

Lahan Gambut: Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan



Fahmuddin Agus dan I.G. Made Subiksa



**Balai Penelitian Tanah
Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian**



Bogor 2008

Lahan Gambut: Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan



Fahmuddin Agus dan I.G. Made Subiksa

**Balai Penelitian Tanah dan
World Agroforestry Centre (ICRAF)
Bogor 2008**

Kutipan yang benar:

Agus, F. dan I.G. M. Subiksa. 2008. Lahan Gambut: Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan. Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre (ICRAF), Bogor, Indonesia.

Pernyataan dan Hak Cipta

Balai Penelitian Tanah dan ICRAF adalah pemilik hak cipta publikasi ini, namun perbanyakannya untuk tujuan non-komersial diperbolehkan tanpa batas asalkan tidak merubah isi. Untuk perbanyakannya tersebut, nama pengarang dan penerbit asli harus disebutkan.

Informasi di dalam buku ini akurat sejauh pengetahuan kami, namun kami tidak menjamin dan tidak bertanggung jawab seandainya timbul kerugian dari penggunaan informasi dari buku ini. File buku ini dalam format pdf dapat di copy dari

<http://balittanah.litbang.deptan.go.id> atau www.worldagroforestrycentre.org/sea.

"Materi publikasi ini diproduksi dengan bantuan hibah dari Uni Eropa. Pendapat/pandangan yang dinyatakan dalam materi publikasi ini sepenuhnya merupakan tanggung jawab Balai Penelitian Tanah dan bukan mencerminkan pendapat/pandangan Uni Eropa".

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Sutono (Balai Penelitian Tanah), Ibu Subekti Rahayu (ICRAF-Bogor) dan Ibu Anny Mulyani (Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian) serta beberapa orang lain yang namanya tidak mungkin disebut satu persatu, yang sudah memberikan masukan untuk perbaikan buku ini.

Balai Penelitian Tanah

Jln. Juanda 98

Bogor 16123

Indonesia

Tel: : +62 251 8336757; fax: +62 251 8321608

Email: SoilRI@indo.net.id

<http://balittanah.litbang.deptan.go.id>

World Agroforestry Centre (ICRAF)

Jl. CIFOR, Situ Gede, Sindang Barang, Bogor 16680

PO Box 161, Bogor 16001, Indonesia

Tel: +62 251 625415; fax: +62 251 625416;

Email: icraf-indonesia@cgiar.org

<http://www.icraf.cgiar.org/sea> atau <http://www.worldagroforestrycentre.org/sea>

ISBN: 978-602-8039-10-9

PENGANTAR

Sejalan dengan peningkatan jumlah penduduk dan permintaan terhadap produk pertanian maka kebutuhan akan perluasan lahan pertanian juga meningkat. Lahan yang dulunya dianggap sebagai lahan marjinal, seperti lahan gambut, menjadi salah satu sasaran perluasan lahan pertanian.

Selain berpotensi memberikan tambahan devisa dan kesempatan kerja bagi masyarakat, lahan gambut juga merupakan penyangga ekosistem terpenting karena simpanan karbon dan daya simpan airnya yang sangat tinggi. Pembukaan lahan gambut merubah ekosistemnya dan menguras simpanan karbon serta menghilangkan kemampuannya menyimpan air. Dengan pengorbanan yang besar dari sisi kualitas lingkungan, penggunaan lahan gambut untuk pertanian memberikan keuntungan ekonomi yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan lahan mineral.

Buku ini memberikan uraian ringkas tentang sifat lahan gambut, potensinya untuk pertanian, risiko lingkungan dan beberapa pertimbangan tentang penggunaan dan konservasi lahan gambut. Diharapkan buku ini dapat menjadi salah satu pertimbangan dalam pengelolaan dan pengembangan lahan gambut ke depan.

Penyusunan dan pencetakan buku ini merupakan salah satu hasil kegiatan proyek "Trees, Resilience and Livelihood Recovery in the Tsunami-affected Coastal Zone of Aceh and North Sumatra (Indonesia): Rebuilding Green Infrastructure with Trees People Want" atau disebut juga dengan Proyek ReGrIn yang sebagian besar didanai oleh Uni Eropa melalui Asia Pro-Eco IIB Program. Proyek ini merupakan kemitraan antara Balai Penelitian Tanah (Balittanah), World Agroforestry Centre (ICRAF), Lembaga Riset Perkebunan Indonesia (LRPI) dan University of Hohenheim (Jerman).

Dr. Ujjwal Pradhan

Regional Coordinator of South East
Asia Regional Research Programme,
World Agroforestry Centre (ICRAF)

Prof. Dr. Irsal Las, MS

Kepala Balai Besar Penelitian dan
Pengembangan Sumberdaya Lahan
Pertanian

DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	iii
I. PENDAHULUAN	1
II. PEMBENTUKAN DAN KLASIFIKASI GAMBUT	3
2.1. Pembentukan gambut	3
2.2. Klasifikasi gambut	4
III. KARAKTERISTIK GAMBUT	7
3.1. Karakteristik fisik	7
3.2. Karakteristik kimia	9
IV. POTENSI LAHAN GAMBUT UNTUK PERTANIAN	12
4.1. Potensi dan pengelolaan lahan gambut untuk tanaman pangan	12
4.2. Potensi dan pengelolaan lahan gambut untuk tanaman tahunan	15
V. ASPEK LINGKUNGAN LAHAN GAMBUT	17
5.1. Lahan gambut sebagai penambat dan penyimpan karbon	17
5.2. Emisi gas rumah kaca	17
5.3. Subsiden	23
VI. KONSERVASI LAHAN GAMBUT	26
6.1. Menanggulangi kebakaran hutan dan lahan gambut	27
6.2. Penanaman kembali dengan tanaman penambat karbon	28
6.3. Pengaturan tinggi muka air tanah gambut	28
6.4. Memanfaatkan lahan semak belukar yang terlantar	28
6.5. Penguatan perundang-undangan dan pengawasan penggunaan dan pengelolaan lahan	29
6.6. Insentif dalam konservasi karbon lahan gambut	29
DAFTAR PUSTAKA	32

I. PENDAHULUAN

Keterbatasan lahan produktif menyebabkan ekstensifikasi pertanian mengarah pada lahan-lahan marginal. Lahan gambut adalah salah satu jenis lahan marginal yang dipilih, terutama oleh perkebunan besar, karena relatif lebih jarang penduduknya sehingga kemungkinan konflik tata guna lahan relatif kecil.

Indonesia memiliki lahan gambut terluas di antara negara tropis, yaitu sekitar 21 juta ha, yang tersebar terutama di Sumatera, Kalimantan dan Papua (BB Litbang SDLP, 2008). Namun karena variabilitas lahan ini sangat tinggi, baik dari segi ketebalan gambut, kematangan maupun kesuburannya, tidak semua lahan gambut layak untuk dijadikan areal pertanian. Dari 18,3 juta ha lahan gambut di pulau-pulau utama Indonesia, hanya sekitar 6 juta ha yang layak untuk pertanian (Tabel 1).

Sebagian besar lahan gambut masih berupa tutupan hutan dan menjadi habitat bagi berbagai spesies fauna dan tanaman langka. Lebih penting lagi, lahan gambut menyimpan karbon (C) dalam jumlah besar. Gambut juga mempunyai daya menahan air yang tinggi sehingga berfungsi sebagai penyangga hidrologi areal sekelilingnya. Konversi lahan gambut akan mengganggu semua fungsi ekosistem lahan gambut tersebut.

Dalam keadaan hutan alami, lahan gambut berfungsi sebagai penambat (*sequester*) karbon sehingga berkontribusi dalam mengurangi gas rumah kaca di atmosfer, walaupun proses penambatan berjalan sangat pelan setinggi 0-3 mm gambut per tahun (Parish *et al.*, 2007) atau setara dengan penambatan 0-5,4 t CO₂ ha⁻¹ tahun⁻¹ (Agus, 2009). Apabila hutan gambut ditebang dan didrainase, maka karbon tersimpan pada gambut mudah teroksidasi menjadi gas CO₂ (salah satu gas rumah kaca terpenting). Selain itu lahan gambut juga mudah mengalami penurunan permukaan (*subsiden*) apabila hutan gambut dibuka. Oleh karena itu diperlukan kehati-hatian dan perencanaan yang matang apabila akan mengkonversi hutan gambut. Perencanaan harus mengacu pada hasil studi yang mendalam mengenai karakteristik gambut setempat dan dampaknya bila hutan gambut dikonversi.

Perluasan pemanfaatan lahan gambut meningkat pesat di beberapa propinsi yang memiliki areal gambut luas, seperti Riau, Kalimantan Barat dan Kalimantan Tengah. Antara tahun 1982 sampai 2007 telah dikonversi seluas 1,83 juta ha atau 57% dari luas total hutan gambut seluas 3,2 juta ha di Provinsi Riau. Laju konversi lahan gambut cenderung meningkat dengan cepat, sedangkan untuk lahan non gambut peningkatannya relatif lebih lambat (WWF, 2008).

Ekosistem lahan gambut sangat penting dalam sistem hidrologi kawasan hilir suatu DAS karena mampu menyerap air sampai 13 kali lipat dari bobotnya. Selain itu, kawasan gambut juga merupakan penyimpan cadangan karbon yang sangat besar, baik di atas maupun di bawah permukaan tanah.

Kerusakan ekosistem gambut berdampak besar terhadap lingkungan setempat (*in situ*) maupun lingkungan sekelilingnya (*ex situ*). Kejadian banjir di hilir DAS merupakan salah satu dampak dari rusaknya ekosistem gambut. Deforestasi hutan dan penggunaan lahan gambut untuk sistem pertanian yang memerlukan drainase dalam (> 30 cm) serta pembakaran atau kebakaran menyebabkan emisi CO₂ menjadi sangat tinggi.

Buku ini memberikan uraian tentang sifat gambut, potensinya untuk pertanian, masalah lingkungan yang dapat terjadi akibat pembukaan lahan gambut, serta pendekatan dalam konservasi gambut.

Tabel 1. Luas total lahan gambut dan yang layak untuk pertanian serta sebarannya di Indonesia (BB Litbang SDLP., 2008).

Pulau/Propinsi	Luas total (ha)	Layak untuk pertanian (ha)
Sumatera	6.244.101	2.253.733
Riau	4.043.600	774.946
Jambi	716.839	333.936
Sumatera Selatan	1.483.662	1.144.851
Kalimantan	5.072.249	1.530.256
Kalimantan Tengah	3.010.640	672.723
Kalimantan Barat	1.729.980	694.714
Kalimantan Selatan	331.629	162.819
Papua dan Papua Barat	7.001.239	2.273.160
Total	18.317.589	6.057.149

Catatan: Apabila lahan gambut di Propinsi Nanggroe Aceh Darussalam, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Bengkulu dan Kalimantan Timur diperhitungkan, maka luas total lahan gambut di Indonesia adalah sekitar 21 juta ha.

II. PEMBENTUKAN DAN KLASIFIKASI GAMBUT

Lahan gambut adalah lahan yang memiliki lapisan tanah kaya bahan organik (C-organik > 18%) dengan ketebalan 50 cm atau lebih. Bahan organik penyusun tanah gambut terbentuk dari sisa-sisa tanaman yang belum melapuk sempurna karena kondisi lingkungan jenuh air dan miskin hara. Oleh karenanya lahan gambut banyak dijumpai di daerah rawa belakang (*back swamp*) atau daerah cekungan yang drainasenya buruk.

2.1. Pembentukan gambut

Gambut terbentuk dari timbunan sisa-sisa tanaman yang telah mati, baik yang sudah lapuk maupun belum. Timbunan terus bertambah karena proses dekomposisi terhambat oleh kondisi anaerob dan/atau kondisi lingkungan lainnya yang menyebabkan rendahnya tingkat perkembangan biota pengurai. Pembentukan tanah gambut merupakan proses geogenik yaitu pembentukan tanah yang disebabkan oleh proses deposisi dan transportasi, berbeda dengan proses pembentukan tanah mineral yang pada umumnya merupakan proses pedogenik (Hardjowigeno, 1986).

Pembentukan gambut diduga terjadi antara 10.000-5.000 tahun yang lalu (pada periode Holosin) dan gambut di Indonesia terjadi antara 6.800-4.200 tahun yang lalu (Andriesse, 1994). Gambut di Serawak yang berada di dasar kubah terbentuk 4.300 tahun yang lalu (Tie and Esterle, 1991), sedangkan gambut di Muara Kaman Kalimantan Timur umurnya antara 3.850 sampai 4.400 tahun (Diemont and Pons, 1991). Siefermann *et al.* (1988) menunjukkan bahwa berdasarkan *carbon dating* (penelusuran umur gambut menggunakan teknik radio isotop) umur gambut di Kalimantan Tengah lebih tua lagi yaitu 6.230 tahun pada kedalaman 100 cm sampai 8.260 tahun pada kedalaman 5 m. Dari salah satu lokasi di Kalimantan Tengah, Page *et al.* (2002) menampilkan sebaran umur gambut sekitar 140 tahun pada kedalaman 0-100 cm, 500-5.400 tahun pada kedalaman 100-200 cm, 5.400-7.900 tahun pada kedalaman 200-300 cm, 7.900-9.400 tahun pada kedalaman 300-400 cm, 9.400-13.000 tahun pada kedalaman 400-800 cm dan 13.000-26.000 tahun pada kedalaman 800-1.000 cm.

Dari gambaran tersebut dapat dipahami bahwa pembentukan gambut memerlukan waktu yang sangat panjang. Gambut tumbuh dengan kecepatan antara 0-3 mm tahun⁻¹. Di Barambai Delta Pulau Petak, Kalimantan Selatan laju pertumbuhan gambut sekitar 0,05 mm dalam satu tahun, sedangkan di Pontianak sekitar 0,13 mm tahun⁻¹. Di Sarawak Malaysia, laju pertumbuhan berjalan lebih cepat yaitu sekitar 0,22 –0,48 mm per tahun (Noor, 2001 dari berbagai sumber).

Proses pembentukan gambut dimulai dari adanya danau dangkal yang secara perlahan ditumbuhi oleh tanaman air dan vegetasi lahan basah. Tanaman

yang mati dan melapuk secara bertahap membentuk lapisan yang kemudian menjadi lapisan transisi antara lapisan gambut dengan substratum (lapisan di bawahnya) berupa tanah mineral. Tanaman berikutnya tumbuh pada bagian yang lebih tengah dari danau dangkal ini dan secara membentuk lapisan-lapisan gambut sehingga danau tersebut menjadi penuh (Gambar 1a dan 1b).

Bagian gambut yang tumbuh mengisi danau dangkal tersebut disebut dengan gambut topogen karena proses pembentukannya disebabkan oleh topografi daerah cekungan. Gambut topogen biasanya relatif subur (eutrofik) karena adanya pengaruh tanah mineral. Bahkan pada waktu tertentu, misalnya jika ada banjir besar, terjadi pengkayaan mineral yang menambah kesuburan gambut tersebut.

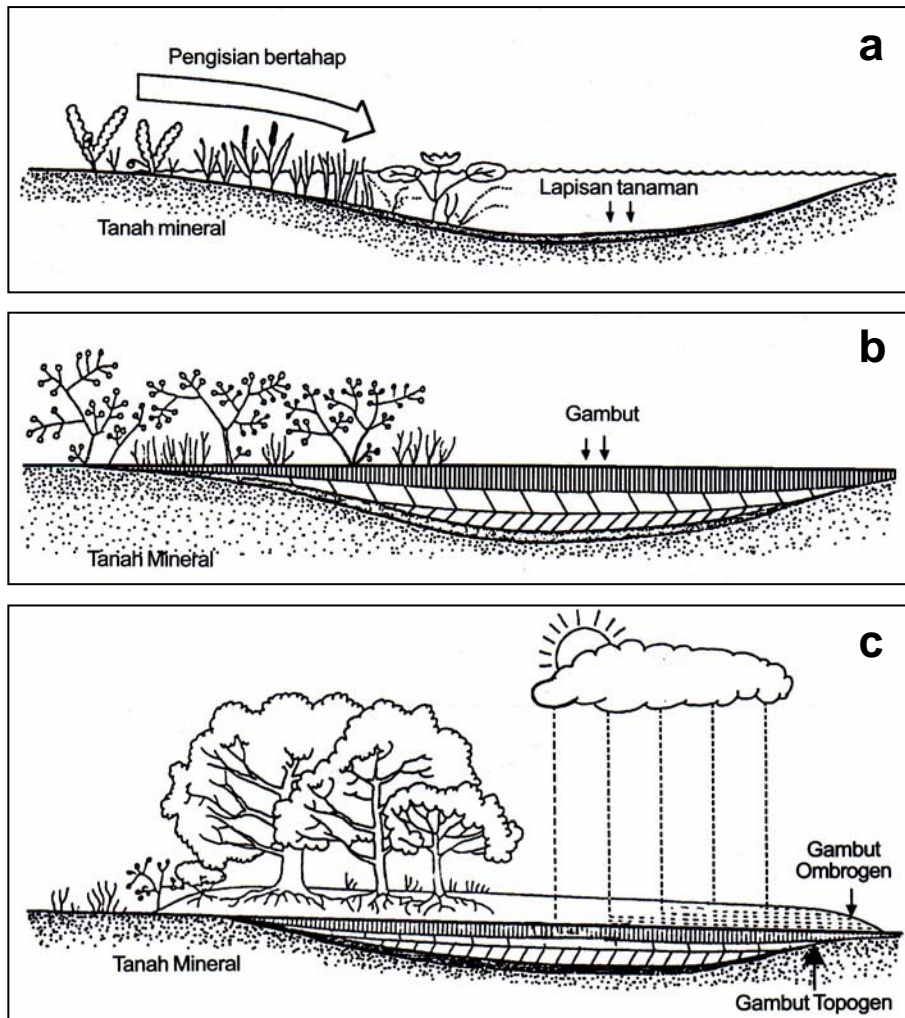
Tanaman tertentu masih dapat tumbuh subur di atas gambut topogen. Hasil pelapukannya membentuk lapisan gambut baru yang lama kelamaan membentuk kupah (*dome*) gambut yang permukaannya cembung (Gambar 1c). Gambut yang tumbuh di atas gambut topogen dikenal dengan gambut ombrogen, yang pembentukannya ditentukan oleh air hujan. Gambut ombrogen lebih rendah kesuburannya dibandingkan dengan gambut topogen karena hampir tidak ada pengkayaan mineral.

2.2. Klasifikasi gambut

Secara umum dalam klasifikasi tanah, tanah gambut dikenal sebagai Organosol atau Histosols yaitu tanah yang memiliki lapisan bahan organik dengan berat jenis (BD) dalam keadaan lembab $< 0,1 \text{ g cm}^{-3}$ dengan tebal $> 60 \text{ cm}$ atau lapisan organik dengan BD $> 0,1 \text{ g cm}^{-3}$ dengan tebal $> 40 \text{ cm}$ (Soil Survey Staff, 2003).

Gambut diklasifikasikan lagi berdasarkan berbagai sudut pandang yang berbeda; dari tingkat kematangan, kedalaman, kesuburan dan posisi pembentukannya. Berdasarkan tingkat kematangannya, gambut dibedakan menjadi:

- Gambut saprik (matang) adalah gambut yang sudah melapuk lanjut dan bahan asalnya tidak dikenali, berwarna coklat tua sampai hitam, dan bila diremas kandungan seratnya $< 15\%$.
- Gambut hemik (setengah matang) (Gambar 2, bawah) adalah gambut setengah lapuk, sebagian bahan asalnya masih bisa dikenali, berwarna coklat, dan bila diremas bahan seratnya $15 - 75\%$.
- Gambut fibrik (mentah) (Gambar 2, atas) adalah gambut yang belum melapuk, bahan asalnya masih bisa dikenali, berwarna coklat, dan bila diremas $> 75\%$ seratnya masih tersisa.



Gambar 1. Proses pembentukan gambut di daerah cekungan lahan basah: a. Pengisian danau dangkal oleh vegetasi lahan basah, b. Pembentukan gambut topogen, dan c. Pembentukan gambut ombrogen di atas gambut topogen (Noor, 2001 mengutip van de Meene, 1982).

Berdasarkan tingkat kesuburannya, gambut dibedakan menjadi:

- gambut eutrofik adalah gambut yang subur yang kaya akan bahan mineral dan basa-basa serta unsur hara lainnya. Gambut yang relatif subur biasanya adalah gambut yang tipis dan dipengaruhi oleh sedimen sungai atau laut.
- mesotrofik adalah gambut yang agak subur karena memiliki kandungan mineral dan basa-basa sedang.

- gambut oligotrofik adalah gambut yang tidak subur karena miskin mineral dan basa-basa. Bagian kubah gambut dan gambut tebal yang jauh dari pengaruh lumpur sungai biasanya tergolong gambut oligotrofik

Gambut di Indonesia sebagian besar tergolong gambut mesotrofik dan oligotrofik (Radjagukguk, 1997). Gambut eutrofik di Indonesia hanya sedikit dan umumnya tersebar di daerah pantai dan di sepanjang jalur aliran sungai.

Tingkat kesuburan gambut ditentukan oleh kandungan bahan mineral dan basa-basa, bahan substratum/dasar gambut dan ketebalan lapisan gambut. Gambut di Sumatera relatif lebih subur dibandingkan dengan gambut di Kalimantan.

Berdasarkan lingkungan pembentukannya, gambut dibedakan atas:

- gambut ombrogen yaitu gambut yang terbentuk pada lingkungan yang hanya dipengaruhi oleh air hujan
- gambut topogen yaitu gambut yang terbentuk di lingkungan yang mendapat pengayaan air pasang. Dengan demikian gambut topogen akan lebih kaya mineral dan lebih subur dibandingkan dengan gambut ombrogen.

Berdasarkan kedalamannya gambut dibedakan menjadi:

- gambut dangkal (50 – 100 cm),
- gambut sedang (100 – 200 cm),
- gambut dalam (200 – 300 cm), dan
- gambut sangat dalam (> 300 cm)

Berdasarkan proses dan lokasi pembentukannya, gambut dibagi menjadi:

- gambut pantai adalah gambut yang terbentuk dekat pantai laut dan mendapat pengayaan mineral dari air laut
- gambut pedalaman adalah gambut yang terbentuk di daerah yang tidak dipengaruhi oleh pasang surut air laut tetapi hanya oleh air hujan
- gambut transisi adalah gambut yang terbentuk di antara kedua wilayah tersebut, yang secara tidak langsung dipengaruhi oleh air pasang laut.

III. KARAKTERISTIK GAMBUT

3.1. Karakteristik fisik

Karakteristik fisik gambut yang penting dalam pemanfaatannya untuk pertanian meliputi kadar air, berat isi (*bulk density*, BD), daya menahan beban (*bearing capacity*), subsiden (penurunan permukaan), dan mengering tidak balik (*irreversible drying*).

Kadar air tanah gambut berkisar antara 100 – 1.300% dari berat keringnya (Mutalib *et al.*, 1991). Artinya bahwa gambut mampu menyerap air sampai 13 kali bobotnya. Kadar air yang tinggi menyebabkan BD menjadi rendah, gambut menjadi lembek dan daya menahan bebannya rendah (Nugroho, *et al.*, 1997; Widjaja-Adhi, 1997). BD tanah gambut lapisan atas bervariasi antara 0,1 sampai 0,2 g cm⁻³ tergantung pada tingkat dekomposisinya. Gambut fibrik yang umumnya berada di lapisan bawah memiliki BD lebih rendah dari 0,1 g/cm³, tapi gambut pantai dan gambut di jalur aliran sungai bisa memiliki BD > 0,2 g cm⁻³ (Tie and Lim, 1991) karena adanya pengaruh tanah mineral.

Volume gambut akan menyusut bila lahan gambut didrainase, sehingga terjadi penurunan permukaan tanah (subsiden). Selain karena penyusutan volume, subsiden juga terjadi karena adanya proses dekomposisi dan erosi. Dalam 2 tahun pertama setelah lahan gambut didrainase, laju subsiden bisa mencapai 50 cm. Pada tahun berikutnya laju subsiden sekitar 2 – 6 cm tahun⁻¹ tergantung kematangan gambut dan kedalaman saluran drainase. Adanya subsiden bisa dilihat dari akar tanaman yang menggantung (Gambar 4).

Rendahnya BD gambut menyebabkan daya menahan atau menyangga beban (*bearing capacity*) menjadi sangat rendah. Hal ini menyulitkan beroperasinya peralatan mekanisasi karena tanahnya yang empuk. Gambut juga tidak bisa menahan pokok tanaman tahunan untuk berdiri tegak. Tanaman perkebunan seperti karet, kelapa sawit atau kelapa seringkali doyong atau bahkan roboh (Gambar 5). Pertumbuhan seperti ini dianggap menguntungkan karena memudahkan bagi petani untuk memanen sawit.

Sifat fisik tanah gambut lainnya adalah sifat mengering tidak balik. Gambut yang telah mengering, dengan kadar air <100% (berdasarkan berat), tidak bisa menyerap air lagi kalau dibasahi. Gambut yang mengering ini sifatnya sama dengan kayu kering yang mudah hanyut dibawa aliran air dan mudah terbakar dalam keadaan kering (Widjaja-Adhi, 1988). Gambut yang terbakar menghasilkan energi panas yang lebih besar dari kayu/arang terbakar. Gambut yang terbakar juga sulit dipadamkan dan apinya bisa merambat di bawah permukaan sehingga kebakaran lahan bisa meluas tidak terkendali.



Gambar 2. Contoh tanah gambut yang diambil menggunakan bor gambut (*peat sampler*). Gambar atas memperlihatkan contoh gambut fibrik (mentah) dan gambar bawah contoh gambut hemik (setengah matang).



Gambar 3. Air mengalir dari kubah gambut melalui saluran drainase.



Gambar 4. Akar yang menggantung pada tanaman yang tumbuh di lahan gambut menandakan sudah terjadinya subsiden (penurunan permukaan).



Gambar 5. Tanaman kelapa sawit yang doyong disebabkan karena rendahnya daya menahan beban tanah gambut.

3.2. Karakteristik kimia

Karakteristik kimia lahan gambut di Indonesia sangat ditentukan oleh kandungan mineral, ketebalan, jenis mineral pada substratum (di dasar gambut), dan tingkat dekomposisi gambut. Kandungan mineral gambut di Indonesia umumnya kurang dari 5% dan sisanya adalah bahan organik. Fraksi organik terdiri dari senyawa-senyawa humat sekitar 10 hingga 20% dan sebagian besar lainnya adalah senyawa lignin, selulosa, hemiselulosa, lilin, tannin, resin, suberin, protein, dan senyawa lainnya.

Lahan gambut umumnya mempunyai tingkat kemasaman yang relatif tinggi dengan kisaran pH 3 - 5. Gambut oligotropik yang memiliki *substratum* pasir kuarsa di Berengbengkel, Kalimantan Tengah memiliki kisaran pH 3,25 – 3,75 (Halim, 1987; Salampak, 1999). Sementara itu gambut di sekitar Air Sugihan Kiri, Sumatera Selatan memiliki kisaran pH yang lebih tinggi yaitu antara 4,1 sampai 4,3 (Hartatik *et al.*, 2004).

Gambut oligotropik, seperti banyak ditemukan di Kalimantan, mempunyai kandungan kation basa seperti Ca, Mg, K, dan Na sangat rendah terutama pada gambut tebal. Semakin tebal gambut, basa-basa yang dikandungnya semakin rendah dan reaksi tanah menjadi semakin masam (Driessen dan Suhardjo, 1976). Di sisi lain kapasitas tukar kation (KTK) gambut tergolong tinggi, sehingga kejenuhan basa (KB) menjadi sangat rendah. Tim Institut Pertanian Bogor (1974) melaporkan bahwa tanah gambut pedalaman di Kalamangan, Kalimantan Tengah mempunyai nilai KB kurang dari 10%, demikian juga gambut di pantai Timur Riau (Suhardjo dan Widjaja-Adhi, 1976).

Muatan negatif (yang menentukan KTK) pada tanah gambut seluruhnya adalah muatan tergantung pH (*pH dependent charge*), dimana KTK akan naik bila pH gambut ditingkatkan. Muatan negatif yang terbentuk adalah hasil dissosiasi hidroksil pada gugus karboksilat atau fenol. Oleh karenanya penetapan KTK menggunakan pengekstrak amonium acetat pH 7 akan menghasilkan nilai KTK yang tinggi, sedangkan penetapan KTK dengan pengekstrak amonium klorida (pada pH aktual) akan menghasilkan nilai yang lebih rendah. KTK tinggi menunjukkan kapasitas jerapan (*sorption capacity*) gambut tinggi, namun kekuatan jerapan (*sorption power*) lemah, sehingga kation-kation K, Ca, Mg dan Na yang tidak membentuk ikatan koordinasi akan mudah tercuci.

Secara alamiah lahan gambut memiliki tingkat kesuburan rendah karena kandungan unsur haranya rendah dan mengandung beragam asam-asam organik yang sebagian bersifat racun bagi tanaman. Namun demikian asam-asam tersebut merupakan bagian aktif dari tanah yang menentukan kemampuan gambut untuk menahan unsur hara. Karakteristik dari asam-asam organik ini akan menentukan sifat kimia gambut.

Untuk mengurangi pengaruh buruk asam-asam organik yang beracun dapat dilakukan dengan menambahkan bahan-bahan yang banyak mengandung kation polivalen seperti Fe, Al, Cu dan Zn. Kation-kation tersebut membentuk ikatan koordinasi dengan ligan organik membentuk senyawa kompleks/khelat. Oleh karenanya bahan-bahan yang mengandung kation polivalen tersebut bisa dimanfaatkan sebagai bahan amelioran gambut (Sabiham *et al.*, 1997; Saragih, 1996).

Tanah gambut juga mengandung unsur mikro yang sangat rendah dan diikat cukup kuat (khelat) oleh bahan organik sehingga tidak tersedia bagi tanaman. Selain itu adanya kondisi reduksi yang kuat menyebabkan unsur mikro direduksi ke bentuk yang tidak dapat diserap tanaman. Kandungan unsur mikro pada tanah gambut dapat ditingkatkan dengan menambahkan tanah mineral atau menambahkan pupuk mikro.

Gambut di Indonesia (dan di daerah tropis lainnya) mempunyai kandungan lignin yang lebih tinggi dibandingkan dengan gambut yang berada di daerah beriklim sedang, karena terbentuk dari pohon-pohonan (Driessen dan Suhardjo, 1976). Lignin yang mengalami proses degradasi dalam keadaan anaerob akan terurai menjadi senyawa humat dan asam-asam fenolat (Kononova, 1968). Asam-asam fenolat dan derivatnya bersifat fitotoksik (meracuni tanaman) dan menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat (Driessen, 1978; Stevenson, 1994; Rachim, 1995). Asam fenolat merusak sel akar tanaman, sehingga asam-asam amino dan bahan lain mengalir keluar dari sel, menghambat pertumbuhan akar dan serapan hara sehingga pertumbuhan tanaman menjadi kerdil, daun mengalami klorosis (menguning) dan pada akhirnya tanaman akan mati. Turunan asam fenolat yang bersifat fitotoksik antara lain adalah asam ferulat, siringat, p-hidroksibenzoat, vanilat, p-kumarat, sinapat, suksinat, propionat, butirat, dan tartrat (Dr. Wiwik Hartatik dan Dr. Diah Setyorini, komunikasi pribadi).

IV. POTENSI LAHAN GAMBUT UNTUK PERTANIAN

4.1. Potensi dan pengelolaan lahan gambut untuk tanaman pangan

4.1.1. *Potensi lahan gambut untuk tanaman pangan semusim*

Sesuai dengan arahan Departemen Pertanian (BB Litbang SDLP, 2008), lahan gambut yang dapat dimanfaatkan untuk tanaman pangan disarankan pada gambut dangkal (< 100 cm). Dasar pertimbangannya adalah gambut dangkal memiliki tingkat kesuburan relatif lebih tinggi dan memiliki risiko lingkungan lebih rendah dibandingkan gambut dalam.

Lahan gambut dengan kedalaman 1,4 - 2 m tergolong sesuai marjinal (kelas kesesuaian S3) untuk berbagai jenis tanaman pangan. Faktor pembatas utama adalah kondisi media perakaran dan unsur hara yang tidak mendukung pertumbuhan tanaman. Tanaman pangan yang mampu beradaptasi antara lain padi, jagung, kedelai, ubikayu, kacang panjang dan berbagai jenis sayuran lainnya (Gambar 6).

4.1.2. *Pengelolaan air*

Budidaya tanaman pangan di lahan gambut harus menerapkan teknologi pengelolaan air, yang disesuaikan dengan karakteristik gambut dan jenis tanaman.

Pembuatan saluran drainase mikro sedalam 10 - 50 cm diperlukan untuk pertumbuhan berbagai jenis tanaman pangan pada lahan gambut. Tanaman padi sawah pada lahan gambut hanya memerlukan parit sedalam 10-30 cm. Fungsi drainase adalah untuk membuang kelebihan air, menciptakan keadaan tidak jenuh untuk pernapasan akar tanaman, dan mencuci sebagian asam-asam organik. Semakin pendek interval/jarak antar parit drainase maka hasil tanaman semakin tinggi. Walaupun drainase penting untuk pertumbuhan tanaman, namun semakin dalam saluran drainase akan semakin cepat laju subsiden dan dekomposisi gambut (akan diuraikan lebih lanjut dalam Bagian 5.2).

4.1.3. *Pengelolaan kesuburan tanah*

Tanah gambut bereaksi masam. Dengan demikian diperlukan upaya ameliorasi untuk meningkatkan pH sehingga memperbaiki media perakaran tanaman. Kapur, tanah mineral, pupuk kandang dan abu sisa pembakaran dapat diberikan sebagai bahan amelioran untuk meningkatkan pH dan basa-basa tanah (Subiksa *et al.*, 1997; Mario, 2002; Salampak, 1999; Tabel 2).



Gambar 6. Lahan gambut di Kalimantan Timur digunakan untuk sawah (atas) dan terong (bawah).

Tidak seperti tanah mineral, pH tanah gambut cukup ditingkatkan sampai pH 5 karena gambut tidak memiliki potensi Al yang beracun. Peningkatan pH sampai tidak lebih dari 5 dapat memperlambat laju dekomposisi gambut. Pengaruh buruk asam-asam organik beracun juga dapat dikurangi dengan menambahkan bahan-bahan amelioran yang banyak mengandung kation polivalen seperti terak baja, tanah mineral laterit atau lumpur sungai (Salampak, 1999; Sabiham *et al.*, 1997). Pemberian tanah mineral berkadar besi tinggi dapat meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman padi (Mario, 2002; Salampak, 1999; Suastika, 2004; Subiksa *et al.*, 1997).

Tabel 2. Dosis anjuran dan manfaat pemberian amelioran pada tanah gambut.

Jenis amelioran	Dosis (t ha ⁻¹ tahun ⁻¹)	Manfaat
Kapur	1 – 2	Meningkatkan basa-basa dan pH tanah
Pupuk kandang	5 – 10	Memperkaya unsur hara makro/mikro
Terak baja	2 – 5	Mengurangi fitotoksik asam organik, meningkatkan efisiensi pupuk P
Tanah mineral	10 – 20	Mengurangi fitotoksik asam organik, meningkatkan kadar hara makro/mikro
Abu	10 – 20	Meningkatkan basa-basa, dan pH tanah
Lumpur sungai	10 – 20	Mengurangi fitotoksik asam organik, meningkatkan basa-basa, unsur hara

Keterangan: Beberapa amelioran dapat menggantikan fungsi amelioran lainnya. Misalnya, dengan pemberian kapur, pemberian abu dapat dikurangi dan sebaliknya.

Pemupukan sangat dibutuhkan karena kandungan hara gambut sangat rendah. Jenis pupuk yang diperlukan adalah yang mengandung N, P, K, Ca dan Mg. Walaupun KTK gambut tinggi, namun daya pegangnya rendah terhadap kation yang dapat dipertukarkan sehingga pemupukan harus dilakukan beberapa kali (*split application*) dengan dosis rendah agar hara tidak banyak tercuci. Penggunaan pupuk yang tersedianya lambat seperti fosfat alam akan lebih baik dibandingkan dengan SP36, karena akan lebih efisien, harganya murah dan dapat meningkatkan pH tanah (Subiksa *et al.*, 1991). Penambahan kation polivalen seperti Fe dan Al akan menciptakan tapak jerapan bagi ion fosfat sehingga bisa mengurangi kehilangan hara P melalui pencucian (Rachim, 1995).

Tanah gambut juga kahat unsur mikro karena dikhelat (diikat) oleh bahan organik (Rachim, 1995). Oleh karenanya diperlukan pemupukan unsur mikro seperti terusi, magnesium sulfat dan seng sulfat masing-masing 15 kg ha⁻¹ tahun⁻¹, mangan sulfat 7 kg ha⁻¹ tahun⁻¹, sodium molibdat dan borax masing-masing 0,5 kg ha⁻¹ tahun⁻¹. Kekurangan unsur mikro dapat menyebabkan kehampaan pada tanaman padi, tongkol kosong pada jagung atau polong hampa pada kacang tanah.

4.1.4. Strategi petani dalam meningkatkan kesuburan tanah gambut

Karena keterbatasan akses dan kemampuan untuk mendapatkan pupuk dan bahan amelioran, maka untuk meningkatkan kesuburan tanah, petani membakar seresah tanaman dan sebagian lapisan gambut kering sebelum bertanam. Praktek ini dapat ditemukan di kalangan petani yang menanam sayuran dan tanaman pangan secara tradisional di berbagai tempat di Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Sumatera Selatan dan Jambi. Dengan cara ini petani mendapatkan

amelioran berupa abu yang dapat memperbaiki produktivitas gambut. Namun abu hasil pembakaran mudah hanyut dan efektivitasnya terhadap peningkatan kesuburan tanah tidak berlangsung lama. Lagi pula cara ini sangat berbahaya karena bisa memicu kebakaran hutan dan lahan secara lebih luas, mempercepat subsiden, meningkatkan emisi CO₂ dan mendatangkan asap yang mengganggu kesehatan serta mempengaruhi lalu lintas.

Untuk menghindari kebakaran, maka pembakaran serasah harus dilakukan secara terkendali di satu tempat khusus berupa lubang yang dilapisi dengan tanah mineral sehingga api tidak sampai membakar gambut. Cara ini diterapkan dengan baik di lahan gambut di Pontianak, Kalimantan Barat. Bila pembakaran serasah harus dilakukan langsung di lapangan, maka harus dipastikan bahwa gambut di bawahnya jenuh air supaya gambutnya tidak ikut terbakar.

Dalam jangka panjang pembakaran serasah dan gambut perlu dicegah untuk menjaga keberlangsungan pertanian di lahan gambut. Untuk itu diperlukan bimbingan cara bertani tanpa bakar dan pemberian bantuan amelioran serta pupuk bagi petani.

4.2. Potensi dan pengelolaan lahan gambut untuk tanaman tahunan

4.2.1. Potensi lahan gambut untuk tanaman tahunan

Lahan gambut dengan ketebalan antara 1,4-2 m tergolong sesuai marjinal (kelas kesesuaian S3) untuk beberapa tanaman tahunan seperti karet dan kelapa sawit, sedangkan gambut yang tipis termasuk agak sesuai (kelas kesesuaian S2). Gambut dengan ketebalan 2-3 m tidak sesuai untuk tanaman tahunan kecuali jika ada sisipan/pengkayaan lapisan tanah atau lumpur mineral (Djainudin *et al.*, 2003). Gambut dengan ketebalan >3m diperuntukkan sebagai kawasan konservasi sesuai dengan Keputusan Presiden No. 32/1990. Hal ini disebabkan kondisi lingkungan lahan gambut dalam yang rapuh (*fragile*) apabila dikonversi menjadi lahan pertanian.

4.2.2. Pengelolaan air

Reklamasi gambut untuk pertanian tanaman tahunan memerlukan jaringan drainase makro yang dapat mengendalikan tata air dalam satu wilayah dan drainase mikro untuk mengendalikan tata air di tingkat lahan. Sistem drainase yang tepat dan benar sangat diperlukan pada lahan gambut, baik untuk tanaman pangan maupun perkebunan. Sistem drainase yang tidak tepat akan mempercepat kerusakan lahan gambut.

Salah satu komponen penting dalam pengaturan tata air lahan gambut adalah bangunan pengendali berupa pintu air di setiap saluran. Pintu air berfungsi untuk mengatur muka air tanah supaya tidak terlalu dangkal dan tidak terlalu dalam.

Tanaman tahunan memerlukan saluran drainase dengan kedalaman berbeda-beda. Tanaman karet memerlukan saluran drainase mikro sekitar 20 cm,

tanaman kelapa sedalam 30-50 cm, sedangkan tanaman kelapa sawit memerlukan saluran drainase sedalam 50-80 cm. Gambut yang relatif tipis (<100 cm) dan subur juga dapat ditanami dengan tanaman kopi dan kakao dengan saluran drainase sedalam 30-50 cm.



Gambar 7. Tanaman sagu yang tumbuh di rawa gambut tanpa memerlukan drainase.

Semakin dalam saluran drainase semakin cepat terjadi penurunan permukaan (subsiden) dan dekomposisi gambut sehingga ketebalan gambut akan cepat berkurang dan daya sangganya terhadap air menjadi menurun.

Jika lahan gambut digunakan untuk perkebunan sagu (Gambar 7) atau nipah, pembuatan saluran drainase tidak diperlukan karena kedua jenis tanaman ini merupakan tanaman rawa yang toleran terhadap genangan. Sagu dapat menjadi alternatif tanaman sumber karbohidrat selain beras. Tanaman nipah menghasilkan nira, bahan baku gula dengan rendemen tinggi dan kualitas yang tidak kalah dibandingkan gula aren.

4.2.3. Pengelolaan kesuburan tanah

Unsur hara utama yang perlu ditambahkan untuk berbagai tanaman tahunan di lahan gambut terutama adalah unsur P dan K. Tanpa unsur tersebut pertumbuhan tanaman sangat merana dan hasil tanaman yang diperoleh sangat rendah. Sedangkan unsur hara lainnya seperti N dibutuhkan dalam jumlah yang relatif rendah karena bisa tersedia dari proses dekomposisi gambut.

V. ASPEK LINGKUNGAN LAHAN GAMBUT

Seperti diuraikan dalam Bab III, lahan gambut mempunyai karakteristik fisik dan kimia yang khas. Karakteristik tersebut berhubungan dengan kontribusi gambut dalam menjaga kestabilan lingkungan apabila lahan gambut berada dalam keadaan alami dan sebaliknya menjadi sumber berbagai masalah lingkungan apabila campur tangan manusia mengganggu kestabilan lahan gambut. Beberapa aspek lingkungan yang berhubungan dengan lahan gambut adalah: (i) lahan gambut sebagai penambat dan penyimpan karbon, (ii) lahan gambut sebagai sumber emisi gas rumah kaca, (iii) kebakaran lahan gambut, dan (iv) aspek hidrologi dan subsiden.

5.1. Lahan gambut sebagai penambat dan penyimpan karbon

Lahan gambut hanya meliputi 3% dari luas daratan di seluruh dunia, namun menyimpan 550 Gigaton C atau setara dengan 30% karbon tanah, 75% dari seluruh karbon atmosfer, setara dengan seluruh karbon yang dikandung biomassa (massa total makhluk hidup) daratan dan setara dengan dua kali simpanan karbon semua hutan di seluruh dunia (Joosten, 2007).

Lahan gambut menyimpan karbon pada biomassa tanaman, serasah di bawah hutan gambut, lapisan gambut dan lapisan tanah mineral di bawah gambut (*substratum*). Dari berbagai simpanan tersebut, lapisan gambut dan biomassa tanaman menyimpan karbon dalam jumlah tertinggi.

Lahan gambut menyimpan karbon yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan tanah mineral. Di daerah tropis karbon yang disimpan tanah dan tanaman pada lahan gambut bisa lebih dari 10 kali karbon yang disimpan oleh tanah dan tanaman pada tanah mineral (Tabel 3).

Tabel 3. Kandungan karbon di atas permukaan tanah (dalam biomassa tanaman) dan di bawah permukaan tanah pada hutan gambut dan hutan tanah mineral ($t\ ha^{-1}$).

Komponen	Hutan gambut	Hutan primer tanah mineral
Atas permukaan tanah	150-200	200-350
Bawah permukaan tanah	300-6.000	30-300

5.2. Emisi gas rumah kaca

Emisi dan penambatan karbon pada lahan gambut berlangsung secara simultan, namun besaran masing-masingnya tergantung keadaan alam dan campur tangan manusia. Dalam keadaan hutan alam yang pada umumnya jenuh air (suasana anaerob), penambatan (sekuestrasi) karbon berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan dekomposisi. Karena itu gambut tumbuh dengan kecepatan

antara 0-3 mm tahun⁻¹ (Parish *et al.*, 2007). Pada tahun-tahun di mana terjadi kemarau panjang, misalnya tahun El-Niño, kemungkinan besar gambut tumbuh negatif (menipis) disebabkan lapisan permukaannya berada dalam keadaan tidak jenuh (aerob) dalam waktu yang cukup lama sehingga emisi karbon lebih cepat dari penambatan.

Gas rumah kaca (GRK) utama yang keluar dari lahan gambut adalah CO₂, CH₄ dan N₂O. Emisi CO₂ jauh lebih tinggi dibandingkan dengan emisi CH₄ (walaupun dikalikan dengan *global warming potential*nya setinggi 23 kali CO₂) (Tabel 4) dan emisi N₂O. Dengan demikian data emisi CO₂ sudah cukup kuat untuk merepresentasikan emisi dari lahan gambut, apabila pengukuran GRK lainnya seperti CH₄ dan N₂O sulit dilakukan.

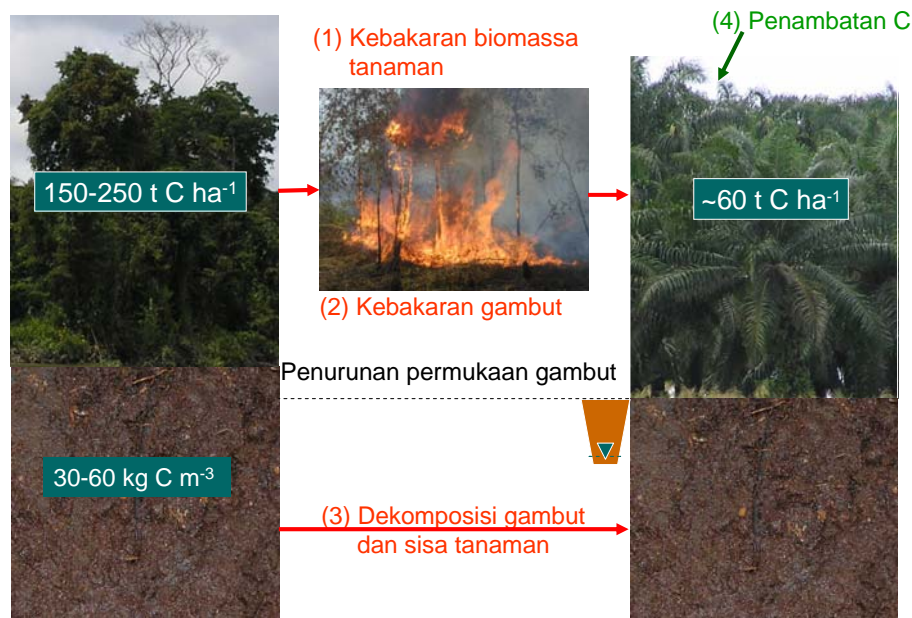
Konversi hutan dan pengelolaan lahan gambut, terutama yang berhubungan dengan drainase dan pembakaran, merubah fungsi lahan gambut dari penambat karbon menjadi sumber emisi GRK. Lahan hutan yang terganggu (yang kayunya baru ditebang secara selektif) dan terpengaruh drainase, emisinya meningkat tajam, bahkan bisa lebih tinggi dibandingkan emisi dari lahan pertanian yang juga didrainase (Tabel 4). Hal ini disebabkan oleh banyaknya bahan organik segar yang mudah terdekomposisi pada hutan terganggu.

Emisi CH₄ cukup signifikan pada lahan hutan gambut yang tergenang atau yang muka air tanahnya dangkal (<40 cm). Dengan bertambahnya kedalaman muka air tanah, emisi CH₄ menjadi tidak nyata. Emisi CH₄ pada lahan pertanian relatif kecil karena rendahnya pasokan bahan organik segar yang siap terdekomposisi secara anaerob (Jauhiainen *et al.*, 2004).

Bentuk intervensi manusia yang sangat mempengaruhi fungsi lingkungan lahan gambut adalah penebangan hutan gambut, pembakaran hutan gambut dan drainase untuk berbagai tujuan; baik untuk pertanian, kehutanan (hutan tanaman industri), maupun untuk pemukiman.

Tabel 4. Emisi karbon dari permukaan hutan gambut terdegradasi dan dari lahan pertanian gambut terlantar di Kalimantan Tengah (Jauhiainen *et al.*, 2004 dalam Rieley *et al.*, 2008).

Penggunaan lahan	Emisi CO ₂	Emisi CH ₄
	t ha ⁻¹ tahun ⁻¹	
Hutan gambut tidak didrainase	38,9±0,3	0,014±0,006
Hutan gambut yang terpengaruh drainase	40,0	0,013
Hutan gambut sekunder, bekas tebang bersih	34,0	0,001
Lahan pertanian berdrainase, dalam keadaan tidak dikelola	19,28	0,001



Gambar 8. Skema proses yang berhubungan dengan pembukaan hutan gambut menjadi lahan perkebunan.

5.2.1. Emisi dari kebakaran biomassa tanaman

Biomassa tanaman pada hutan lahan basah menyimpan sekitar 200 t C ha⁻¹ (Rahayu *et al.*, 2005). Karbon yang tersimpan tersebut akan hilang dengan cepat apabila hutan ditebang. Penebangan yang diikuti dengan pembakaran mempercepat proses emisi dari biomassa hutan gambut.

Sekitar 50% dari kayu penebangan hutan dipanen untuk dijadikan berbagai bahan perabotan dan perumahan. Karbon di dalamnya akan tersimpan dalam waktu cukup lama (10-25 tahun) sehingga bisa dianggap menjadi bagian dari karbon tersimpan satu sampai tiga dekade sesudah hutan dibuka, tergantung kualitas kayunya. Sisa pohon yang tertinggal di atas permukaan tanah akan teremisi dalam waktu yang relatif singkat, baik karena terbakarnya biomassa kayu-kayuan tersebut, maupun karena pelapukan secara biologis. Dari 100 t C ha⁻¹ biomassa tanaman yang tidak digunakan sebagai produk kayu hasil hutan, akan menjelma menjadi sekitar 367 t CO₂ ha⁻¹ bila teroksidasi secara sempurna.

5.2.2. Kebakaran lapisan gambut

Apabila biomassa tanaman hutan gambut terbakar, maka tidak hanya biomassa tanaman saja yang akan terbakar, tetapi juga beberapa centimeter lapisan gambut bagian atas yang berada dalam keadaan kering. Lapisan gambut ini akan

rentan kebakaran apabila muka air tanah lebih dalam dari 30 cm. Pada tahun El-Nino seperti tahun 1997, muka air tanah menjadi lebih dalam karena penguapan sehingga lapisan atas gambut menjadi sangat kering. Dalam keadaan demikian kebakaran gambut dapat mencapai ketebalan 50 cm (Page *et al.*, 2002). Dalam keadaan ekstrim ini bara api pada tanah gambut dapat bertahan berminggu-minggu. Untuk tahun normal Hatano (2004) memperkirakan kedalaman gambut yang terbakar sewaktu pembukaan hutan sedalam 15 cm. Apabila kandungan karbon gambut rata-rata adalah 50 kg m^{-3} (berkisar antara 30 sampai 60 kg m^{-3} ; Gambar 8) maka dengan terbakarnya 15 cm lapisan gambut akan teremisi sebanyak 75 t C ha^{-1} atau ekuivalen dengan $275 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$.

5.2.3. Emisi dari dekomposisi gambut

Proses emisi pada lahan gambut tidak berhenti sesudah pembukaan hutan. Selama masa budidaya tanaman pertanian, emisi dalam jumlah tinggi tetap terjadi disebabkan dekomposisi gambut oleh mikroorganisme. Tingkat dekomposisi gambut sangat dipengaruhi oleh kedalaman drainase; semakin dalam drainase, semakin cepat terjadinya dekomposisi gambut.

Hooijer *et al.* (2006) dari review sejumlah literatur mengemukakan bahwa, untuk kedalaman drainase antara 30 sampai 120 cm, emisi akan meningkat setinggi $0,91 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$ untuk setiap penambahan kedalaman drainase sedalam 1 cm. Apabila untuk kelapa sawit drainase rata-ratanya diasumsikan sedalam 60 cm, dengan menggunakan hubungan tersebut maka emisi tahunan adalah sekitar $54,6 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$.

Akan tetapi nilai emisi sangat bervariasi antar berbagai penelitian. Misalnya, penelitian Murayama dan Bakar (1996a dan 1996b), pada perkebunan kelapa sawit dengan kedalaman drainase 80 cm menemukan tingkat emisi setinggi $54 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$, namun Hadi *et al.* (2001) dari pengukuran emisi di hutan gambut sekunder menemukan emisi setinggi $127 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$. Selanjutnya Barchia dan Sabiham (2002) mendapatkan emisi dari sawah gambut di Kalimantan Tengah setinggi $4 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$, sedangkan Hadi *et al.* (2001) menemukan emisi dari sawah gambut di Kalimantan Selatan setinggi $88 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$. Germer dan Sauerborn (2008) mengusulkan angka perkiraan emisi dari dekomposisi gambut yang ditanami kelapa sawit setinggi $31,4 \pm 14,1 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$. Dalam buku ini digunakan angka perkiraan emisi berdasarkan persamaan Hooijer *et al.* (2006), yaitu sebesar $54,6 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$ untuk perkebunan kelapa sawit yang kedalaman drainasenya sekitar 60 cm. Nilai ini setara dengan hasil pengukuran Melling *et al.* (2005) sebesar $55 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$ dan angka hasil pengukuran Murayama dan Bakar (1996a dan 1996b) sebesar $54 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$.

Untuk perkebunan karet diasumsi nilai emisi dari dekomposisi gambut sebesar $18 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$. Walaupun persamaan Hooijer *et al.* (2008) berlaku untuk kisaran kedalaman drainase antara 30-120 cm, namun tingkat emisi setinggi

18 t CO₂ ha⁻¹ tahun⁻¹ berdasarkan persamaan ini sebanding dengan hasil pengukuran Jauhiainen *et al.*, (2004) sebesar 19 t CO₂ ha⁻¹ tahun⁻¹ (Table 4).

Berbagai faktor seperti kadar air tanah, pemupukan, dan suhu tanah, sangat mempengaruhi jumlah emisi selain kedalaman muka air tanah gambut. Informasi tentang berbagai faktor ini diperlukan untuk menyertai data emisi. Selain itu, data pengukuran emisi GRK seperti yang dikutip terdahulu kebanyakan berasal dari pengukuran jangka pendek sehingga memberikan gambaran emisi sesaat yang bisa jauh lebih tinggi atau jauh lebih rendah dari nilai emisi tahunan yang sebenarnya. Pengukuran emisi GRK jangka panjang dan berulang, diperlukan untuk meningkatkan keyakinan tentang dugaan emisi tahunan yang berasal dari proses dekomposisi gambut ini.

5.2.4. Penambatan C oleh tanaman

Selama masa pertumbuhan tanaman akan terjadi penambatan karbon yang jumlahnya sangat ditentukan oleh jumlah biomassa tanaman. Tanaman jagung, misalnya, hanya mampu mengumpulkan sekitar 2-4 t ha⁻¹ karbon dalam biomassa keringnya pada puncak pertumbuhan vegetatif. Akan tetapi jumlah karbon yang di simpan tanaman dihitung bukan berdasarkan jumlah maksimum, melainkan berdasarkan rata-rata waktu (*time average carbon*). Artinya, jumlah karbon tersimpan harus dirata-ratakan sejak tanah mengalami masa bera (tidak ada tanaman) sampai tanaman mencapai puncak pertumbuhan. Dengan demikian, jumlah karbon rata-rata waktu yang disimpan dalam biomassa tanaman jagung hanya berkisar antara 1-3 t ha⁻¹. Kelapa sawit mampu menyimpan lebih dari 80 t C ha⁻¹. Akan tetapi jumlah tersebut dicapai setelah 10-15 tahun pertumbuhan sehingga jumlah karbon rata-rata waktu yang ditambat oleh tanaman kelapa sawit sekitar 60.4 t ha⁻¹ (Rogi, 2002) atau rata-rata sekitar 2,44 t C ha⁻¹ tahun⁻¹ dan ekuivalen dengan 8,95 t CO₂ ha⁻¹ tahun⁻¹.

5.2.5. Contoh perhitungan emisi CO₂ netto

Penggunaan lahan awal sebelum lahan gambut dijadikan lahan pertanian, jenis tanaman serta teknik pengelolaan lahan, menentukan jumlah emisi GRK netto yang berasal dari suatu sistem penggunaan lahan. Berdasarkan uraian pada Bagian 5.2.1 sampai 5.2.4. disusun ringkasan asumsi yang digunakan dalam perhitungan emisi netto (Tabel 5) dan dari Tabel 5 dihitung jumlah emisi netto untuk satu siklus produksi kelapa sawit dan karet selama 25 tahun (Tabel 6; Agus *et al.*, 2008).

Tabel 5. Asumsi dalam perhitungan emisi CO₂ netto.

Aspek	Lahan Gambut†	Catatan
Karbon tersimpan pada biomassa hutan gambut (t C ha ⁻¹)	200±65	50% biomassa dijadikan produk hasil hutan (<i>timber forest product</i>) dan dianggap sebagai bagian karbon tersimpan selama satu siklus produksi kelapa sawit (25 tahun).
Karbon tersimpan biomassa belukar (t C ha ⁻¹)	15±5	100% biomassa belukar terdekomposisi atau terbakar segera sesudah pembukaan lahan
Karbon tersimpan rata-rata pada biomassa termasuk pelepah kelapa sawit, (t C ha ⁻¹)	60,4±20	Rogi (2002)
Karbon tersimpan pada biomassa karet agroforestri (t C ha ⁻¹)	68±23	Rata-rata dari Palm <i>et al.</i> (2004)
Simpanan karbon gambut (kg C m ⁻³)	50±20	15 cm gambut terbakar sewaktu pembukaan hutan dan 5 cm gambut terbakar sewaktu pembukaan belukar gambut
Emisi dari dekomposisi gambut pada perkebunan kelapa sawit (t CO ₂ ha ⁻¹ tahun ⁻¹)	54,6 ± 18,3	Murayama dan Bakar (1996a dan 1996b); Melling <i>et al.</i> (2005); Hooijer <i>et al.</i> (2006)
Emisi dari dekomposisi gambut pada perkebunan karet (t CO ₂ ha ⁻¹ tahun ⁻¹)	18,2±6,0	Disamakan dengan emisi lahan pertanian terlanter berdasarkan Jauhiainen <i>et al.</i> , (2004)

† Pada umumnya eror diasumsi 33%.

Dari Tabel 6 terlihat bahwa komponen utama emisi pada perkebunan kelapa sawit adalah dekomposisi gambut yang besarnya antara lain ditentukan oleh kedalaman drainase. Pada perkebunan kelapa sawit kedalaman drainase diasumsikan rata-rata 60 cm. Emisi dari dekomposisi gambut perkebunan karet jauh lebih rendah karena tanaman karet memerlukan drainase yang jauh lebih dangkal (diasumsikan sedalam 20 cm). Sistem pertanian lain yang tidak memerlukan atau memerlukan drainase dangkal, seperti perkebunan sagu atau padi sawah mengeluarkan emisi dari dekomposisi gambut yang sedikit pula.

Emisi dari penebangan dan pembakaran/dekomposisi biomassa hutan gambut serta kebakaran lapisan gambut juga signifikan jumlahnya. Emisi dari kedua komponen ini menurun tajam apabila lahan yang dikonversi menjadi lahan perkebunan adalah belukar gambut. Relatif sedikitnya biomassa pada belukar gambut (diasumsikan 15 t C ha⁻¹) menyebabkan emisi CO₂ dari kebakaran biomassa dan kebakaran lapisan gambut menjadi sedikit pula. Dengan demikian, apabila lahan yang digunakan untuk perkebunan adalah lahan yang sudah berubah menjadi semak belukar, maka emisi yang terjadi sewaktu pembukaan hutan akan jauh berkurang.

Tabel 6. Sumber dan perkiraan besaran emisi dan penambatan karbon dari konversi hutan atau belukar lahan gambut menjadi perkebunan sawit atau karet.

Sumber emisi/penjerapan karbon	Emisi dari penggunaan lahan awal hutan atau belukar gambut menjadi perkebunan sawit atau karet			
	Hutan gambut		Belukar gambut	
	Sawit	Karet	Sawit	Karet
t CO ₂ ha ⁻¹ per 25 tahun				
Kebakaran/dekomposisi biomassa vegetasi awal	367	367	55	55
Kebakaran lapisan atas gambut	275	275	92	92
Dekomposisi gambut	1365	455	1365	455
Jumlah emisi	2.007	1.097	1.512	602
Penjerapan (sequestrasi) oleh tanaman	222	207	222	207
Emisi netto	1.786	890	1.290	394
t CO ₂ ha ⁻¹ tahun ⁻¹				
Kebakaran/dekomposisi biomassa vegetasi awal	14,7	14,7	2,2	2,2
Kebakaran lapisan atas gambut	11,0	11,0	3,7	3,7
Dekomposisi gambut	54,6	18,2	54,6	18,2
Jumlah emisi	80,3	43,9	60,5	24,1
Penjerapan (sequestrasi) oleh tanaman	8,9	8,3	8,9	8,3
Emisi netto	71,4	35,6	51,6	15,8

Catatan: Error (galat) kurang lebih 30% dari nilai yang ada pada tabel ini.

5.3. Subsiden

Penurunan permukaan lahan gambut (subsiden) terjadi segera sesudah lahan gambut didrainase. Pada umumnya subsiden yang berlebihan bersifat tidak dapat balik. Hanya melalui penjenuhan yang sempurna dan dalam waktu yang lama masalah subsiden dapat diatasi secara perlahan.

Kecepatan subsiden tergantung pada banyak faktor, antara lain tingkat kematangan gambut, tipe gambut, kecepatan dekomposisi, kepadatan dan ketebalan gambut, kedalaman drainase, iklim, serta penggunaan lahan (Stewart, 1991; Salmah *et al.*, 1994, Wösten *et al.*, 1997).

Proses subsiden gambut dapat dibagi menjadi empat komponen:

1. Konsolidasi yaitu pemadatan gambut karena pengaruh drainase. Dengan menurunnya muka air tanah, maka terjadi peningkatan tekanan dari lapisan gambut di atas permukaan air tanah terhadap gambut yang berada di bawah muka air tanah sehingga gambut terkonsolidasi (menjadi padat).

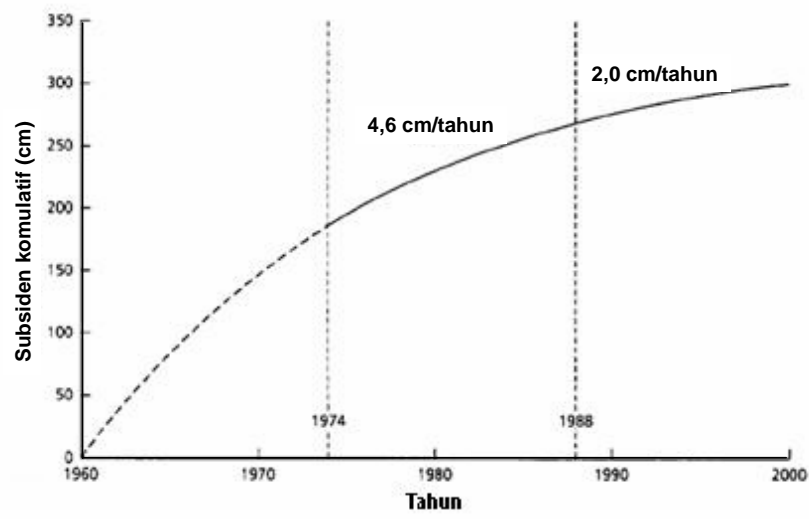
2. Pengkerutan yaitu pengurangan volume gambut di atas muka air tanah karena proses drainase/pengeringan.
3. Dekomposisi/oksidasi yaitu menyusutnya massa gambut akibat terjadinya dekomposisi gambut yang berada dalam keadaan aerobik.
4. Kebakaran yang menyebabkan menurunnya volume gambut.

Kedalaman muka air tanah merupakan faktor utama penentu kecepatan subsiden karena sangat mempengaruhi keempat proses di atas. Faktor lain yang ikut mempengaruhi adalah penggunaan alat-alat berat dan pemupukan.

Proses subsiden berlangsung sangat cepat; bisa mencapai 20-50 cm tahun⁻¹ pada awal dibangunnya saluran drainase (Welch dan Nor, 1989), terutama disebabkan besarnya komponen konsolidasi dan pengkerutan. Dengan berjalannya waktu maka subsiden mengalami kestabilan. Pada kasus di Sarawak, seperti diperlihatkan pada Gambar 9, subsiden mencapai kestabilan pada tingkat $2 \pm 1,5$ cm tahun⁻¹ sesudah sekitar 28 tahun semenjak lahan didrainase. Kedalaman muka air tanah rata-rata mempunyai hubungan linear dengan tingkat subsiden. Untuk Sarawak, Malaysia, dengan kedalaman air tanah rata-rata 100 cm, subsiden bisa mencapai 8 cm tahun⁻¹ dan untuk kedalaman muka air tanah rata-rata 25 cm, subsiden sekitar 2 cm tahun⁻¹ (Wösten *et al.*, 1997).

Dengan tingkat subsiden, misalnya 4 cm/tahun, maka dalam 25 tahun (satu siklus tanaman tahunan) permukaan gambut akan turun sekitar 100 cm. Untuk tanah gambut sulfat masam potensial (dengan lapisan pirit dangkal) maka subsiden ini akan menyingkap lapisan pirit sehingga pirit teroksidasi membentuk H_2SO_4 dan menjadikan tanah sangat masam dan tidak bisa ditanami lagi.

Penurunan permukaan gambut juga menyebabkan menurunnya kemampuan gambut menahan air. Apabila kubah gambut sudah mengalami penciutan setebal satu meter, maka lahan gambut tersebut akan kehilangan kemampuannya dalam menyangga air sampai 90 cm atau ekuivalen dengan 9.000 m³ ha⁻¹. Dengan kata lain lahan disekitarnya akan menerima 9.000 m³ air lebih banyak bila terjadi hujan deras. Sebaliknya karena sedikitnya cadangan air yang tersimpan selama musim hujan, maka cadangan air yang dapat diterima oleh daerah sekelilingnya menjadi lebih sedikit dan daerah sekitarnya akan rentan kekeringan pada musim kemarau.



Gambar 9. Subsiden gambut yang didrainase dari studi kasus di Sarawak, Malaysia. Tahun 1960 adalah tahun dimulainya drainase (Wösten *et al.*, 1997).

VI. KONSERVASI LAHAN GAMBUT

Sebagaimana diuraikan pada bab terdahulu, ekosistem gambut merupakan penyangga hidrologi dan cadangan karbon yang sangat penting bagi lingkungan hidup. Oleh karenanya, ekosistem ini harus dilindungi agar fungsinya dapat dipertahankan sampai generasi mendatang.

Aspek legal mengenai konservasi lahan gambut diatur dalam Keputusan Presiden No. 32 tahun 1990 tentang kawasan lindung. Perlindungan terhadap kawasan gambut dimaksudkan untuk mengendalikan hidrologi wilayah, yang berfungsi sebagai penyimpan air dan pencegah banjir, serta melindungi ekosistem yang khas di kawasan yang bersangkutan. Konservasi lahan gambut juga dimaksudkan untuk meminimalkan teremisinya karbon tersimpan yang jumlahnya sangat besar.

Konservasi kawasan gambut sangat penting karena hasil penelitian menunjukkan bahwa telah terjadi penyusutan luasan gambut di beberapa tempat di Indonesia. Di kawasan Delta Pulau Petak pada tahun 1952 masih tercatat sekitar 51.360 ha lahan gambut. Pada tahun 1972 kawasan gambut di daerah tersebut menyusut menjadi 26.400 ha dan selanjutnya pada tahun 1992 menyusut lagi menjadi 9.600 ha (Sarwani dan Widjaja-Adhi, 1994). Hal ini menunjukkan bahwa laju kerusakan gambut berjalan sangat cepat. Selain hilangnya fungsi hidrologis lahan gambut, ada bahaya lain bila tanah mineral di bawah lapisan gambut adalah tanah mineral berpirit. Saat ini sebagian besar dari bekas kawasan gambut tersebut menjadi lahan sulfat masam aktual terlantar dan menjadi sumber pencemaran lingkungan perairan di daerah sekitarnya.

Semakin tebal gambut, semakin penting fungsinya dalam memberikan perlindungan terhadap lingkungan, dan sebaliknya semakin ringkih (*fragile*) jika dijadikan lahan pertanian. Pertanian di lahan gambut tebal lebih sulit pengelolaannya dan mahal biayanya karena kesuburannya rendah dan daya dukung (*bearing capacity*) tanahnya rendah sehingga sulit dilalui kendaraan pengangkut sarana pertanian dan hasil panen. Gambut tipis, tetapi berpotensi sulfat masam (mempunyai lapisan pirit relatif dangkal), juga sangat berbahaya kalau dikonversi menjadi lahan pertanian.

Gambut dengan ketebalan <3 m masih bisa digunakan untuk budidaya tanaman dengan syarat tidak masuk dalam kawasan lindung, substratumnya bukan pasir kuarsa dan tingkat kematangannya tidak saprik atau hemik (BB Litbang SDLP, 2008) serta tidak berpotensi sulfat masam. Untuk kawasan yang memenuhi syarat tersebut, dalam pemanfaatannya juga harus tetap berdasarkan pendekatan konservasi.

Widjaja-Adhi (1997) menyarankan agar wilayah ekosistem lahan gambut dibagi menjadi 2 kawasan yaitu: kawasan non-budidaya dan kawasan budidaya. Kawasan non-budidaya terdiri dari (a) jalur hijau sepanjang pantai dan tanggul sungai dan (b) areal tampung hujan yang luasnya minimal 1/3 dari seluruh kawasan.

Kawasan yang dijadikan sebagai areal tampung hujan adalah bagian kubah gambut (*peat dome*) sehingga harus menjadi kawasan konservasi. Kubah gambut berfungsi sebagai penyimpan air (*resevoir*) yang bisa mensuplai air bagi wilayah di sekitarnya, terutama pada musim kemarau, baik untuk air minum maupun usaha tani. Pada musim hujan kawasan ini berfungsi sebagai penampung air yang berlebihan sehingga mengurangi risiko banjir bagi wilayah di sekitarnya. Hal ini dimungkinkan karena gambut memiliki daya memegang air sangat besar yaitu sampai 13 kali bobot keringnya. Perlindungan terhadap kawasan tampung hujan akan menjamin kawasan sekitarnya menjadi lebih produktif.

Dengan mempertahankan kawasan lindung gambut petani mampu bertahan hidup dari usahatani di lahan gambut sejak puluhan tahun yang lalu. Namun kecenderungan membuka lahan gambut secara berlebihan sangat mengancam kehidupan tidak saja masyarakat yang hidup di lahan gambut tersebut, tetapi juga masyarakat di lingkungan yang lebih luas.

Apabila dikelola dengan baik dan benar lahan gambut bisa mendatangkan keuntungan ekonomi dan sekaligus mempertahankan karbon yang tersimpan serta memelihara keanekaragaman hayati. Pemanfaatan lahan gambut dengan merubah ekosistemnya tidak menjamin keuntungan ekonomi, bahkan seringkali mendatangkan kerugian bagi masyarakat, seperti yang terjadi pada lahan bekas PLG di Kalimantan Selatan. Untuk mendapatkan keuntungan ekonomi dan lingkungan sekaligus dari lahan gambut diperlukan keseimbangan antara pemanfaatan dan perlindungan.

Ada beberapa pendekatan yang dapat ditempuh dalam rangka konservasi lahan gambut: (i) menanggulangi kebakaran hutan dan lahan gambut, (ii) penanaman kembali dengan tanaman penambat karbon tinggi (tanaman pohon-pohonan), (iii) pengaturan tinggi muka air tanah, (iv) memanfaatkan lahan semak belukar yang terlantar, (v) penguatan peraturan perundang-undangan dan pengawasan penggunaan dan pengelolaan lahan gambut, dan (vi) pemberian insentif dalam konservasi gambut.

6.1. Menanggulangi kebakaran hutan dan lahan gambut

Hutan dan lahan gambut dapat terbakar karena kesengajaan atau ketidaksengajaan. Faktor pemicu parahnya kebakaran hutan dan lahan gambut adalah kemarau yang ekstrim (misalnya pada tahun El-Nino) dan/atau penggalian drainase lahan gambut secara berlebihan.

Api dapat dicegah melalui perbaikan sistem pengelolaan air (meninggikan muka air tanah), peningkatan kewaspadaan terhadap api serta pengendalian api apabila terjadi kebakaran. Salah satu bentuk pengendalian kebakaran adalah dengan cara memblok saluran drainase yang sudah terlanjur digali, terutama pada lahan terlantar seperti di daerah eks Pengelolaan Lahan Gambut (PLG) sejuta ha, sehingga muka air tanah lebih dangkal.

Sistem pertanian tradisional di beberapa tempat di lahan gambut melakukan praktek pembakaran sebagai salah satu cara untuk menyuburkan tanah (lihat Bagian 4.1.4). Sistem ini dapat menyebabkan emisi dan subsiden relatif tinggi. Praktek tersebut dilakukan karena petani tidak mempunyai sarana untuk mendapatkan pupuk dan/atau amelioran (lihat Tabel 2) untuk meningkatkan kesuburan tanah. Oleh karena itu petani perlu dibantu untuk menerapkan sistem alternatif yang tidak melibatkan pembakaran gambut.

6.2. Penanaman kembali dengan tanaman penambat karbon

Tanaman pohon-pohonan menyumbangkan karbon lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman semusim. Penambatan karbon mendekati nol pada sistem padi dan sekitar $9 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$ untuk tanaman sagu, karet atau sawit. Namun karena sawit memerlukan drainase yang relatif dalam, maka penambatan karbon oleh tanaman sawit jauh lebih rendah dibandingkan dengan emisi karena terdekomposisinya gambut. Dengan demikian, gabungan dari tanaman yang menambat CO_2 dalam jumlah banyak serta yang toleran dengan drainase dangkal atau tanpa drainase, seperti sagu dan karet, merupakan pilihan utama dalam konservasi lahan gambut.

6.3. Pengaturan tinggi muka air tanah gambut

Seperti diuraikan pada Bagian 4.2.2 tentang pengelolaan air tanah gambut, penggunaan lahan yang memerlukan drainase dangkal seperti perkebunan karet, sagu, atau sawah dapat mengurangi jumlah emisi dibandingkan dengan sistem yang memerlukan drainase dalam. Selain itu lahan yang sudah terlanjur didrainase, apalagi lahan gambut yang terlanjur, perlu dinaikkan kembali muka air tanahnya, misalnya dengan membuat pintu air (Gambar 10) sehingga proses dekomposisi aerob dapat dikurangi.



Gambar 10. Pintu air tradisional untuk mengatur tinggi muka air.

Drainase sebidang lahan gambut tidak hanya berpengaruh pada bidang lahan yang didrainase saja, tetapi juga terhadap lahan dan hutan gambut di sekitarnya. Semakin dalam saluran drainase semakin besar dan luas pula pengaruhnya dalam menurunkan muka air lahan gambut sekitarnya, yang selanjutnya mempercepat emisi GRK. Oleh sebab itu konservasi lahan gambut melalui pendekatan hidrologi harus diterapkan pada seluruh hamparan (kubah) gambut.

6.4. Memanfaatkan lahan semak belukar yang terlantar

Tidak semua lahan yang mendapatkan konsesi penanaman sawit benar-benar digunakan untuk perkebunan kelapa sawit, sehingga berubah menjadi lahan terlantar. Lahan terlantar ini perlu diprioritaskan untuk perluasan areal pertanian. Dengan penggunaan semak belukar yang cadangan karbonnya sekitar 15 t C ha^{-1} , akan dapat dikurangi emisi dari kebakaran dan dekomposisi biomassa sebanyak 85 t C ha^{-1} atau $312 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$. Selain itu karena rendahnya jumlah biomassa yang dapat terbakar, maka ketebalan gambut yang terbakar sewaktu pembukaan lahan semak belukar juga dapat dikurangi (Tabel 6).

6.5. Penguatan perundang-undangan dan pengawasan penggunaan dan pengelolaan lahan

Aspek legal mengenai konservasi lahan gambut diatur dalam Keputusan Presiden No. 32 tahun 1990 tentang kawasan lindung. Perlindungan terhadap kawasan gambut dimaksudkan untuk mengendalikan hidrologi wilayah, yang berfungsi sebagai penyimpan air dan pencegah banjir, serta melindungi ekosistem yang khas di kawasan yang bersangkutan. Konservasi lahan gambut juga dimaksudkan untuk meminimalkan teremisinya cadangan karbon. Namun Keputusan Presiden tersebut tidak bisa berdiri sendiri tanpa adanya pengawasan dan komitmen dari semua pihak terkait.

6.6. Insentif dalam konservasi karbon lahan gambut

6.6.1. Mekanisme perdagangan karbon

Lahan gambut penting sebagai penyimpan karbon di muka bumi agar tidak menjelma menjadi CO_2 . Karbon yang dikandungnya akan bertahan, bahkan bertambah banyak apabila lahan gambut tetap dipertahankan sebagai hutan alam. Namun di lain pihak lahan gambut juga berpotensi untuk dijadikan lahan pertanian, bahkan sebagian hutan gambut cocok dijadikan lahan perkebunan yang menjanjikan keuntungan ekonomi.

Pada lahan gambut yang sesuai untuk perkebunan kelapa sawit, petani berpeluang untuk mendapatkan keuntungan kini bersih ($\text{NPV} = \text{net present value}$) antara Rp. 216.000 – Rp. 2.076.000 $\text{ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$ pada tingkat suku bunga 15% dan

kisaran harga minyak sawit mentah (CPO = *crude palm oil*) antara Rp. 6.000 – Rp. 10.000 kg⁻¹. Bila lahan dipertahankan sebagai hutan gambut sehingga karbon yang disimpannya dapat dipertahankan, berarti pemilik lahan kehilangan peluang untuk mendapatkan keuntungan (*opportunity cost*) senilai Rp. 216.000 – Rp. 2.076.000 ha⁻¹ tahun⁻¹ (Herman dan Agus, 2008).

Dari Tabel 6 terlihat bahwa perkebunan sawit pada lahan gambut berpotensi mengeluarkan emisi CO₂ rata-rata sebanyak 71,4 t ha⁻¹ tahun⁻¹. Jika hutan gambut dipertahankan (tidak dikonversi menjadi perkebunan kelapa sawit) maka emisi dari hutan gambut sebanyak 71,4 t ha⁻¹ tahun⁻¹ tersebut dapat dihindari.

Forum Perserikatan Bangsa-bangsa untuk Penanggulangan Perubahan Iklim (UNFCCC = *United Nations Framework Convention on Climate Change*) tengah merumuskan mekanisme imbalan untuk jasa konservasi karbon melalui mekanisme yang disebut dengan REDD (*Reducing Emissions from Deforestation and Degradation* = pengurangan emisi dari deforestasi dan degradasi hutan). Apabila tercapai kesempatan di kalangan negara anggota Perserikatan Bangsa Bangsa (PBB) maka REDD akan diberlakukan pada tahun 2012. Selain REDD, kelihatannya mekanisme yang sudah dianut sekarang, yaitu AR-CDM (*Afforestation Reforestation – Clean Development Mechanism* = Penghijauan dan penghutanan kembali sebagai Mekanisme Pembangunan Bersih) akan tetap dipertahankan sehingga mekanisme pembayaran jasa karbon akan merupakan gabungan dari mekanisme REDD dan AR-CDM.

Nilai jasa pengurangan emisi atau penambatan (*sequestration*) gas rumah kaca yang berlaku sekarang di pasar karbon di negara maju mencapai lebih dari US\$ 20 untuk setiap ton pengurangan emisi CO₂. Untuk bidang pertanian dan bidang-bidang lain dengan tingkat ketidakyakinannya (*uncertainty*) cukup tinggi, kemauan membayar (*willingness to pay*) jasa karbon dari negara maju bisa jauh lebih rendah dari harga resmi yang diberlakukan di pasar internasional. Jika seandainya negara maju berkemauan membayar pada tingkat US\$ 10 t⁻¹ CO₂, maka penyedia jasa karbon serta perangkat kelembagaan pendukungnya berpotensi menerima US\$10 t⁻¹ CO₂ x 71.4 t CO₂ ha⁻¹ tahun⁻¹ = US\$ 714 ha⁻¹ tahun⁻¹ selama masa perjanjian (25 tahun atau lebih). Artinya, dengan mempertahankan hutan gambut tetap sebagai hutan, pemilik lahan berpotensi mendapatkan bayaran setara dengan tingkat keuntungan perkebunan kebun sawit. Uang pembayaran tersebut merupakan hak bagi pemilik lahan dan lembaga yang memfasilitasi serta memonitor penerapan perjanjian perdagangan karbon serta dapat dijadikan modal untuk bidang usaha lain oleh petani/pemilik lahan.

Mekanisme REDD ataupun AR-CDM merupakan perjanjian jangka panjang dengan banyak persyaratan. Perjanjian yang dibuat oleh pemerintah dan masyarakat pada saat ini harus dipatuhi oleh pemerintah dan masyarakat yang akan datang selama masa berlakunya perjanjian tersebut. Selain itu, dengan pembatasan konversi hutan pada suatu tempat, di tempat lain tidak boleh terjadi peningkatan (*leakage*) konversi hutan dan perluasan perkebunan. Jika perjanjian dilakukan pada

suatu kabupaten, harus ada jaminan bahwa pada kabupaten lain tidak terjadi peningkatan konversi lahan di atas tingkat yang ada sekarang (*baseline*). Apabila ada pelanggaran terhadap isi perjanjian, maka pelanggar dikenakan sanksi sesuai dengan yang ditetapkan dalam perjanjian. Dengan demikian diperlukan kehati-hatian sebelum pemerintah dan masyarakat mengikat diri dalam perjanjian karbon. Jika pemerintah dan masyarakat yang ada sekarang tidak yakin bahwa pemerintah dan masyarakat yang akan datang bisa mentaati perjanjian, sebaiknya tidak terburu-buru mengikat diri dalam perjanjian ini. Negara mempunyai kedaulatan penuh untuk tidak mengikat diri dalam perjanjian, jika memang belum/tidak siap.

6.6.2. Mekanisme insentif lokal

Kerusakan hutan dan lahan gambut sebenarnya bukan semata-mata masalah internasional, akan tetapi merupakan masalah yang juga sangat berpengaruh kepada penduduk lokal. Pembukaan hutan gambut seperti diterangkan pada Bab 5 buku ini menyebabkan subsiden yang berpotensi menyebabkan daerah sekelilingnya rentan akan banjir dan kebakaran. Dengan demikian perlu dihindari penggunaan lahan gambut melalui cara-cara yang dapat mempercepat emisi GRK, misalnya penanaman tanaman yang memerlukan drainase dalam atau pembakaran seresah di atas lahan gambut.

Perubahan cara pengelolaan atau sistem penggunaan lahan kemungkinan memerlukan tambahan biaya atau menurunkan tingkat keuntungan finansial. Untuk itu diperlukan insentif di tingkat lokal untuk merubah sistem pertanian tersebut.

Pada Bagian 4.1.4 buku ini diterangkan bagaimana petani tradisional menggunakan abu hasil pembakaran gambut untuk meningkatkan kesuburan tanah. Untuk mengendalikan cara yang merusak gambut dan lingkungan ini, dapat diberikan insentif, misalnya dalam bentuk subsidi pupuk yang disertai dengan teknologi pengelolaan kesuburan tanah.

Insentif agar petani lebih memilih bertanam karet yang lebih rendah tingkat emisinya dibandingkan dengan bertanam kelapa sawit dapat diberikan, misalnya dalam bentuk penyediaan bibit karet '*clone*' unggul dan penyederhanaan sistem pemasaran sehingga harga jual di tingkat petani lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F., T. June, H. Komara, H. Syahbuddin, E. Runtunuwu, dan E. Susanti. 2008. Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim dari Lahan Perkebunan. Laporan Tahunan 2008, Konsorsium Litbang Perubahan Iklim Sektor Pertanian. Balai Besar Sumber Daya Lahan Pertanian, Bogor.
- Agus, F. 2009. Cadangan karbon, emisi gas rumah kaca dan konservasi lahan gambut. Prosiding Seminar Dies Natalis Universitas Brawidjaya ke 46, 31 Januari 2009, Malang.
- Andriesse, J.P. 1994. Constraints and opportunities for alternative use options of tropical peat land. *In* B.Y. Aminuddin (Ed.). Tropical Peat; Proceedings of International Symposium on Tropical Peatland, 6-10 May 1991, Kuching, Sarawak, Malaysia.
- BB Litbang SDLP (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. 2008. Laporan Tahunan 2008, Konsorsium Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim pada Sektor Pertanian. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor.
- Diemont, W.H. and L.J. Pons. 1991. A preliminary note on peat formation and gleying in Mahakam inland floodplain, East Kalimantan, Indonesia. Proc. International Symposium on Tropical Peatland. 6-10 May 1991, Kuching, Serawak, Malaysia.
- Djaenudin, D., Marwan H., Subagjo H., dan A. Hidayat. 2003. Petunjuk Teknis Evaluasi Kesesuaian Lahan untuk Komoditas Pertanian. Balai Penelitian Tanah, Bogor.
- Driessen, P.M. 1978. Peat soils. pp: 763-779. In: IRRI. Soil and Rice. IRRI. Los Banos. Philippines.
- Driessen, P.M., dan H. Suhardjo. 1976. On the defective grain formation of sawah rice on peat. Soil Res. Inst. Bull. 3: 20 – 44.
- Germer, J., dan J. Sauaerborn. 2008. Estimation of the impact of oil palm plantation establishment on greenhouse gas balance. Environ. Development Sustainability 10:697-716.
- Hadi, A., Haridi, M., Inubushi, K., Purnomo, E., Razie, F. and Tsuruta, H. 2001. Effects of land-use change on tropical peat soil on the microbial population and emission of greenhouse gases. Microbes and Environments 16: 79-86.
- Halim, A. 1987. Pengaruh Pencampuran Tanah Mineral dan Basa dengan Tanah Gambut Pedalaman Kalimantan Tengah dalam Budidaya Tanaman Kedelai. Disertasi Fakultas Pascasarjana, IPB. Bogor.
- Hardjowigeno, S. 1986. Sumber daya fisik wilayah dan tata guna lahan: Histosol. Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor. Hal. 86-94.

- Hartatik, W., K. Idris, S. Sabiham, S. Djuniwati, dan J.S. Adiningsih. 2004. Pengaruh pemberian fosfat alam dan SP-36 pada tanah gambut yang diberi bahan amelioran tanah mineral terhadap serapan P dan efisiensi pemupukan P. Prosiding Kongres Nasional VIII HITI. Universitas Andalas. Padang.
- Hatano, R., Tomoaki, M., Untung, D., Limin, S.H., Syaiful, A. 2004. Impact of agriculture and wild fire on CO₂, CH₄ and N₂O emissions from tropical peat soil in Central Kalimantan, Indonesia, Necessity of Establishment of Inventory on Carbon Cycling in Tropical Peatland Ecosystems for Sustainable Agroproduction and Environmental Conservation, Report number 13574012, Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University, Sapporo, pp. 11-14.
- Herman dan F. Agus 2008. Analisis finansial dan opportunity cost emisi CO₂ dari perkebunan kelapa sawit. Laporan Tahunan 2008, Konsorsium Litbang Perubahan Iklim Sektor Pertanian. Balai Besar Sumber Daya Lahan Pertanian, Bogor.
- Hooijer, A., Silvius, M., Wösten, H., Page, S. 2006. PEAT-CO₂, Assessment of CO₂ emissions from drained peatlands in SE Asia, Delft Hydraulics report Q3943.
- Jauhiainen, J., Vasander, H., Jaya, A., Takashi, I., Heikkinen, J., Martikinen, P. 2004. Carbon balance in managed tropical peat in Central Kalimantan, Indonesia. In Wise Use of Peatlands - Proceedings of the 12th International Peat Congress, 06.-11.06.2004, Tampere, volume 1, Päivänen, J. (ed.), International Peat Society, Jyväskylä, pp. 653-659.
- Joosten, H. 2007. Peatland and carbon. pp. 99-117 *In*. Parish, F., Siri, A., Chapman, D., Joosten H., Minayeva, T., and Silvius M (eds.) Assessment on Peatland, Biodiversity and Climate Change. Global Environmental Centre, Kuala Lumpur and Wetland International, Wageningen.
- Kononova, M.M. 1968. Transformation of organic matter and their relation to soil fertility. Sov. Soil. Sci. 8:1047-1056.
- Mario, M.D. 2002. Peningkatan Produktivitas dan Stabilitas Tanah Gambut dengan Pemberian Tanah Mineral yang Diperkaya oleh Bahan Berkadar Besi Tinggi. Disertasi Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Murayama, S. and Bakar, Z.A. 1996a. Decomposition of tropical peat soils – 1. Decomposition kinetics of organic matter of peat soils. Japan Agricultural Research Quarterly 30: 145-151.
- Murayama, S. and Bakar, Z.A. 1996b. Decomposition of tropical peat soils – 2. Estimation of in situ decomposition by measurement of CO₂ flux. Japan Agricultural Research Quarterly 30: 153-158.
- Mutalib, A.Aa, J.S. Lim, M.H. Wong and L. Koonvai. 1991. Characterization, distribution and utilization of peat in Malaysia. Proc. International Symposium on Tropical Peatland. 6-10 May 1991, Kuching, Serawak, Malaysia.
- Noor, M. 2001. Pertanian Lahan Gambut: Potensi dan Kendala. Penerbit Kanisius. Jakarta.

- Nugroho, K., G. Gianinazzi and IPG. Widjaja-Adhi. 1997. Soil hydraulic properties of Indonesian peat. *In: Rieley and Page (Eds.).* pp. 147-156 *In Biodiversity and Sustainability of Tropical Peat and Peatland.* Samara Publishing Ltd. Cardigan. UK.
- Page, S.E., F. Siegert, J.O. Rieley, H-D.V. Boehm, A. Jaya, and S.H. Limin. 2002. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. *Nature* 420: 61-65.
- Parish, F., A. Sirin, D. Charman, H. Joosten, T. Minayeva, M. Silvius, and L. Stringer (Eds.). 2007. Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change: Main Report. Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen.
- Rachim, A. 1995. Penggunaan Kation-kation Polivalen dalam Kaitannya dengan Ketersediaan Fosfat untuk Meningkatkan Produksi Jagung pada Tanah Gambut. Disertasi. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Radjagukguk, B. 1997. Peat soil of Indonesia: Location, classification, and problems for sustainability. *In: Rieley and Page (Eds.).* pp. 45-54. *Biodiversity and Sustainability of Tropical Peat and Peatland.* Samara Publishing Ltd. Cardigan. UK.
- Rahayu, S., B. Lusiana, dan M. van Noordwijk. 2005. Above ground carbon stock assessment for various land use systems in Nunukan, East Kalimantan. pp. 21-34. In: Lusiana, B., van Noordwijk, M., and Rahayu, S. (eds.) *Carbon Stock Monitoring in Nunukan, East Kalimantan: A Spatial and Modelling Approach.* World Agroforestry Centre, SE Asia, Bogor, Indonesia.
- Rieley, J.O., R.A.J. Wüst, J. Jauhiainen, S.E. Page, H. Wösten, A. Hooijer, F. Siegert, S.H. Limin, H. Vasander and M. Stahlhut. 2008. Tropical peatlands: carbon stores, carbon gas emissions and contribution to climate change Processes. pp. 148-182 *In M. Strack (Ed.) Peatlands and Climate Change.* International Peat Society, Vapaudenkatu 12, 40100 Jyväskylä, Finland.
- Rogi, J. E. X. 2002. Penyusunan Model Simulasi Dinamika Nitrogen Pertanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis*, Jacq.) di Unit Usaha Bekri Propinsi Lampung. Disertasi. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Sabiham, S., TB, Prasetyo and S. Dohong. 1997. Phenolic acid in Indonesian peat. *In: Rieley and Page (Eds.).* pp. 289-292. *Biodiversity and Sustainability of Tropical Peat and Peatland.* Samara Publishing Ltd. Cardigan. UK.
- Salampak. 1999. Peningkatan Produktivitas Tanah Gambut yang Disawahkan dengan Pemberian Bahan Amelioran Tanah Mineral Berkadar Besi Tinggi. Disertasi Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Salmah, Z., G. Spoor, A.B. Zahari, and D.N. Welch. 1994. Importance of water management in peat soil at farm level. In: B.Y. Aminuddin (Ed.). *Tropical Peat; Proceedings of International Symposium on Tropical Peatland*, 6-10 May 1991, Kuching, Sarawak, Malaysia.

- Saragih, E.S. 1996. Pengendalian Asam-Asam Organik Meracun dengan Penambahan Fe (III) pada Tanah Gambut Jambi, Sumatera. Tesis S2. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Sarwani, M. dan IPG. Widjaja Adhi. 1994. Penyusutan lahan gambut dan dampaknya terhadap produktivitas lahan pertanian di sekitarnya. Kasus Delta Pulau Petak, Kalimantan Selatan. Prosiding Seminar Nasional 25 Tahun Pemanfaatan Lahan Gambut dan Pengembangan Kawasan Pasang Surut. Jakarta, 14-15 Desember 1994.
- Soil Survey Staff. 2003. Key to Soil Taxonomy. 9th Edition. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service.
- Stevenson, F.J. 1994. Humus Chemistry. Genesis, Composition, and Reactions. John Wiley and Sons. Inc. New York. 443 p.
- Stewart, J.M. 1991. Subsidence in cultivated peatlands. In: B.Y. Aminuddin (Ed.). Tropical Peat; Proceedings of International Symposium on Tropical Peatland, 6-10 May 1991, Kuching, Sarawak, Malaysia.
- Suastika, I W. 2004. Efektivitas Amelioran Tanah Mineral Berpirit yang Telah Diturunkan Kadar Sulfatnya pada Peningkatan Produktivitas Tanah Gambut. Tesis S2. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Subiksa, IGM., Didi Ardi dan IPG. Widjaja Adhi. 1991. Pembandingan pengaruh P-alam dan TSP pada tanah sulfat masam (Typic Sulfaquent) Karang Agung Ulu Sumatera Selatan. Prosiding Pertemuan Pembahasan Hasil Penelitian Tanah, 3-5 Juni 1991, Cipayung, Jawa Barat.
- Subiksa, IGM., K. Nugroho, Sholeh and IPG. Widjaja Adhi. 1997. The effect of ameliorants on the chemical properties and productivity of peat soil. In: Rieley and Page (Eds). Pp:321-326. Biodiversity and Sustainability of Tropical Peatlands. Samara Publishing Limited, UK.
- Suhardjo, H. and I P.G. Widjaja-Adhi. 1976. Chemical characteristics of the upper 30 cm of peat soils from Riau. ATA 106. Bull. 3: 74-92. Soil Res. Inst. Bogor.
- Tie, Y.L. and J.S. Esterle. 1991. Formation of lowland peat domes in Serawak, Malaysia. Proc. International Symposium on Tropical Peatland. 6-10 May 1991, Kuching, Serawak, Malaysia.
- Tie, Y.L. and J.S. Lim. 1991. Characteristics and classification of organic soils in Malaysia. Proc. International Symposium on Tropical Peatland. 6-10 May 1991, Kuching, Serawak, Malaysia.
- Tim Institut Pertanian Bogor. 1974. Laporan survai produktivitas tanah dan pengembangan pertanian daerah Palangka Raya, Kalimantan Tengah. IPB. Bogor.
- Welch D.N. dan M.A.M. Nor. 1989. Drainage works on peat in relation to crop cultivation – a review of problems. Malaysian Soc. of Soil Sci., National Seminar on on Soil Management for Food and Fruit Crop Production, 28-29 March 1989, Kuala Lumpur.

- Widjaja-Adhi, I P.G. 1988. Physical and chemical characteristic of peat soil of Indonesia. *Ind. Agric. Res. Dev. J.* 10:59-64.
- Widjaja-Adhi, I P.G. 1997. Developing tropical peatlands for agriculture. *In*: J.O. Rieley and S.E. Page (*Eds.*). pp. 45-54. Biodiversity and sustainability of tropical peat and peatland. Proceedings of the International Symposium on Biodiversity, Environmental Importance and Sustainability of Tropical Peat and Peatlands, Palangka Raya, Central Kalimantan 4-8 September 1999. Samara Publishing Ltd. Cardigan. UK.
- Wösten, J.H.M., Ismail, A.B., and van Wijk, A.L.M. 1997. Peat subsidence and its practical implications: a case study in Malaysia. *Geoderma* 78:25-36.
- WWF. 2008. Deforestation, forest degradation, biodiversity loss and CO₂ emission in Riau, Sumatra, Indonesia: one Indonesian province's forest and peat soil carbon loss over a quarter century and it's plans for the future. WWF Indonesia Technical Report. www.wwf.or.id.