Sumatera dan Kalimantan ditemukan bahwa kerapatan karbon berkisar antara $0,046 \pm 0,025 \text{ t/m}^3$ pada gambut berkematangan fibrik; $0,057 \pm 0,026 \text{ t/m}^3$ pada gambut hemik dan $0,082 \pm 0,035 \text{ t/m}^3$ pada gambut berkematangan saprik, dengan rata-rata keseluruhan sekitar $0,06 \text{ t/m}^3$ (Agus *et al.*, 2011). Diketahui bahwa ketebalan lahan gambut Indonesia berkisar antara 0,5 sampai >10 m (Agus dan Subiksa, 2008) sehingga cadangan atau simpanan karbon (*carbon stock*) dapat berkisar antara 300 sampai >6.000 t/ha.

Kerapatan karbon tersebut lebih banyak ditentukan oleh variasi berat isi (berat isi). Gambut berkematangan fibrik mempunyai berat isi yang relatif rendah ($0,09 \pm 0,06 \text{ t/m}^3$) sedangkan gambut berkematangan saprik mempunyai berat isi relatif tinggi ($0,17 \pm 0,06 \text{ t/m}^3$). Kadar karbon organik (C_{org}) tidak banyak bervariasi antar berbagai kelas kematangan dari $53,6 \pm 6,5\%$ pada gambut fibrik sampai $48,9 \pm 8,9$ pada gambut berkematangan saprik (Agus *et al.* 2011) sehingga tidak banyak menentukan variasi kerapatan dan cadangan karbon. Untuk dapat digolongkan sebagai tanah gambut (Histosols) kandungan C_{org} minimal 12% dan ketebalan gambutnya minimal 0,5 m. Pada gambut berkematangan fibrik C_{org} bisa mencapai nilai 60% (Soil Survey Staff, 2003).

Kandungan dan kerapatan karbon yang tinggi ini pada umumnya berada dalam bentuk organik. Kandungan bahan organik tanah gambut berkisar antara 30 sampai mendekati 100%. Bahan organik yang dikandung gambut berada dalam keadaan tidak stabil apabila lingkungan gambut diganggu. Dalam keadaan alami lahan gambut berada dalam keadaan jenuh air (Agus dan Subiksa 2008), namun apabila lahan gambut didrainase untuk berbagai penggunaan pembangunan, maka karbon yang tersimpan di dalamnya akan mudah teremis menjadi CO_2 ; gas rumah kaca terpenting (Agus *et al.* 2012; 2013a; 2013b). Selain kehilangan karbon, lahan gambut yang didrainase juga akan kehilangan fungsi sebagai pengatur tata air lahan di sekitarnya. Aspek lingkungan dari pengelolaan lahan gambut diuraikan dalam Ai Dariah dan Maswar buku ini.

3. Karakteristik Biologi Tanah Gambut

Mikroorganisme yang ditemui di tanah gambut terdiri atas kelompok (1) perombak awal seperti golongan jamur dan bakteri baik bersifat aerob maupun anaerob, (2) perkembangan atau penebalan gambut seperti jamur atau bakteri yang bersifat anaerob, dan (3) perombakan lanjut setelah lahan terdrainase seperti golongan jamur, bakteri aerob. Yanti (2001) melaporkan bahwa terdapat delapan isolat jamur dan enam isolat khamir yang telah diisolasi dari gambut Pangkoh, Kalimantan Tengah. Peneliti lain, Agustina *et al.* (2001) melaporkan bahwa pada gambut Bereng Bengkel, Kalimantan Tengah telah

diisolasi tiga spesies mikoriza *vesicular-arbuskula* (MVA), yakni *Gigaspora* sp., *Glomus* sp., dan *Acaulospora* sp. Penemuan tersebut merupakan langkah awal dalam pengembangan pupuk hayati untuk meningkatkan produktivitas gambut.

Kemampuan mikroorganisme pelarut P mempengaruhi penyediaan P dalam gambut diantaranya ditentukan oleh populasi mikroorganisme (Tan, 1994; Agustina *et al.*, 2001). Populasi organisme pelarut fosfat pada gambut dari Pangkoh hanya 10.000 sel per gram gambut (Setyaningsih, 2000), bahkan Agustina *et al.* (2001) mendapatkan angka yang lebih kecil untuk ketiga spesies mikroorganisme pelarut fosfat dari gambut Bereng Bengkel, yakni rata-rata hanya 58 spora per 100 gram gambut. Padahal agar ketersediaan dan serapan P oleh tanaman jagung maksimal, tanah harus diinokulasi dengan jamur *Aspergillus niger* menggunakan konsentrasi 10^6 sel per gram tanah.

Beberapa peneliti melaporkan bahwa populasi mikroorganisme dalam gambut akan meningkat jika dilakukan pengapuran (Sulakhuudin, 2002). Akan tetapi pengapuran tidak menyebabkan pemanfaatan P-organik oleh mikroorganisme gambut meningkat secara signifikan (Rahayu, 2003).

D. Penutup

Gambut tropika terbentuk dalam keadaan hutan alam karena proses penimbunan bahan organik dari sisa tumbuhan setempat berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan proses dekomposisi. Laju pembentukan tanah gambut tropika sangat lambat dan dipengaruhi oleh sumber dan jumlah air, kandungan mineral yang ada di dalam air, iklim, dan vegetasi yang berada di atasnya. Drainase lahan gambut yang merubah suasana alamiah anaerob menjadi aerob menyebabkan penciutan atau ambles (subsiden) karena proses dekomposisi berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan penimbunan sisa tumbuhan. Drainase bahkan menyebabkan terjadinya penciutan massa gambut yang kaya karbon sehingga lahan gambut berubah fungsi dari *carbon sink*” atau penyerap karbon menjadi *carbon source*” atau sumber emisi karbon dioksida (CO₂).

Tanah gambut mempunyai karakteristik yang khas, antara lain yaitu mudah mengalami kering tak balik dan mudah mengalami amblesan (subsiden) dalam keadaan aerobik. Dengan mempertahankan muka air tanah sedangkal mungkin sesuai kebutuhan tanaman, kekeringan, pemadatan dan amblesan pada tanah gambut dapat diminimalkan.

Karakteristik fisika tanah gambut yang utama antara lain berat isi (berat isi) dan daya dukung terhadap beban (*bearing capacity*) yang sangat rendah, porositas dan kapasitas simpan air yang sangat tinggi serta kandungan air yang sangat tinggi dalam keadaan alami. Karakteristik kimia tanah gambut yang utama antara lain pH tanah yang sangat rendah atau kemasaman tanah yang tinggi, ketersediaan hara makro dan mikro yang rendah, kadar abu yang sangat rendah, adanya potensi pemasaman dalam keadaan teroksidasi bila mengandung pirit, dan kadar asam organik yang tinggi. Karakteristik biologi tanah gambut antara lain ditemukannya beberapa jamur penambat N dan bakteri

pelarut P di lahan gambut yang respon dengan pemberian kapur dan fosfat. Hal ini memberi peluang untuk peningkatan produktivitas lahan gambut secara hayati.

Terkait dengan karakteristik tanah gambut dengan kesuburan alaminya yang rendah, maka investasi untuk meningkatkan kesuburan dan menjaga keberlanjutan usaha pertanian di lahan gambut menjadi tinggi. Nilai investasi di lahan gambut meningkat dengan semakin tebal dan tidak matangnya gambut. Di lain sisi, gambut sebagai penyimpan karbon dan penjaga kestabilan ekosistem di sekelilingnya semakin penting dengan semakin tebalnya gambut. Dengan demikian usaha pertanian tidak direkomendasikan pada gambut dengan ketebalan lebih dari tiga meter, sekalipun hal ini masih menjadi perdebatan. Usaha pertanian di lahan gambut memerlukan pengelolaan yang baik, khususnya dalam pengelolaan dan konservasi air.

Daftar Pustaka

- Agus, F. dan I G.M. Subiksa. 2008. Lahan Gambut: Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan. Booklet. Balai Penelitian Tanah (Ind. Soil Res. Inst.) and World Agroforestry Centre (ICRAF) SE Asia, Bogor, Indonesia.
- Agus, F., K. Hairiah, and A. Mulyani. 2011. Measuring Carbon Stock in Peat Soil: Practical Guidelines. World Agroforestry Centre-ICRAF SEA Regional Office and Indonesian Cent.for Agric. Land Resourc. Res. and Dev., Bogor, Indonesia. 60 P.
- Agus, F., Wahyunto, A. Dariah, E. Runtunuwu, E. Susanti and W. Supriatna. 2012. Emission Reduction Options for Peatland in Kubu Raya and Pontianak Districts, West Kalimantan, Indonesia. *Jour. of Oil Palm Res.* 24:1378-1387.
- Agus, F, I.E. Henson, B.H. Sahardjo, N. Harris, M. van Noordwijk, and T.J. Killeen. 2013a. Review of emission factors for assessment of CO₂ emission from land use change to oil palm in Southeast Asia. Roundtable on Sustainable Palm Oil, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Agus, F., P. Gunarso, B.H. Sahardjo, N. Harris, M. van Noordwijk, and T.J. Killeen. 2013b. Historical CO₂ emissions from land use and land cover change from the oil palm industry in Indonesia, Malaysia and Papua New Guinea. Roundtable on Sustainable Palm Oil, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Adijaya, J.O. Rieley, T. Artiningsih, Y. Sulistiyanto, and Y. Jagau. 2001. Utilization of deep tropical peatland for agriculture in Central Kalimantan, Indonesia. Pp 125-131. *In* Rieley, J. O., and S.E. Page (Eds.). Jakarta Symp. Proc. on Peatlands for People: Nat. Res. Func. and Sustain. Manag.
- Adimihardja, A., K. Sudarman, dan D.A. Suriadikarta. 1998. Pengembangan lahan pasang surut: keberhasilan dan kegagalan ditinjau dari aspek fisika kimia lahan pasang surut. Hlm 1-10. *Dalam* M. Sabran *et al.* (Eds.). Pros. Semnas Hasil Penelitian Menuju Akselerasi Pengembangan Lahan Pasang Surut. Balittra. Banjarbaru.
- Agustina, S.E.R., B.M. Rahmawati, dan Sustiyah. 2001. Inventarisasi mikoriza vesicular arbuskula (MVA) pada tanah gambut Kalimantan Tengah. *J. Agri Peat* 2(2):46-52.
- Ambak, K., A.B. Zahari, and T. Tadano. 1992. Effect micronutrient application on the growth cop plants on the occutence of crop sterilly in Malaysia peat soils. Pp 7-16. *In*

- B.Y. Aminuddin (ed.). Tropical Peat. Proc of the Int. Symp on Tropics Petaland, Kuching,, Sarawak, Malaysia.
- Andriesse, J.P. 1988. Nature and Management of Tropical Peat Soils. Soil Resources, Management & Conservation Cervice. FAO Land and Water Development Division. FAO, Rome. P 165.
- Atmawidjaja, R. 1988. Pengelolaan lahan gambut di Indonesia dan gatra konservasi dan lingkungan. Makalah Seminar Nasional Gambut I HGI, 9-10 September 1988, Yogyakarta.
- Balitbangtan. 2011. Pedoman Umum Adaptasi Perubahan Iklim Sektor Pertanian. Bogor. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementan. Hlm 1-67.
- Barchia, M.F. 2002. Emisi Karbon dan Produktivitas Tanah pada Lahan Gambut yang Diperkaya Bahan Mineral Berakdar Besi Tinggi pada Sistem Olah Tanah yang Berbeda. Disertasi. Fakultas Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Barchia, M.F. 2006. Gambut: Agroekosistem dan Transformasi Karbon. UGM Press. Yogyakarta. Hlm 196.
- Blackwelder, B.W., O.H. Pilkey, and J.D. Howard. 1979. Late Wisconsinan sea level on the S.E.U.S. Atlantics Shelf Based on plce shoreline Indicator. Sience 206: 618-620.
- Darmawijaya, I. 1980. Klasifikasi Tanah : Dasar Teori bagi Peneliti Tanah dan Pelaksana Pertanian di Indonesia, Hlm 196-202. Balai Penelitian Teh dan Kina Gambung. Bandung.
- Diemont, W.H and L.J. Pons. 1991. A preliminary note on peat formation and gleying in the Mahakam in land floodplain, East Kalimantan, Indonesia. Pp 74-80. In B.Y. Aminuddin (ed.). Tropical Peat. Proc of the int. Symp on Tropics Petaland, Kuching, Sarawak, Malaysia.
- Driessen, P.M. and M. Sudjadi. 1984. Soils and specific soil problems of tidal swamp. Pp 143-161. In Workshop on Research Priorities in Tidal Swamp Rice. IRR, Philippines.
- Driessen, P.M. and L. Rochimah. 1976. The physical properties of lowland peat of Kalimantan. In Proc. Peat and Podzolic Soil and Their Potential for Agriculture in Indonesia. Soils Res. Ins. Bogor. ATA 106. Bull. 3:11-19.
- Euroconsult. 1984. Preliminary Assessment of Peat Development Potensial. Final Report. Republic of Indonesia Ministry of Mine and Energy-Kingdom of the Netherlands-Ministry of Foreign Affairs Development Co-operation (Asia) Departement.
- Hardjowigeno, S. 1997. Pemanfaatan gambut berwawasan lingkungan. Alami 2(1):3-6.
- Hartatik, W, I G.M. Subiksa, dan Ai Dariah. 2011. Sifat kimia dan fisika lahan gambut. Hlm. 45-56. *Dalam* Neneng L. Nurida, A. Mulyani, dan F. Agus (Eds.). Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan. Balai Penelitian Tanah. Bogor.
- Karama, A.S. dan D.A. Suriadikarta. 1998. Tantangan pemanfaatan tanah gambut untuk pertanian. Hlm 18-29. *Dalam* H. Hadisuparto *et al.* (Eds.) Pros. Semnas Gambut III. HGI-UTP-Pemda Kalbar-BPPT Pontianak.
- Kurnain, A., T. Notohadikusumo, B. Radjagukguk, and Sri Hastuti. 2001. The state of decomposition of tropical peat soil under cultivated and fire damage peatland. Pp.

- 168-178. *In* Rieley, and Page (*Eds.*). Jakarta Symp. Proc. on Peatlands for People: Nat. Res. Funct. and Sustain. Manag.
- Lucas, R.E. 1982. Organic Soils (Histosol), formation, physical and chemical properties and management for crop production. Res. Report. 435 Farm Science, June 1982. P 77.
- Maas, A. 2012. Peluang dan konsekuensi pemanfaatan lahan gambut masa mendatang. Kata Pengantar. Hlm. xvii-xxiii. *Dalam* M. Noor *et al.* (*Eds.*). Lahan Gambut : Pemanfaatan dan Pengembangannya untuk Pertanian. Kanisius. Yogyakarta.
- Maas, A., R. Sutanto, A. Supriyo, dan Hairunsyah. 1997. Perbaikan kualitas gambut tebal, dampaknya pada pertumbuhan dan produksi padi sawah. Laporan Hasil Penelitian. Lemlit UGM Bekerjasama dengan Agric. Res. Manag. Project. Hlm 25.
- Maas, A., S. Kabirun, dan H.U. Sri Nuryani. 2000. Laju dekomposisi gambut dan dampaknya pada status hara pada berbagai tingkat pelindian. *J. Ilmu Tanah dan Lingkungan* 2(1):23-32.
- Masganti, M. Noor, dan M. Sarwani. 1994. Pemberian kapur dan fosfat pada tanaman padi di lahan pasang surut gambut. Hlm. 67-74. *Dalam* Ar-Riza *et al.* (*Eds.*). Pros. Semnas Budidaya Padi Lahan Pasang Surut dan Lebak. Balittan Banjarbaru. Banjarbaru.
- Masganti. 1995. Pemanfaatan residu P dan pengapuran pada pertanaman kedua dalam budidaya padi di lahan gambut. *Wawasan* 3(1):14-22.
- Masganti dan Sudarmaji. 1996. Pemanfaatan residu kapur dan pemupukan P pada pertanaman ketiga dalam budidaya padi di lahan gambut. *Wawasan* 4(1):16-24.
- Masganti. 1997. Pemanfaatan residu kapur dan pemupukan P pada pertanaman kedua dalam budidaya padi di lahan gambut. *Wawasan* 5(2):1-9.
- Masganti dan N. Fauziati. 1998. Pemupukan N, P, dan K pada padi di lahan gambut. Hlm. 257-262. *Dalam* Sabran *et al.* (*Eds.*). Pros. Semnas Hasil Penelitian Menunjang Akselerasi Pengembangan Lahan Pasang Surut. Balitbangtan, Puslitbangtan, Balittra. Banjarbaru.
- Masganti, Z. Arifin, dan K. Anwar. 1998. Pengapuran dan pemupukan kalium pada tanaman padi di lahan gambut. *Kalimantan Scientiae* 50:49-57.
- Masganti dan N. Fauziati. 1999. Metode pengapuran tanaman padi di lahan gambut. *Kalimantan Scientiae* 53:51-58.
- Masganti., T. Notohadikusumo, A. Maas, and B. Radjaguguk. 2001. Hydrophobic and its impact on chemical properties of peat. Pp 109-113. *In* Rieley, and Page (*Eds.*). Jakarta Symp. Proc. on Peatlands for People: Nat. Res. Funct. and Sustain. Manag.
- Masganti, T. Notohadikusumo, A. Maas, dan B. Radjaguguk. 2002. Efektivitas pemupukan P pada tanah gambut. *J. Ilmu Tanah dan Lingkungan* 3(2):38-48.
- Masganti. 2003a. Kajian Upaya Meningkatkan Daya Penyediaan Fosfat dalam Gambut Oligotrofik. Disertasi. Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta. Hlm 355.
- Masganti. 2003b. Pengaruh macam senyawa penjerap, dan sumber pupuk P terhadap daya penyimpanan hara bahan gambut saprik. *J. Tanah dan Air* 4(2):100-107.

- Masganti, T. Notohadikusumo, A. Maas, dan B. Radjagukguk. 2003. Pengaruh macam senyawa penjerap fosfat, dan sumber pupuk P terhadap daya penyediaan fosfat bahan gambut. *J. Tanah dan Iklim* 21:7-15.
- Masganti. 2004a. Pengaruh waktu pemupukan P dan pemberian amelioran, formulasi amelioran dan sumber pupuk P terhadap daya penyimpanan P bahan gambut. *J. AgriPeat* 5(2):76-85.
- Masganti. 2004b. Pengaruh macam senyawa penjerap P dan sumber pupuk P terhadap daya penyediaan hara bahan gambut. Hlm. 347-358. *Dalam Ar-Riza et al. (Eds.). Pros. Semnas. Inovasi Teknologi Pengelolaan Sumberdaya Lahan Rawa dan Pencemaran Lingkungan*. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.
- Masganti. 2004c. Metode ameliorasi untuk memperbaiki pertumbuhan tanaman jagung di lahan gambut. *Ziraah* 10(2):58-68.
- Masganti. 2005. Hidrofobisitas dan hasil analisis sifat kimia bahan gambut. *J. Tanah dan Air* 6(2):69-74.
- Masganti. 2006. Sample preparation and hydrophobic of peat material. *Tropical Peatlands* 6(6):10-14.
- Moormann, F.R. and N.V. Breemen. 1978. Rice, Soil, Water & Land. IRRI. Philipines. P 781-799.
- Mutalib, A.A., M.H. Lim, J.S. Wong, and L. Konnvai. 1992. Characterization, distribution, and utilization of peat in Malaysia. Pp 7-16. *In B.Y. Aminuddin (ed.). Tropical Peat. Proc of the int. Symp on Tropics Peatland, Kuching,, Sarawak, Malaysia*.
- Najiyati, S., L. Muslihat, dan I.N.N. Suryadiputra. 2008. Panduan Pengelolaan Lahan Gambut untuk Pertanian Berkelanjutan. Proyek Climate Change, Forest, and Peatlands in Indonesia. Wetlands International-Indonesia Programe dan Wildlife Habitat Canada. Bogor, Indonesia.
- Neuzil, S.G. 1997. Onset and rate of peat and carbon accumulation in four domed ombrogenous peat deposits, Indonesia. *In Rieley, J.O. and S.E. Page (Eds.). Biodiversity and Sustainability of Tropical Peatlands*.
- Noor, M. 2001. Pertanian Lahan Gambut: Potensi dan Kendala. Kanisius. Yogyakarta. 174 hal.
- _____. 2010. Lahan Gambut : Pengembangan, Konservasi dan Perubahan Iklim. GMU Press. Yogyakarta. 212 hal.
- Notohadiprawiro, T. 1979. Tanah Estuarin: Watak, Sifat, Kelakuan dan Kesuburannya. Dep. Ilmu Tanah, Fak. Pertanian Univ. Gadjah Mada. Yogyakarta. 106 hal.
- _____, 1988. Penciri Gambut di Indonesia untuk Inventarisasi. Bahan Kongres I HGI dan Sem. Nas. Gambut I. Yogyakarta, 9-10 September 1988. 18 hal.
- Notohadiprawiro, T. 1996. Constraints to achieving the agricultural potential of tropical peatlands an Indonesia prespective. Pp 139-154. *In Maltby et al. (Eds.). Tropical Lowland Peatlands of Southeast Asia*.
- Nugroho, K. and B. Widodo. 2001. The effect of dry-wet condition to peat soil physical characteristic of different degree of decomposition. Pp. 94-102. *Dalam Rieley, dan*

- Page (Eds.). Jakarta Symp. Proc, on Peatlands for People: Nat. Res. Funct. and Sustain. Manag.
- O'Brien, D. and R. Wickens, 1975. Mechanization an peat in Horticulture. Pp 87-96 *Dalam* Robinson D.W. and J.G.D. Lamb (Eds). Academic Pres. New York.
- Radjaguguk, B. 1982. The response of corn (*Zea mays*. L) to the application several mineral nutrient and to liming on a peat soil from West Kalimantan. Pp 504-509. *Dalam* A. Scaife (Ed.). Proc. 9th Int. Nutr. Coll. Vol. 2: England.
- _____ 1997. Pertanian berkelanjutan di lahan gambut. *Alami* 2(1):17-20.
- Rahayu. 2003. Pengaruh Paraquat terhadap Mineralisasi Nitrogen, Fosfor, dan Sulfur Bahan Gambut Pangkoh, Kalteng. Tesis. Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta. 119 halaman.
- Rieley, J.O. and B. Setiadi. 1997. Role of tropical peatlands in global carbon balance: preliminary finding from the peats of Central Kalimantan, Indonesia. *Alami* 2(1):52-56.
- Sabiham, S., S. Dohong, and T. Prasetyo. 1997. Phenolic Acids in Indonesia Peat. Pp. 289-292. *In* Rieley, dan Page (Eds.). Biodiversity and Sustainability of Tropical Peatlands. Smith Settle. UK.
- Sabiham, S. 2000. Kadar Air Kritis Gambut Kalimantan Tengah dalam kaitannya dengan kering tidak balik. *J. Tanah Trop.* 6(11):21-30.
- Salampak. 1999. Peningkatan Produktivitas Tanah Gambut yang Disawahkan dengan Pemberian Bahan Amelioran Tanah Mineral Berkadar Besi Tinggi. Disertasi. Program Pascasarjana IPB. Bogor. 171 hal.
- Saragih, E.S. 1996. Pengendalian Asam-asam Fenolat Meracun dengan Penambahan Fe (III) pada Tanah Gambut dari Jambi, Sumatera. Tesis. Program Pascasarjana IPB, Bogor. 172 hal.
- Setyaningsih, R. 2000. Dinamika Populasi Mikro-organisme yang Berperan dalam Kesuburan di beberapa Jenis Tanah Akibat Perlakuan Paraquat. Tesis. Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta. 71 hal.
- Setiawan, H.K. 1991. Akibat pemampatan atas sifat sifat hidrologi gambut sehubungan dengan tingkat perombakan. Tesis Sarjana Dep. Ilmu Tanah. Fak. Pertanian. Univ. Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Sieffermann, G., M. Fournier, S. Triutomo, M. T. Sadelman, and M. Seemah. 1988. Velocity of tropical forest peat accumulation in Central Kalimantan Province, Indonesia (Borneo). Pp. 90-98. *In* Proc. of the 8th Int. Peat Congress, Leningrad, USSR. Vol. 1.
- Sitorus, S.R.P., Sriharyati, M. Selari, dan H. Subagyo. 1999. Pola penyebaran tanah gambut dan sifat-sifat tanah antara beberapa sungai utama pada areal pengembangan lahan gambut satu juta hektar propinsi Kalimantan Tengah. *Agrista* 4(1):50-63.
- Soehardjo and I.P.G. Widjaja-Adhi, 1976. Chemical characteristics of the upper 30 cm of peat soils from Riau. *In* Proc. Peat and Podzolic Soil and Their Potential for Agriculture in Indonesia. Soils Res. Ins. Bogor. ATA 106. Bull. 3:74-95.

- Soepardi, G. dan S. Surowinoto. 1982. Pemanfaatan Tanah Gambut Pedalaman, Kasus Bereng Bengkel. Disajikan pada Sem. Lahan Pertanian se Kalimantan di Palangkaraya, 11-14 Nopember 1982. 28 hal.
- Soil Survey Staff. 2003. Soil Taxonomy a Basic System of Classification for Marking and Interpreting Soil Surveys. Second Edition. Resource Conservation Cervice, USDA. Washington D. C. 869 p.
- Spark, D.L. 1995. Environmental Soil Chemistry. Academic Press Inc., San Diego, California. 267 p.
- Spark, K.M., J.D. Wells, and B.B. Johnson. 1997. The interaction of humic acid with heavy metals. *Aus. J. Soil Res.* 35(1):89-101.
- Stevenson, F.J. 1986. Cycles of Soil Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur and Micronutrients. John Willey & Sons Inc. New York. 380 p.
- Stevenson, F.J. 1994. Humus Chemistry: Genesis, Composition and Reaction. Sec. Edition. John Willey & Sons Inc. New York. 496 p.
- Subagyo, H. 2006. Lahan Rawa Pasang Surut. Hal 23-98. *Dalam*. Karakteristik dan Pengelolaan Lahan Rawa. (Eds.). Didi Ardi S., Undang Kurnia, Mamat H.S., Wiwik Hartatik, dan Diah Setyorini. Bogor. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Sulakhuddin. 2002. Biodegradasi Paraquat di Tanah Gambut oleh Mikrobia Eukariot. Laporan Hasil Penelitian. Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta. 15 hal.
- Suryanto. 1988. Sifat dan Watak Kimiawi Gambut Lapis Atas dari Pontianak, Kalbar. Bahan Seminar Nasional dan Kongres I Himpunan Gambut Indonesia dan Seminar Nasional Gambut I. Yogyakarta, 9-10 September 1988. 16 hal.
- Taher, A. dan Z. Zaini, 1989. Perbaikan produktivitas lahan gambut melalui pengendalian drainase. *Dalam* Pros Sem. Gambut untuk Perluasan Pertanian. Fak. Pertanian Univ. Islam Indoensia Sumatera Utara, Medan. 111-127 hlm.
- Tan, K.H. 1994. Environmental Soil Science. Marcel Dekker Inc., New York. 304 p.
- Tan, K.H. 1997. Degradasi mineral tanah oleh asam organik. *Dalam* P.M. Huang dan M. Schniffer (Eds.). Interaksi Mineral Tanah dengan Organik Alami dan Mikroba. Gadjah Mada Univ. Press. Yogyakarta. Hlm. 1-40.
- Tie, Y.L. and J.S. Esterle. 1991. Formation of lowland peat dome in Serawak, Malaysia. *Dalam* Proc. Intern. Symp. on Tropical Peatland, 6-10 May 1991, Kuching, Serawak, Malaysia.
- Tie, Y.L. and H.S. Kueh. 1979. Areview of low land organics soils of Sarawak. *Dalam* Technical Paper 4. Research Branch Sarawak. Dep of Agric. Malaysia.
- Valat, B., C. Jouany, and L. M. Riviere. 1991. Characterization of the wetting properties of air-dried peats and composts. *Soil Sci.* 152(2):100-107.
- Widjaja-Adhi, I P.G. 1976. Tinjauan hasil penjajagan keadaan hara tanah daerah pasang surut. Makalah Seminar Intern Lembaga Penelitian tanah. Bogor, 24 april 1976.
- _____.1997. Pengelolaan lahan rawa dan gambut untuk usahatani dalam pembangunan berkelanjutan dan berwawasan lingkungan. *Alami* 2(1):28-35.
- Yanti, N.A. 2001. Isolasi, Seleksi dan Karakterisasi Bakteri Pendegradasi Paraquat di Tanah Gambut. Tesis. Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta. 78 hal.