Petunjuk Praktis

PENGUKURAN CADANGAN KARBON TANAH GAMBUT

Fahmuddin Agus
Kurniatun Hairiah
Anny Mulyani

World Agroforestry Centre
dan
Balai Besar Penelitian dan Pengembangan
Sumberdaya Lahan Pertanian

Petunjuk Praktis

PENGUKURAN CADANGAN KARBON TANAH GAMBUT

Fahmuddin Agus[1], Kurniatun Hairiah[2], Anny Mulyani[1]

[1] Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor, Indonesia,
[2] Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

Sitasi

Agus F, Hairiah K, Mulyani A. 2011. Pengukuran Cadangan Karbon Tanah Gambut. Petunjuk Praktis. World Agroforestry Centre-ICRAF, SEA Regional Office dan Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian (BBSDLP), Bogor, Indonesia. 58 p.

Manual ini diterbitkan atas kerjasama World Agroforestry Centre (ICRAF South East Asia), Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian (BBSDLP), dan Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia.

Hak cipta

The World Agroforestry Centre (ICRAF) mempunyai hak cipta untuk publikasi dan halaman webnya namun mendorong duplikasi, tanpa perubahan, dari materi yang bertujuan tidak ekonomi (non-komersial). Diperlukan kutipan yang tepat dalam semua hal. Informasi yang dimiliki oleh orang lain yang memerlukan izin harus ditandai . Informasi yang disediakan oleh ICRAF, berdasarkan pengetahuan yang terbaik, adalah benar namun kami tidak menjamin informasi tersebut dan kami juga tidak bertanggung jawab terhadap kesalahan yang ditimbulkan dari penggunaan penggunaan informasi tersebut.

Link situs yang ICRAF sediakan memiliki kebijakan sendiri yang harus dihormati/dihargai. ICRAF menjaga database pengguna meskipun informasi ini tidak disebarluaskan dan hanya digunakan untuk mengukur kegunaan informasi tersebut. Tanpa pembatasan, silahkan menambah link situs kami HYPERLINK "http://www.worldagroforestrycentre.org" \t "_blank" www.worldagroforestrycentre.org pada situs anda atau ke dalam publikasi.

ISBN 978-979-3198-57-6

Kontak
Fahmuddin Agus (fahmuddin_agus@yahoo.com) Kurniatun Hairiah (kurniatunhairiah@gmail.com)
Anny Mulyani (a_mulyani2000@yahoo.com)

World Agroforestry Centre
ICRAF Asia Tenggara
Jl. CIFOR, Situ Gede, Sindang Barang
PO Box 161, Bogor 16001, Indonesia
Tel: +62 251 8625415
Fax: +62 251 8625416
www.worldagroforestrycentre.org/sea

Cover depan
Pelatihan pengambilan contoh tanah gambut di Kalimantan Selatan (Foto: Harti Ningsih)

Cover belakang
Projek ALLREDDI

Design dan Layout
Tikah Atikah (t.atikah@cgiar.org) dan Sadewa (sadewa@cgiar.org)

Daftar Isi

Daftar Gambar **v**
Daftar Tabel **vii**
Daftar Istilah **ix**
Kata Pengantar **xiii**

I. Latar Belakang **1**
1.1. Perbedaan Tanah Gambut dengan Tanah Mineral 2
1.2. Emisi Karbon pada Lahan Gambut di Indonesia 4

II. Sifat Gambut yang Berhubungan dengan Cadangan Karbon **9**
2.1. Berat Isi 9
2.2. Kandungan Karbon Tanah 10
2.3. Kematangan Gambut 11

III. Pengukuran Cadangan Karbon Tanah Gambut **15**
3.1. Penentuan Titik Pengambilan Contoh 15
3.2. Pengambilan Contoh Tanah 19
3.2.1. Pengambilan Contoh Tanah Gambut Menggunakan Bor Gambut 20
3.2.2. Pengambilan Contoh Tanah Utuh Menggunakan Ring 26
3.2.3. Pengambilan Contoh Tanah Menggunakan Kotak Besi 27
3.3. Pengukuran Berat Isi dan Kadar Bahan Organik 28
3.3.1. Berat Isi 29
3.3.2. Kandungan Karbon Organik Tanah 31
3.3.3. Penentuan Kematangan Gambut 37

IV. Penaksiran Emisi Gas Rumah Kaca **43**

Daftar Bacaan **55**

Daftar Gambar

Gambar 1. Skema proses pembentukan dan perkembangan ketebalan hamparan gambut pada suatu cekungan lahan basah: a. Pengisian danau dangkal oleh vegetasi lahan basah, b. Pembentukan gambut topogen, dan c. Pembentukan kubah gambut dengan gambut ombrogen berada di atas gambut topogen (dari Noor, 2001 mengutip van de Meene, 1982). 3

Gambar 2. Skema sistem penentuan pengambilan contoh dari suatu hamparan (kubah) gambut, dengan sistem grid atau petak beraturan (atas) dan sistem transek arah utara-selatan, barat-timur, barat laut-tenggara, timur laut-barat daya. ● = titik pengamatan. Koordinat setiap titik pengamatan perlu ditentukan dengan menggunakan global positioning system (GPS). 17

Gambar 3. Model peta kontur ketebalan gambut (atas) dan penampang ketebalan gambut (bawah), misalnya berdasarkan transek barat-timur. 18

Gambar 4. Plot pengamatan biomas dan nekromas (Hairiah *et al*., 2011) dan penempatan titik pengambilan contoh gambut. 18

Gambar 5. Bor gambut sebelum disambung dengan *extension rod* (tiang sambungan) (kiri); bor gambut yang sudah disambung dengan beberapa batang tiang sambungan (tengah); dan bagian-bagian dari bor gambut (kanan). 20

Gambar 6. Skema bagian *sampler* (bagian utama) bor gambut model *Ejkelkamp* yang terbuat dari besi stainless. Bagian utama bor ini terdiri atas setengah silinder yang dilengkapi sayap penutup (1), kerucut yang masif pada bagian bawah (2), dan sayap penutup (3) (Kiri). Foto kanan adalah close-up sampler dengan sayap penutup menghadap ke arah camera. Bagian cekung di bagian luar adalah posisi bor siap digunakan. 21

Gambar 7. Cara menggunakan bor gambut pada lahan yang terendam air. 22

Gambar 8. Contoh tanah gambut yang baru dikeluarkan dari tabung bor. Gambut pada gambar bawah lebih matang dibandingkan gambut pada gambar atas. 23

Gambar 9. Contoh gambut di dalam kantong plastik, dengan label yang lengkap dan tertutup rapat, siap diangkut ke laboratorium untuk analisis. 24

Gambar 10. Ring untuk pengambilan contoh tanah utuh; dengan penutup dan tanpa penutup ring. Ukuran ring yang biasa digunakan adalah, diameter 5 cm atau 7 cm dan tinggi antara 2,5-6,0 cm. Ring berdiameter kecil menyebabkan lebih banyak kerusakan contoh tanah. 27

Gambar 11. Tahapan pengambilan contoh tanah utuh menggunakan *ring* kuningan (dari pojok kiri atas ke pojok kanan bawah) 27

Gambar 12. Contoh gambut berbentuk kubus (kiri) dan contoh gambut yang mencair karena diambil dengan bor Eldeman dari kedalaman di bawah muka air tanah (kanan). 28

Gambar 13. Ilustrasi volume contoh tanah (gambut) yang terdiri dari padatan (V_s), cair (V_w) dan gas (*V*a) dan berat padatan (M_s), air (M_w) dan udara (M_a). Berat padatan, M_s, merupakan jumlah dari berat bahan organik, M_{bo}, dan berat abu M_{abu}. 30

Gambar 14. Lumpung porselen (*mortar* atau cawan porselen dan *pestle* atau alu penumbuk). 32

Gambar 15. Cawan porselen yang digunakan untuk pengabuan kering di dalam tanur (tungku pemanas/*furnace*). 33

Gambar 16. Penentuan kematangan gambut di lapangan dengan cara meremas segenggam contoh di kepalan tangan. Contoh pada tangan kanan berkematangan fibrik dan pada tangan kiri berkematangan hemik. 36

Gambar 17. Syringe bervolume 10 ml. 39

Gambar 18. Infra Red Gas Analyzer (IRGA) dan sungkup tertutup untuk pengukuran flux gas CO_2 yang keluar dari tanah. 46

Gambar 19. Pengambilan contoh gas dari sungkup tertutup (*closed chamber*) untuk selanjutnya diukur dengan gas chromatography. 47

Gambar 20. Laju subsiden gambut yang didrainase dari studi kasus di Sarawak, Malaysia (Wösten *et al*., 1997). Tahun 1960 adalah tahun dimulainya drainase. 49

Daftar Tabel

Tabel 1. Perbedaan karakteristik antara tanah gambut dan tanah mineral 4

Tabel 2. Rata-rata dan standar deviasi sifat gambut di pulau Sumatera dan Kalimantan (Agus et al., 2011). 35

Tabel 3. Contoh perhitungan cadangan karbon di dalam tanah gambut dari satu titik pengamatan. 36

Tabel 4. Penciri yang digunakan untuk membedakan tingkat kematangan gambut di lapangan dan di laboratorium 37

Tabel 5. Kalkulasi perubahan kandungan karbon gambut berdasarkan pengambilan contoh dengan bor gambut 119

Daftar Istilah

Bahan organik (*Organic matter*). Bahan yang berasal dari makhluk hidup yang dapat terdekomposisi atau merupakan hasil dekomposisi atau bahan yang terdiri dari senyawa organik.

Berat isi (BI) atau kerapatan lindak tanah (*Soil bulk density*). Berat kering tanah per satuan volume (termasuk volume padatan dan pori tanah yang terisi gas dan air).

Biomasa (*Biomass*). Masa (berat) dari organisme yang hidup terdiri dari tanaman dan hewan yang terdapat pada suatu areal. Satuannya adalah t/ha. Untuk bahasan di dalam manual ini biomasa adalah berat kering tanaman dalam satu satuan luas.

Biomasa di atas permukaan tanah (A*bove ground biomass*). Biomasa yang terdapat di atas permukaan tanah yang terdiri atas pohon-pohonan dan tanaman berukuran kecil.

Biomasa di bawah permukaan tanah (*Below ground biomass*). Biomasa yang terdapat di bawah permukaan tanah yang terdiri dari atas akar tanaman dan makhluk hidup di dalam tanah.

Cadangan karbon (*Carbon stock*). Jumlah berat karbon yang tersimpan di dalam ekosistem pada waktu tertentu, baik berupa biomasa tanaman, tanaman yang mati, maupun karbon di dalam tanah.

Ekivalen karbon dioksida (*Carbon dioxide equivalent*). Suatu ukuran yang digunakan untuk membandingkan daya pemanasan global gas rumah kaca tertentu relatif terhadap daya pemanasan global (global warming potential, GWP) gas CO_2. Misalnya, GWP metana (CH4) selama rata-rata 100 tahun adalah 25 dan dinitrogen oksida

(N_2O) adalah 298. Ini berarti bahwa emisi 1 juta t CH_4 dan 1 juta t N_2O, berturut-turut, ekivalen dengan 25 juta t dan 298 juta t CO_2 dalam menyebabkan pemanasan global.

Emisi (*Emissions*). Proses terbebasnya gas rumah kaca ke atmosfir.

Fluks (*Flux*). Kecepatan pengaliran gas rumah kaca, misalnya kecepatan pergerakan CO_2 dari dekomposisi bahan organik tanah ke atmosfir dalam satuan berat gas per luas permukaan tanah dalam satuan waktu tertentu (misalnya dengan satuan mg/m^2/jam).

Kandungan bahan organik tanah (*Soil organic matter content,* SOM). Masa bahan organik tanah untuk setiap satuan berat kering tanah. Satuannya adalah % berat atau g/kg (g bahan organik/kg tanah) atau t/t atau Mg/Mg. Kandungan bahan organik 98% berat = 980 g/kg = 0,98 Mg/Mg = 0,98 t/t.

Kandungan karbon organik tanah (*Soil organic carbon content*, C_{org}). Masa karbon untuk setiap satuan berat tanah. Satuannya adalah %berat atau g/kg (g C organik/kg tanah) atau t/t atau Mg/Mg. Bila analisis laboratorium hanya menghasilkan kandungan bahan organik (misalnya dengan metode pengabuan kering/LOI) maka kandungan C_{org} tanah diasumsikan 1/1,724 dari kandungan bahan organik tanah. Apabila tanah gambut mempunyai kandungan bahan organik 98% maka C_{org} = 98%/1,724 = 57% = 570 g/kg = 0,57 Mg/Mg = 0,57 t/t.

Karbon (*Carbon*). Unsur kimia bukan logam dengan simbol atom C yang banyak terdapat di dalam semua bahan organik dan di dalam bahan anorganik tertentu. Unsur ini mempunyai nomor atom 6 dan berat atom 12 g.

Karbon dioksida (*Carbon dioxide).* Gas dengan rumus CO_2 yang tidak berbau dan tidak bewarna, terbentuk dari berbagai proses seperti pembakaran dan/atau dekomposisi bahan organik dan letusan gunung berapi. Dewasa ini CO_2 terdapat di udara dengan konsentrasi sekitar 0,039% volume atau 388 ppm volume. Konsentrasi CO_2 cenderung meningkat dengan semakin banyaknya

penggunaan bahan bakar minyak dan gas bumi serta emisi dari bahan organik di permukaan bumi. Gas ini diserap oleh tanaman dalam proses fotosintesis. Berat molekul CO_2 adalah 44 g. Konversi dari berat C ke CO_2 adalah 44/12 atau 3,67.

Lahan gambut (*Peatland*). Lahan yang tanahnya kaya dengan sisa tanaman yang terdekomposisi sebagian, dengan kadar C organik tanah >18% dan ketebalan >50 cm. Tanah yang berada pada lahan gambut disebut **tanah gambut**. Lahan gambut banyak terdapat pada lahan basah (wetland). Tanah gambut tropis mempunyai kisaran ketebalan 0,5 - >15 m dan yang terbanyak antara 2-8 m. Lumut, rumput-rumputan, belukar dan pohon-pohonan dapat berkontribusi dalam pembentukan gambut dalam keadaan jenuh air.

Nekromasa atau tanaman yang mati (*Necromass/dead organic matter*). Berat dari makhluk hidup yang telah mati dalam keadaan kering oven, dalam satuan t/ha atau Mg/ha. Nekromasa terdiri atas sisa tanaman yang terdapat di atas permukaan tanah, namun sebagiannya bisa saja terkubur di dalam tanah. Penambahan nekromasa bisa terjadi karena matinya satu pohon atau lebih atau bisa karena matinya pohon dari lokasi tertentu karena kerusakan skala besar disebabkan kebakaran, serangan hama atau penyakit dan karena angin.

Neraca karbon (*Carbon budget*). Neraca dari terjadinya perpindahan karbon dari satu penyimpan karbon (carbon pool) ke penyimpan lainnya pada suatu siklus karbon tertentu, misalnya antara atmosfir dengan biosfir dan tanah**.**

Penggunaan lahan (*Land use*). Klasifikasi jenis kegiatan dan pekerjaan manusia di atas permukaan bumi, misalnya hutan, tanaman semusim, tanaman pohon-pohonan, perkebunan, perkotaan dan areal konservasi.

Penyerapan karbon (*Carbon sequestration*). Proses penyerapan karbon dari atmosfir ke penyimpan karbon tertentu seperti tanah dan tanaman.

Penyimpan karbon (***Carbon pool***). Reservoir atau subsistem yang mempunyai kemampuan menyimpan dan atau membebaskan karbon. Contoh penyimpan karbon adalah biomasa tanaman, hasil kayu, tanah, dan atmosfir.

Tanah gambut (Peat soil). Tanah yang terbentuk dari sisa tanaman yang terdekomposisi sebagian, dengan kandungan C organik >18% dan ketebalan >50 cm.

Kata Pengantar

Lahan gambut merupakan penyimpan karbon dalam jumlah sangat besar. Karbon yang terkandung di dalam tanah gambut bersifat tidak stabil. Dalam keadaan hutan alam karbon tersebut bertahan dalam bentuk bahan organik, namun apabila hutan gambut dibuka dan didrainase maka karbon yang disimpannya akan mudah terdekomposisi dan menghasilkan CO_2; salah satu gas rumah kaca terpenting. Selain itu drainase lahan gambut yang berlebihan menyebkan lahan gambut rentan terhadap kebakaran. Proses dekomposisi, konsolidasi (pemadatan) dan kebakaran meyebabkan gambut akan mengalami penyusutan (*subsidence*) dan kehilangan berbagai fungsinya dalam menyangga lahan sekitarnya dari kebanjiran dan kekeringan.

Sejalan dengan pertambahan penduduk maka sumberdaya lahan semakin langka sehingga lahan gambut yang dulunya dianggap sebagai lahan sisa (*wasteland*) semakin banyak digunakan untuk berbagai keperluan pembangunan ekonomi seperti pertanian dan pemukiman. Hal ini menyebabkan lahan gambut menjelma menjadi sumber emisi nasional yang tertinggi dari sektor yang berhubungan dengan penggunaan dan perubahan penggunaan lahan (LULUCF = *Land use land use change and forestry*). Oleh sebab itu di dalam aksi nasional penurunan emisi (NAMA = *nationally appropriate mitigation actions*) konservasi dan pengelolaan lahan gambut menjadi salah satu tumpuan utama.

Salah satu syarat dalam pelaksanaan penurunan emisi karbon melalui skema REDD (*Reducing Emissions from Deforestation and (forest) Degradation*) adalah MRV (*Measurable*, *Reportable* and *Verifiable*). MRV merupakan sistem untuk mendokumentasikan, melaporkan, dan memverifikasikan perubahan cadangan karbon secara transparan,

konsisten, dapat dibuktikan secara lengkap dan akurat. MRV perlu didukung oleh pengukuran cadangan dan perubahan cadangan karbon yang akurat, baik di atas maupun di bawah permukaan tanah. Buku ini memberikan petunjuk praktis pengambilan contoh gambut, analisis tanah gambut dan perhitungan jumlah serta interpretasi data cadangan karbon gambut. Di dalam buku ini juga diterangkan tentang hubungan perubahan cadangan karbon dengan emisi CO_2.

Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penulisan dan penerbitan buku ini. Semoga buku ini bermanfaat bagi pengguna yang bergerak di bidang MRV cadangan karbon di lahan gambut.

1

Foto: Maswar

Alih fungsi hutan gambut menjadi lahan pertanian memerlukan pengaturan drainase untuk perkembangan perakaran tanaman. Kedalaman saluran drainase perlu diusahakan sedangkal mungkin sehingga emisi CO_2 tidak terlalu tinggi.

Latar Belakang

Tanah merupakan salah satu dari tiga penyimpan karbon (*carbon pool*) di darat. Penyimpan lainnya adalah biomasa tanaman (tanaman hidup) dan tanaman yang mati (nekromasa) (IPCC, 2006). Cadangan karbon (*carbon stock*) yang terdapat di lahan hutan alami di seluruh dunia berjumlah sekitar 1.146 Gt (giga ton). Cadangan karbon di hutan alami di Asia bagian tropis relatif lebih tinggi dari pada di daerah sub-tropis, dengan rata-rata sekitar 41-54 Gt C di dalam tanaman dan sekitar 43 Gt di dalam tanah atau rata-rata sekitar 132-174 t/ha di dalam biomasa tanaman dan 139 t/ha di dalam tanah (Dixon *et al.*, 1994).

Indonesia dan beberapa negara lain di daerah tropis, terutama Malaysia, Papua New Guinea dan Brunei Darussalam, selain mempunyai tanah mineral (kering) juga mempunyai tanah gambut (Histosols). Tanah gambut menyimpan karbon jauh lebih besar dari pada tanah-tanah mineral. Jumlahnya bisa lebih dari sepuluh kali lipat karbon yang tersimpan pada tanah kering, tergantung dari ketebalan lapisan tanah gambut tersebut. Semakin tebal lapisan gambut maka semakin besar cadangan karbon di dalam tanah.

Lahan gambut menyimpan karbon dalam biomasa dan nekromasa tanaman (di atas permukaan dan di dalam tanah). Di dalam tanah, karbon tersimpan pada lapisan gambut dan sedikit pada lapisan tanah mineral di bawah lapisan gambut (*substratum*). Dari berbagai penyimpan karbon tersebut, tanah gambut menyimpan karbon terbesar dan diikuti oleh biomasa tanaman. Pada lahan kering, karbon yang tersimpan di dalam biomasa tanaman bisa melebihi karbon yang tersimpan di dalam tanah, tergantung jenis dan kerapatan tutupan tanaman pada lahan tersebut (Hairiah dan Rahayu, 2007).

Konsentrasi karbon di dalam tanah gambut berkisar antara 30-70 g/dm^3 atau 30-70 kg/m^3 atau setara dengan 300-700 t/ha/m. Dengan demikian,

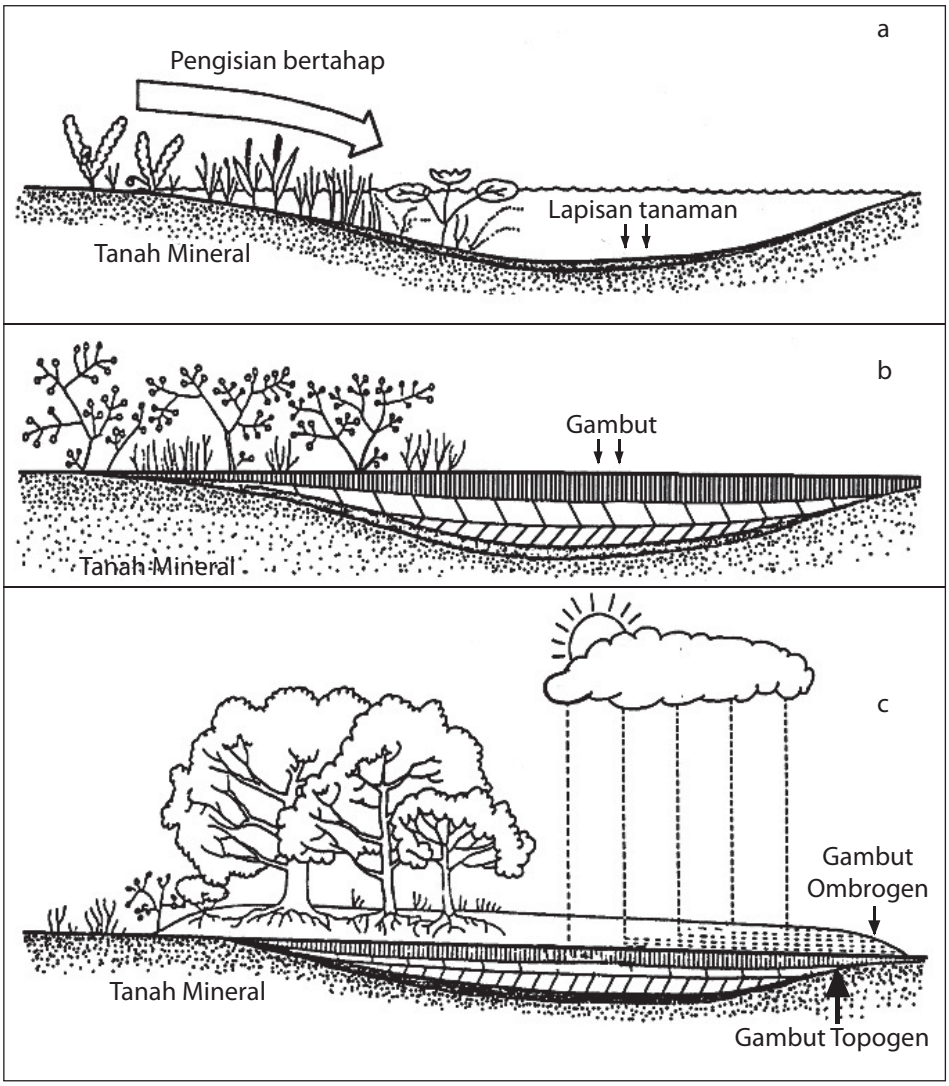
apabila tanah gambut mempunyai ketebalan 10 m, maka cadangan karbon di dalamnya adalah sekitar 3.000-7.000 t/ha (Agus dan Subiksa, 2008). Pada lahan kering, jumlah cadangan karbon pada lapisan tanah 0-1 m berkisar antara 20 sampai 300 t/ha (Shofiyati *et al*., 2010), tetapi pada kedalaman lebih dari 1 m jumlah karbon yang tersimpan sudah sangat rendah sehingga dapat diabaikan.

Hamparan lahan gambut dimulai dari suatu cekungan atau danau dangkal yang lama kelamaan diisi bahan organik dari tanaman yang mati. Hamparan lahan gambut yang sudah mengalami perkembangan yang lanjut akan membentuk suatu kubah (*dome*). Bagian pinggir kubah cenderung lebih tipis dan cadangan karbonnya lebih rendah, sedangkan bagian tengah kubah lebih tebal dan cadangan karbonnya lebih tinggi (Gambar 1). Namun keadaan ini tidak berlaku untuk semua hamparan gambut. Seringkali relief dasar gambut tidak datar, melainkan bergelombang. Tidak semua hamparan gambut membentuk kubah. Adakalanya pembentukan gambut terhenti sebelum kubah terbentuk, misalnya karena pengaruh drainase dan pembukaan lahan. Ketebalan gambut bervariasi dari 0,5 m hingga lebih dalam dari 15 m, namun ketebalan yang sering ditemukan adalah antara 2-8 m.

Pada skala mikro spasial kandungan karbon di dalam tanah gambut bervariasi, baik secara vertikal maupun horisontal. Pada kedalaman tertentu seringkali dijumpai bagian gambut yang sangat sarang sehingga berat isinya (BI) dan karbon yang tersimpan di dalamnya sangat rendah. Namun pada kedalaman berikutnya bisa saja terdapat kayu pohon mati yang belum melapuk sempurna dan mempunyai kerapatan karbon yang berbeda dengan tanah gambut di sekelilingnya. Keragaman ini merupakan sumber ketidakpastian (*uncertainty*) dalam pengukuran kandungan karbon gambut.

1.1. Perbedaan Tanah Gambut dengan Tanah Mineral

Tanah gambut berbeda dengan tanah mineral dalam hal kandungan C_{org}, struktur, berat isi, sebaran karbon dalam profil tanah dan tingkat kemudahannya terbakar dan teroksidasi (Tabel 1). Dengan demikian alat yang digunakan untuk pengambilan contoh tanah dan kedalaman tanah yang harus diambil contohnya di lapangan juga berbeda.



Gambar 1. Skema proses pembentukan dan perkembangan ketebalan hamparan gambut pada suatu cekungan lahan basah: a. Pengisian danau dangkal oleh vegetasi lahan basah, b. Pembentukan gambut topogen, dan c. Pembentukan kubah gambut ombrogen berada di atas gambut topogen (dari Noor, 2001 mengutip van de Meene, 1984).

Tabel 1. Perbedaan karakteristik antara tanah gambut dan tanah mineral, jenis contoh tanah dan alat yang digunakan untuk pengambilan contoh tanah.

Aspek	Tanah gambut	Tanah mineral
1. Kandungan C_{org}	Berkisar antara 18-60%	Berkisar antara 0,5 – 6%
2. Struktur	Tidak berstruktur dan tidak membentuk bongkahan	Tergantung sebaran butir (tekstur) struktur terdiri dari lepas, membentuk bongkahan dan masif
3. Berat Isi	Berkisar antara 0,03 - 0,3 g/cm^3 dan dalam keadaan ekstrim bisa antara <0,01 dan >0,4 g/cm^3.	Berkisar antara 0,6-1,5 g/cm^3
4. Sebaran karbon di dalam profil	Tersebar di seluruh profil dari permukaan sampai lapisan dasar tanah mineral.	Umumnya terkonsentrasi pada lapisan 0-30 cm
5. Tingkat kemudahan terbakar	Mudah terbakar	Tidak mudah terbakar
6. Jenis contoh tanah yang dibutuhkan untuk penetapan cadangan karbon	Kandungan C organik dan berat isi (BI) per lapisan dari permukaan sampai lapisan dasar gambut	Kandungan C organik dan berat isi (BI) pada kedalaman 0-1 m atau 0-0,3 m
7. Alat yang digunakan untuk mengambil contoh tanah utuh	Bor gambut. Untuk penetapan BI lapisan permukaan gambut dapat juga digunakan ring contoh.	Ring contoh atau box metal.

1.2. Emisi Karbon pada Lahan Gambut di Indonesia

Dalam keadaan hutan alami lahan gambut merupakan penyerap (*sink*) CO_2. Hutan gambut alami, yang tidak terpengaruh drainase dan kemarau panjang, tumbuh secara perlahan dengan kecepatan 0-3 mm/tahun karena adanya batang pohon mati atau ranting yang menumpuk di atasnya dan melapuk secara lambat. Namun apabila hutan gambut dibuka dan didrainase maka lahan gambut berubah fungsi dari penyerap menjadi sumber emisi gas karbon (CO_2) yang merupakan salah satu gas rumah kaca

terpenting. Faktor yang dapat merubah fungsi lahan gambut dari penyerap menjadi sumber CO_2 antara lain adalah:

- Penebangan pohon-pohonan. Penebangan pohon-pohonanan pada hutan gambut meningkatkan jumlah cahaya matahari yang masuk ke permukaan tanah, sehingga suhu dan aktivitas mikroorganisme perombak gambut meningkat. Penebangan pohon-pohonan juga meningkatkan ketersediaan bahan organik segar yang mudah dirombak baik secara aerobik yang melepaskan CO_2, maupun anaerobik yang melepaskan CH_4. Dengan demikian, selain mempercepat emisi dari pohon yang ditebang, penebangan juga mempercepat emisi dari dekompiosisi bahan organik tanah gambut.
- Drainase (pengeringan) gambut. Kegiatan ini menyebabkan menurunnya muka air tanah (*water table*) pada lahan yang didrainase serta lahan di sekitarnya, baik berupa lahan gambut pertanian maupun lahan hutan gambut. Hal ini merubah suasana anaerob (jenuh air) menjadi aerob (tidak jenuh air) sehingga meningkatkan laju dekomposisi dan emisi CO_2. Penurunan muka air tanah juga dapat terjadi secara alami, misalnya karena pengaruh kemarau panjang.
- Pembakaran/kebakaran gambut. Kebakaran meningkatkan emisi CO_2 karena terbakar atau teroksidasinya salah satu atau gabungan dari biomasa tanaman, nekromasa dan lapisan gambut. Kebakaran sering terjadi sewaktu alih guna hutan menjadi lahan pertanian atau penggunaan lahan lainnya. Bisa pula kebakaran terjadi pada masa kemarau panjang. Pada praktek pertanian secara tradisional lapisan gambut kadangkala sengaja dibakar untuk mengurangi kamasaman dan meningkatkan kesuburan tanah. Namun di lain sisi praktek ini meningkatkan kontribusi gambut terhadap emisi CO_2.
- Penambahan pupuk dan amelioran. Penambahan pupuk, misalnya pupuk nitrogen, akan menurunkan nisbah C/N tanah dan mendorong perombakan bahan organik oleh jasad renik yang diikuti dengan pelepasan CO_2. Pengapuran atau penambahan amelioran lain yang sifatnya meningkatkan pH gambut juga bisa mempercepat perombakan gambut oleh jasad renik dan pelepasan CO_2.

Indonesia mempunyai sekitar 21 juta ha lahan gambut dengan cadangan karbon di dalam tanah sekitar 37 giga ton (Gt) (Wahyunto *et al*., 2004, 2005, 2006). Namun demikian dengan adanya peningkatan jumlah penduduk dan tuntutan pembangunan ekonomi, maka pemanfaatan lahan gambut untuk berbagai pembangunan juga meningkat sehingga jumlah emisi CO_2 dari lahan gambut turut meningkat. Bahkan dilaporkan bahwa emisi CO_2 dari lahan gambut dan alih guna lahan hutan lebih dari 50% dari total emisi Indonesia (Hooijer *et al*., 2010; Boer *et al.,* 2010).

Berkaitan dengan upaya pengurangan emisi karbon melalui konsep REDD+ (Reducing Emissions from Degradation and Deforestation/Mengurangi Emisi dari Deforestasi dan Degradasi Hutan), pengukuran emisi karbon secara berkala harus dilakukan sebagai dasar perhitungan neraca karbon yang terukur, terlaporkan dan terverifikasi (measureable, reportable, verifiable, MRV).

Panduan ini membahas khusus tentang cara pengukuran cadangan karbon di dalam tanah gambut tahap demi tahap. Pada bab terakhir diuraikan hubungan antara cadangan karbon dan emisi CO_2 dari tanah gambut. Panduan ini juga memberikan contoh perhitungan cadangan karbon dan perhitungan emisi.

Pengukuran cadangan karbon di dalam tanah gambut yang diuraikan pada panduan ini merupakan pelengkap dari teknik pengukuran cadangan karbon menurut RaCSA (Rapid Carbon Stock Appraisal) yang dikembangkan oleh ICRAF (Hairiah dan Rahayu, 2007) dengan fokus pada pengukuran karbon di tingkat lahan dan ekstrapolasinya ke tingkat bentang lahan (Hairiah *et al*., 2011). Cara pengukuran cadangan karbon pada biomasa tanaman, nekromasa, seresah, dan tanah diuraikan dalam Hairiah *et al*. (2011).

2

Foto: Fahmuddin Agus

Munculnya akar di permukaan tanah membuktikan penurunan permukaan gambut (subsidence). Subsidence terjadi akibat drainase yang diikuti oleh dekomposisi dan pemadatan gambut

Sifat Gambut yang Berhubungan dengan Cadangan Karbon

Data utama yang dibutuhkan untuk menghitung cadangan karbon di dalam tanah gambut dari suatu hamparan adalah:

1. Berat Isi (*BI*), [g/cm^3 atau kg/dm^3 atau t/m^3]
2. Kandungan karbon organik (C_{org}), [% berat atau g/g atau kg/kg],
3. Ketebalan tanah gambut. Jika contoh terdiri dari banyak lapisan, ketebalan setiap lapisan perlu diukur [cm atau m]
4. Luas lahan yang akan ditaksir cadangan karbonnya [ha atau km^2].

Selain data tersebut di atas diperlukan juga beberapa informasi tentang tingkat kematangan atau kadar serat gambut.

2.1. Berat Isi

Berat isi, *BI*, adalah masa fase padat tanah (M_s) dibagi dengan volume total tanah (V_t). Volume total tanah adalah jumlah volume dari fase padat dan pori tanah dalam keadaan utuh seperti di lapangan. Penentuan BI untuk tanah gambut pada prinsipnya sama dengan penentuan BI pada tanah mineral (lihat bab 2.4.2. dalam Hairiah *et al*., 2011), namun penanganannya berbeda karena sifat tanah berbeda.

M_s ditentukan dari berat kering oven dengan suhu 105^{o}C selama 48 jam atau lebih hingga diperoleh berat tanah tetap (tidak terjadi lagi penurunan berat bila contoh tanah dikeringkan lebih lama). Seringkali contoh yang dibawa dari lapangan sangat basah dan jika diambil *sub-sample* (parohan dari contoh) akan terjadi kesalahan yang cukup besar dalam pengukuran BI. Untuk itu biasanya semua contoh yang diambil dengan bor gambut (tanpa

diparoh lebih dahulu) diletakkan pada suatu cawan aluminium, dikeringkan dalam oven dengan suhu 105°C selama 48 jam atau lebih hingga diperoleh berat tanah tetap.

Nilai *BI* tanah gambut umumnya berkisar antara 0,03-0,3 g/cm^3. Namun demikian, dalam suatu profil gambut kadang-kadang ditemukan bagian yang hampir berisi air saja dengan BI < 0,01 g/cm^3. Ini terutama terjadi pada tanah hutan. Sebaliknya, nilai *BI* lapisan permukaan tanah gambut yang sudah digunakan untuk pertanian selama bertahun-tahun dapat meningkat mencapai 0,3-0,4 g/cm^3.

Pengukuran *BI* gambut ditentukan di laboratorium dengan metode penimbangan berat keringnya (gravimetris). Contoh yang digunakan dapat berupa contoh dari bor gambut model Ejkelkamp atau contoh ring atau kubus gambut dengan volume tertentu.

2.2. Kandungan Karbon Tanah

Kandungan karbon organik (C_{org}) di dalam tanah dapat ditentukan dengan salah satu dari beberapa metode yaitu, pengabuan kering (*loss on ignition, LOI*), pengabuan basah (Walkley and Black, 1934), atau CN autoanalyzer. Untuk tanah gambut disarankan menggunakan metode CN autoanalyzer atau LOI dari pada metode Walkley and Black. Metode LOI relatif sederhana, namun memberikan angka yang cukup akurat untuk menentukan kadar abu (bahan anorganik) dan bahan organik gambut karena dengan metode ini bahan organik tanah dapat dibakar secara sempurna. Sedangkan dengan metode Walkley and Black, kemungkinan terjadi kekurangsempurnaan dalam perombakan bahan organik yang terkandung di dalam serat kasar gambut yang bersifat sulit dioksidasi (*recalcitrant*). Dengan demikian nilai kandungan bahan organik yang diperoleh cenderung lebih rendah dari pada nilai yang sesungguhnya (*underestimate*). Penggunaan CN autoanalyzer merupakan metode langsung (mengukur karbon atau CO_2), namun demikian jumlah contoh yang dianalisis sangat sedikit (beberapa mg) sehingga diperlukan kehati-hatian dalam pengambilan contoh yang paling mewakili dan diperlukan duplikat pengukuran. Dalam panduan ini hanya diuraikan metode pengabuan kering saja.

2.3. Kematangan Gambut

Pengamatan kematangan gambut berguna untuk menaksir kesuburan dan kandungan karbon gambut. Gambut yang lebih matang biasanya lebih subur, walaupun banyak faktor lain yang menentukan kesuburan gambut, misalnya campuran liat dan abu. Gambut yang lebih matang juga mempunyai kandungan karbon per volume tanah yang lebih tinggi. Pengamatan kematangan gambut dapat dilakukan di lapangan atau di laboratorium berdasarkan kadar seratnya yang akan dibahas di sub bab berikutnya.

3

Foto: Fahmuddin Agus

Sifat tanah gambut sangat berbeda dengan tanah mineral, sehingga cara dan alat yang digunakan untuk pengambilan contoh tanah berbeda pula.

Sifat Gambut yang Berhubungan dengan Cadangan Karbon

Pengukuran cadangan karbon pada tanah gambut dari suatu hamparan atau kubah gambut terdiri dari 3 tahap, yaitu:

1. Penentuan titik pengambilan contoh
2. Pengambilan contoh tanah gambut
3. Analisis contoh dan perhitungan cadangan karbon dalam tanah gambut

3.1. Penentuan Titik Pengambilan Contoh

Untuk memetakan cadangan karbon pada suatu hamparan atau bentangan kubah gambut, titik pengambilan contoh dapat berupa titik-titik menurut 'grid' yang beraturan atau dari beberapa transek yang melintasi kubah gambut, misalnya arah utara-selatan, timur-barat, timur laut-barat daya dan barat laut-tenggara sehingga berbagai ketebalan akan terwakili. Biasanya makin ke tengah dari suatu kubah, gambutnya semakin tebal. Namun dasar (substratum) tanah mineral di bawah lapisan gambut tidak beraturan, melainkan cenderung bergelombang. Semakin tidak beraturan substratum semakin tinggi pula variasi kedalaman dan cadangan karbon. Dengan demikian maka pengambilan contoh harus lebih intensif.

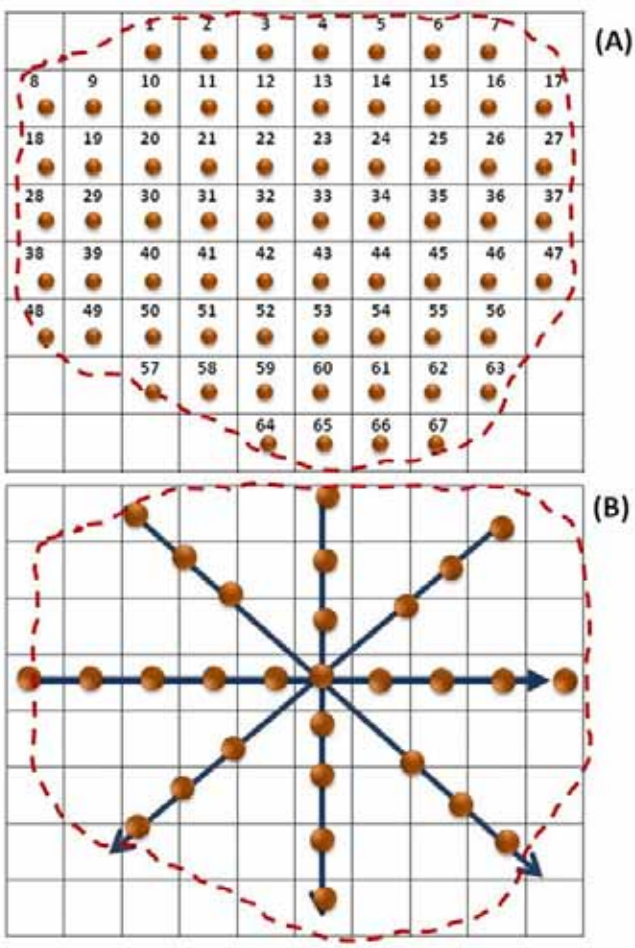
Ada dua pendekatan untuk menentukan titik-titik pengamatan (a) sistem grid dan (b) sistem transek (Gambar 2). Pengamatan dengan sistem grid memerlukan titik pengamatan yang lebih banyak. Jumlah titik pengamatan dan luas areal yang diwakili oleh setiap grid ditentukan oleh skala peta atau tingkat ketelitian yang diperlukan dalam pengukuran. Untuk pemetaan 1:10.000, 1:25.000, 1:50.000, dan 1:250.000 yang ideal, satu titik pengamatan berturut-turut mewakili luas grid 1 ha, 6,25 ha, 25 ha dan 625 ha. Akan

tetapi dengan cara ini jumlah contoh akan menjadi sangat banyak. Untuk tanah mineralpun sistem ini sudah jarang dianut, kecuali jika luas lahan yang akan dipetakan relatif kecil. Cara yang lebih banyak dianut dewasa ini adalah *terrain technique*, yaitu berdasarkan keadaan fisiografi lahan yang memberikan pola perubahan sifat lahan (Aguilar *et al*. 2005). Untuk lahan gambut disarankan menggunakan pendekatan transek (Gambar 2B) agar jumlah contoh tidak terlalu banyak.

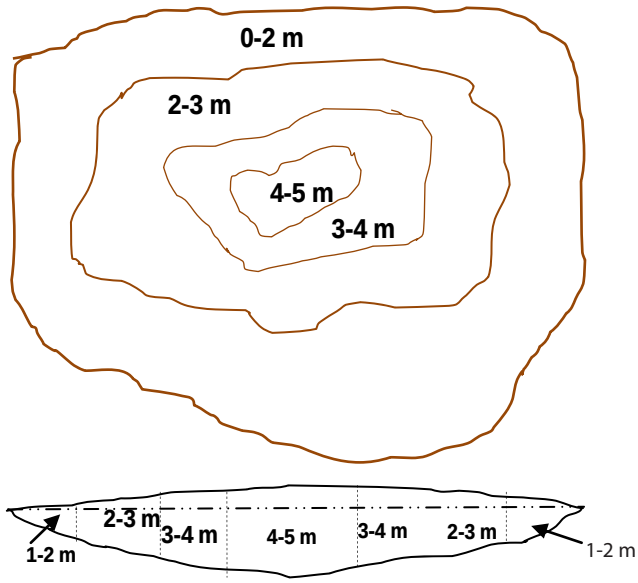
Jarak titik pengamatan di dalam transek juga ditentukan oleh skala peta dan variasi kedalaman dan sifat gambut. Bila hamparan gambut sangat luas, maka transek dapat ditambahkan di antara transek yang ada. Bila diperlukan data sangat detil, maka jarak antara satu titik dengan titik lainnya dalam setiap transek sekitar 500 m. Pengalaman di beberapa lokasi menunjukkan bahwa dalam setiap jarak 50 m, perbedaan ketebalan gambut bisa berkisar antara 10 sampai lebih dari 50 cm.

Koordinat setiap titik di mana dilakukan pengukuran harus dicatat dengan menggunakan alat *global positioning system* (GPS). Berdasarkan pasangan data titik koordinat dan ketebalan gambut akan dapat digambarkan peta kontur ketebalan gambut dengan menggunakan teknik *geographic information system* (GIS) seperti pada model Gambar 3. Untuk penaksiran cadangan karbon pada skala hamparan atau kubah gambut selain peta kontur ketebalan, diperlukan data *BI* dan kadar bahan organik (C_{org}) gambut.

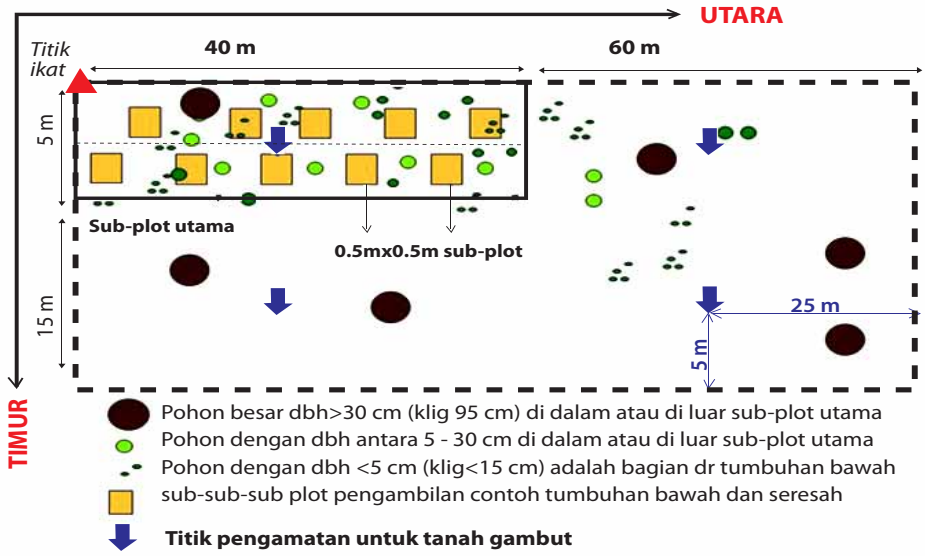
Pada semua titik pengamatan gambut yang terpilih, cadangan karbon di atas permukaan tanah (biomas dan nekromas tanaman) juga harus ditentukan menurut prosedur RaCSA (*Rapid Carbon Stock Appraisal*) yang telah diuraikan dalam Hairiah *et al.* (2011). Untuk menghasilkan pasangan data biomas, nekromas dan karbon di dalam tanah gambut, contoh gambut dapat diambil di tengah plot kecil (5 m x 40 m) atau plot besar (20 m x 100 m) bila terdapat pohon besar berdiameter lebih besar dari 30 cm, tergantung plot mana yang digunakan di dalam pengukuran biomas dan nekromas (Gambar 4). Bila akan dilakukan pengamatan perubahan cadangan karbon secara intensif pada suatu plot, maka pengambilan contoh untuk tanah gambut disebar di dalam plot pengambilan.



Gambar 2. Skema sistem penentuan pengambilan contoh dari suatu hamparan (kubah) gambut, dengan sistem grid atau petak beraturan (atas) dan sistem transek arah utara-selatan, barat-timur, barat laut-tenggara, timur laut-barat daya. ● = titik pengamatan. Koordinat setiap titik pengamatan perlu ditentukan dengan menggunakan GPS.



Gambar 3. Model peta kontur ketebalan gambut (atas) dan penampang ketebalan gambut (bawah), misalnya berdasarkan transek barat-timur.



Gambar 4. Plot pengamatan biomas dan nekromas (Hairiah *et al*., 2011) dan penempatan titik pengambilan contoh gambut.

3.2. Pengambilan Contoh Tanah

Macam contoh tanah

Pada umumnya contoh tanah yang diambil di lapangan ada 2 macam yaitu contoh tanah utuh (tidak terganggu) dan contoh tanah terganggu. Contoh tanah utuh, yaitu contoh tanah yang strukturnya hampir sama dengan struktur sebenarnya dalam keadaan di lapangan. Contoh tanah terganggu yaitu contoh tanah yang strukturnya berbeda dengan struktur aslinya di lapangan. Contoh tanah tidak terganggu (hampir tidak terganggu) dapat dibedakan atas contoh tanah yang diambil dengan bor gambut, contoh tanah ring, contoh tanah berbentuk kubus atau balok, dan contoh tanah bongkahan. Contoh tanah terganggu bisasanya diambil dengan menggunakan bor tanah, cangkul, sekop atau parang.

Untuk pengambilan contoh tanah gambut diperlukan bor gambut (Gambar 5, kiri). Bor gambut dapat digunakan untuk mengambil contoh tanah gambut dalam keadaan hampir tidak terganggu mulai dari lapisan atas sampai lapisan dasar gambut. Bahkan gambut yang berada dalam keadaan terendam airpun dapat diambil contohnya dengan menggunakan bor gambut. Contoh gambut yang diambil dengan bor gambut dapat digunakan untuk analisis berat isi (BI), kadar air (% volume), dan sifat kimia termasuk kandungan karbon (C_{org}).

Ring contoh dapat digunakan untuk pengambilan contoh pada lapisan permukaan gambut yang matang dan tidak jenuh air. Gambut yang tidak matang, terendam air atau berada pada kedalaman di bawah muka air tanah (*water table*), tidak dapat diambil dengan ring. Seperti halnya penggunaan ring, contoh berbentuk kubus atau balok, hanya bisa digunakan untuk lapisan permukaan gambut yang relatif matang dan tidak jenuh air.

3.2.1. Pengambilan Contoh Tanah Gambut Menggunakan Bor Gambut

Box 1. Alat dan bahan

- Bor gambut (Foto 1), terdiri dari *peat sampler*, 5-9 batang *extension rod*, dan satu pasang tangkai (*handle*)
- Kunci pas nomor 23 atau kunci inggris (2 buah) untuk memasang dan melepas *extension rod*
- Meteran kayu atau metal (2 m) untuk pengukuran ketebalan lapisan gambut, lapisan arang dan lapisan liat serta pengukuran kedalaman muka air tanah.
- Meteran panjang (50 m), diperlukan untuk pengukuran jarak titik pengamatan pada suatu transek
- Pisau/sendok plastik
- Sikat ijuk dan kain untuk pembersih bor
- Ember
- Kantong plastik
- Kertas label
- Spidol
- GPS

Gambar 5. Bor gambut sebelum disambung dengan *extension rod* (tiang sambungan) (kiri); bor gambut yang sudah disambung dengan beberapa batang tiang sambungan (tengah); dan bagian-bagian dari bor gambut (kanan).

Box 2. Bagian utama bor gambut (model Eijkelkamp)

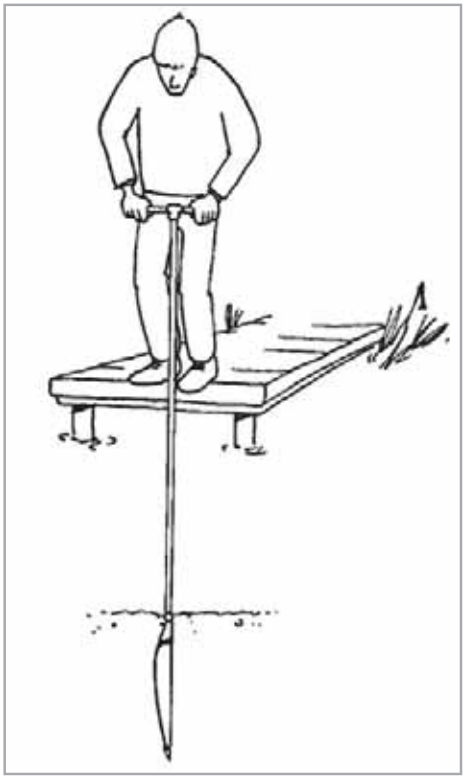
Bagian utama (*sampler*) dari bor gambut terdiri atas sayap penutup dan setengah tabung silinder yang mempunyai satu sisi yang tajam untuk memotong gambut. *Sampler* dapat disambungkan dengan mudah dengan batang penyambung (*extension rod*) dan tangkai pemutar menggunakan dua buah kunci pas nomor 23 atau dua buah kunci inggris.

Gambar 6. Skema bagian *sampler* (bagian utama) bor gambut model *Eijkelkamp* yang terbuat dari besi stainless. Bagian utama bor ini terdiri atas setengah silinder yang dilengkapi sayap penutup (1), kerucut yang masif pada bagian bawah (2), dan sayap penutup (3) (kiri). Foto kanan adalah *close-up sampler* dengan sayap penutup menghadap ke arah kamera. Bagian cekung di bagian luar adalah posisi bor siap digunakan.

Kerucut masif berfungsi untuk mendorong tanah sewaktu bor didorong ke dalam tanah. Dalam keadaan tersebut sayap/*blade* menutup tabung. Bila bor diputar 180° searah jarum jam maka sayap akan tetap pada posisinya sehingga menutup tabung silinder yang berisi contoh tanah gambut.

Kedalaman contoh yang dapat diambil dengan bor ini adalah 50 cm, (misalnya kedalaman 0-50 cm, 50-100 cm dan seterusnya). Diameter luar tabung bor adalah 60 mm dan diameter contoh 52 mm. Volume contoh yang diambil dalam keadaan penuh satu tabung adalah 500 cm^3.

Cara pengambilan contoh gambut



Gambar 7. Cara menggunakan bor gambut pada lahan yang terendam air.

1. Pasang tangkai di bagian atas bor atau pada batang besi penyambung

2. Sambungkan bagian utama bor dengan bagian bawah batang besi. Gunakan dua buah kunci pas no. 23 atau dua buah kunci inggris untuk mengencangkan dan membuka tiang sambungan

3. Putar sayap bor sehingga menutup tabung dengan sempurna. Bagian sayap yang cekung menghadap ke luar tabung.

4. Tekan bor ke dalam gambut secara vertikal tanpa memutarnya sampai kedalaman yang diinginkan. Sayap bor menutup tabung bor sehingga sewaktu menekan tidak ada gambut yang masuk. Kerucut di bagian bawah bor mendorong tanah gambut ke samping, dan bagian pisaunya memotong tanah yang dilewatinya.

5. Jika ditemukan lapisan keras, jangan dipaksakan menekan bor dengan palu atau sejenisnya karena hal ini akan merusak bor.

6. Sesudah bor berada pada kedalaman yang diinginkan, putar bor searah jarum jam minimal setengah putaran. Tabung akan berputar setengah lingkaran sedangkan sayap tetap diam. Setelah terlewati setengah lingkaran, tabung akan penuh terisi dengan gambut dan sayap akan menutup contoh gambut sehingga tidak keluar dari tabung bor dan tidak ada penambahan contoh gambut ke dalam bor.

7. Cabutlah bor keluar dari gambut secara perlahan-lahan, rebahkan bor di permukaan tanah dengan sayapnya berada di bagian atas. Bila sayap

Gambar 8. Contoh tanah gambut yang baru dikeluarkan dari tabung bor. Gambut pada gambar bawah lebih matang dibandingkan gambut pada gambar atas.

diputar setengah lingkaran secara horisontal gambut akan keluar dari tabung dan contoh gambut utuh berada di atas sayap (Gambar 8).

8. Simpanlah contoh gambut dengan cara sesuai penggunaannya. Misalnya, untuk penentuan umur karbon (*carbon dating*) biasanya disimpan pada pipa pvc yang dibelah dua, dan dilapisi aluminium foil. Untuk penentuan kadar air (% volume) dan BI, gambut dan air dari tabung bor harus ditransfer secara utuh (kuantitatif) ke dalam kantong plastik (Gambar 9) supaya tidak ada air yang tercecer dan gambut yang diambil tidak berubah volumenya (500 cm^3). Adakalanya contoh gambut yang panjangnya 50 cm tersebut perlu dipotong menjadi 2-3 bagian, misalnya jika ada perbedaan kematangan atau bila ada lapisan liat atau abu pada kedalaman tertentu. Setiap potongan sepanjang 10 cm mempunyai volume 100 cm^3.

Gambar 9. Contoh gambut di dalam kantong plastik, dengan label yang lengkap dan tertutup rapat, siap diangkut ke laboratorium untuk analisis.

Catatan:

- Beri tanda dengan selotip pada batang besi untuk menandai kelipatan kedalaman pengeboran 50 cm, sehingga kesalahan penentuan kedalaman dapat diminimumkan.
- Pengambilan contoh menggunakan bor gambut dimungkinkan untuk mengambil contoh pada berbagai kedalaman sesuai dengan yang diinginkan. Satu set bor gambut dengan sembilan batang penyambung (*extension rod*) dapat dipakai untuk mengambil contoh sampai kedalaman 10 m. Pengambilan contoh gambut hingga kedalaman 400 cm relatif mudah dilakukan, namun pengambilan contoh akan semakin sulit dengan semakin dalamnya contoh gambut yang akan diambil.
- Apabila ditemukan serat kasar atau tanah berbatu maka sayap bor kemungkinan tidak dapat menutup dengan sempurna dan contoh tidak dapat mengisi penuh tabung bor. Dalam keadaan demikian pengeboran perlu diulangi pada titik lain yang berdekatan. Jika tidak, volume contoh akan <500 cm^3.
- Jangan gunakan bor gambut pada tanah yang keras, karena dapat merusak bor. Gunakan bor tanah biasa (*Edelman Auger*) apabila banyak lapisan keras yang harus ditembus, usahakan bisa menembus lapisan sampai kedalaman tertentu di atas contoh yang akan diambil.
- Penggunaan bor biasa sampai menembus lapisan pengambilan contoh gambut akan merusak contoh gambut yang diperoleh sehingga hanya contoh gambut terganggu (*disturbed*) yang dapat diambil.

Box 3. Pemeliharaan bor gambut

- Bor harus dijaga agar tetap bersih. Sesudah penggunaan, cuci bor dengan air tawar dan keringkan.
- Gunakan sikat ijuk untuk membersihkan sambungan antara batang besi dan antara batang besi dengan bagian utama bor
- Keringkan menggunakan kain kering dan jemurlah beberapa menit di bawah sinar matahari agar bor kering sempurna
- Simpan bor di dalam tas atau kotaknya

3.2.2. Pengambilan Contoh Tanah Utuh Menggunakan Ring

Cara pengambilan contoh tanah menggunakan ring (Gambar 10) tidak berbeda antara tanah gambut dengan tanah mineral. Namun untuk tanah gambut contoh hanya dapat diambil dengan ring bila tanahnya kering dan gambutnya relatif matang. Langkah-langkah pengambilan contoh gambut (dapat dilihat pada Gambar 11) adalah sebagai berikut (dimodifikasi dari Suganda *et al*., 2007):

1. Ratakan dan bersihkan permukaan tanah dari rumput dan seresah tanaman.
2. Gali tanah melingkar dengan diameter sekitar 20 cm, dengan kedalaman sesuai dengan yang diinginkan, misalnya kedalaman 5 cm jika contoh akan diambil dari kedalaman 5-10 cm. Ratakan tanah dengan parang atau pisau.
3. Letakkan ring di atas permukaan tanah secara tegak lurus,
4. Letakkan balok kayu kecil di atas ring, tekanlah perlahan-lahan sampai tiga per empat bagian ring masuk ke dalam tanah.
5. Letakkan ring lain di atas ring pertama, dan tekan sampai 1 cm masuk ke dalam tanah.
6. Pisahkan ring bagian atas dari ring bagian bawah.
7. Gali ring menggunakan sekop atau parang. Dalam menggali, ujung sekop harus lebih dalam dari ujung bawah ring agar tanah di bawah ring ikut terangkat.
8. Iris kelebihan tanah bagian atas terlebih dahulu dengan hati-hati agar permukaan tanah sama dengan permukaan ring, kemudian tutuplah ring menggunakan tutup plastik yang telah tersedia. Setelah itu, iris dan potong kelebihan tanah bagian bawah dengan cara yang sama dan tutuplah tabung.
9. Tempelkan kertas label dan cantumkan label di atas tutup tabung bagian atas contoh tanah dengan informasi kedalaman, tanggal, dan lokasi pengambilan contoh tanah.

Gambar 10. Ring untuk pengambilan contoh tanah utuh; dengan penutup dan tanpa penutup ring. Ukuran ring yang biasa digunakan adalah, diameter 5 cm atau 7,5 cm dan tinggi antara 2,5-6,0 cm. Ring berdiameter kecil menyebabkan lebih banyak kerusakan contoh tanah.

Gambar 11. Tahapan pengambilan contoh tanah utuh menggunakan *ring* kuningan (dari pojok kiri atas ke pojok kanan bawah).

3.2.3. Pengambilan Contoh Tanah Menggunakan Kotak Besi

Cara ini hanya bisa dilakukan untuk gambut matang dan cukup kering. Untuk tanah gambut yang sudah didrainase, pengambilan contoh gambut berbentuk kubus atau balok (Gambar 12) bisa dilakukan tanpa menggunakan kotak besi. Cara pengambilan contoh gambut dengan kotak besi hampir sama dengan cara pengambilan dengan menggunakan ring dan secara rinci diuraikan di dalam Hairiah *et al*. (2011).

Catatan:

Tujuan utama penggunaan ring atau kotak besi dalam pengambilan contoh tanah gambut adalah untuk mengambil contoh tanah dengan volume tertentu dengan kondisi contoh tanah tetap utuh (tidak terganggu). Untuk analisis BI atau kadar air (% volume), semua contoh dari dalam ring atau kotak besi dapat dipindahkan ke kantong plastik secara kuantitatif. Namun untuk analisis tegangan air tanah (pF) contoh dipertahankan di dalam ring agar strukturnya tidak terganggu.

Gambar 12. Contoh gambut berbentuk kubus (kiri) dan contoh gambut yang mencair karena diambil dengan bor Eldeman dari kedalaman di bawah muka air tanah (kanan).

3.3. Pengukuran Berat Isi dan Kadar Bahan Organik

Untuk penentuan cadangan karbon di dalam tanah diperlukan data berat isi (*BI*), kandungan karbon (C_{org}), ketebalan gambut dan luas tanah yang akan ditentukan cadangan karbonnya.

3.3.1. Berat Isi

BI gambut ditentukan di laboratorium dengan metode gravimetris. Contoh yang digunakan dapat berupa contoh gambut yang diambil menggunakan bor gambut model Eijkelkamp atau menggunakan ring atau kubus dengan volume tertentu. Langkah-langkah pengambilan contoh tanah utuh seperti yang diuraikan dalam Bagian 3.2.2.

Cara penetapan BI adalah sebagai berikut:

1. Pindahkan contoh tanah yang berasal dari bor gambut atau dari ring secara kuantitatif ke dalam cawan aluminium. Jika menggunakan ring, keluarkan tanah dari ring terlebih dahulu dan langsung diletakkan pada cawan aluminium.
2. Jika diperlukan data kadar air tanah, maka timbanglah berat tanah basah yang berada di dalam cawan. Berat tanah basah (M_t) adalah $M_s + M_w$, di mana M_s adalah berat tanah dan M_w adalah berat air yang terkandung di dalam matriks tanah (Gambar 13).
3. Keringkan contoh tanah di dalam oven pada suhu 105°C selama 2 x 24 jam sampai dicapai berat yang konstan. Bila contoh sangat basah dan sangat banyak dalam satu cawan, maka diperlukan waktu 4 sampai 5 x 24 jam untuk mencapai berat konstan. Berat konstan diperoleh sampai berat contoh tidak turun lagi sesudah pengeringan tahap berikutnya. Misalnya, apabila berat contoh yang sudah dikeringkan selama 2 x 24 jam masih lebih tinggi dari contoh yang sudah dikeringkan selama 3 x 24 jam maka pengeringan perlu dilanjutkan.
4. Masukkan contoh tanah yang telah kering ke dalam desikator selama kurang lebih 10 menit.
5. Timbang berat kering tanah (M_s) + berat cawan (M_c).
6. Simpan contoh tanah untuk analisis kadar bahan organik dengan prosedur pengabuan kering (*loss on ignition*). Bila kandungan karbon ditentukan dengan CN autoanalyzer, diperlukan contoh tanah kering udara, bukan kering oven.

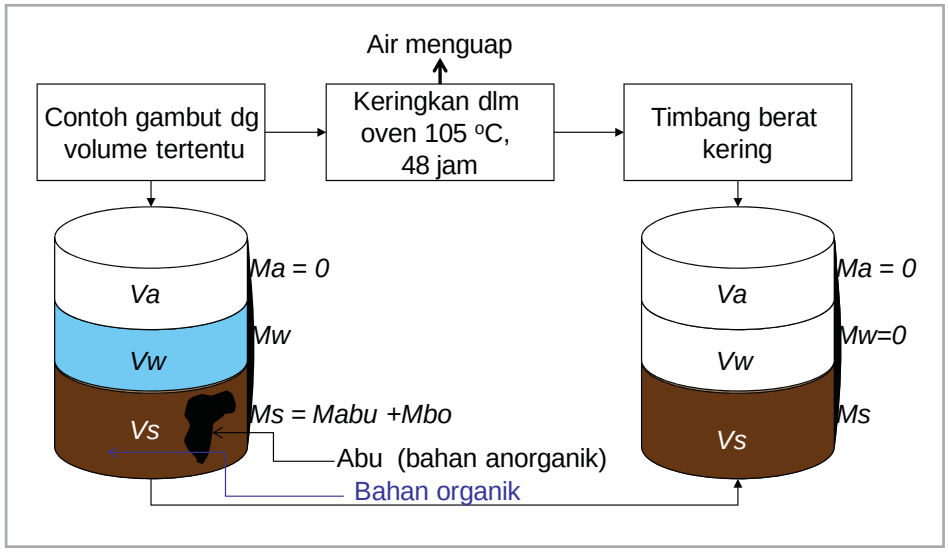
Tentukan volume contoh tanah, V_t. Bila contoh tanah adalah contoh ring, maka $V_t = r^2t$, dimana r adalah radius bagian dalam dari ring dan t adalah tinggi ring. Jika contoh berasal dari bor gambut dengan ketebalan (panjang

contoh) 50 cm, maka V_t = 0,5 dm^3 atau 500 cm^3. Bila contoh tanah hanya diambil dari tabung bor sepanjang 20 cm, maka V_t = 200 cm^3.

7. Hitung BI dengan rumus

$$BI = \frac{M_s}{V_t} = \frac{(M_s + M_c) - (M_c)}{V_t} \qquad [1]$$

$$V_t = V_s + V_w + V_a$$



Gambar 13. Ilustrasi volume contoh tanah (gambut) yang terdiri dari padatan (V_s), cair (V_w) dan gas (*Va*) dan berat padatan (M_s), air (M_w) dan udara (M_a). Berat padatan (M_s) merupakan jumlah dari berat bahan organik (M_{bo}) dan berat abu (M_{abu}).

8. Apabila satuan berat adalah gram (g) dan satuan volume adalah cm^3 maka satuan untuk *BI* adalah g/cm^3. Satuan ini sama nilainya dengan kg/dm^3 atau t/m^3.

9. Cuci dan keringkan ring dan cawan di dalam oven (105°C) selama 1-2 jam. Timbang berat cawan, M_c. Kadar air tanah (berdasarkan volume), KA_v, dapat dihitung dengan rumus:

$$KA_v = \frac{V_w}{V_t} = \frac{\{(M_s + M_w + M_c) - (M_s + M_c)\} / \rho_w}{V_t} \quad [2a]$$

Kadar air berdasarkan berat kering, KA_m,

$$KA_m = \frac{M_w}{M_s} = \frac{M_t - M_s}{M_s} \quad [2b]$$

$$M_t = Ms + M_w \quad [2c]$$

Satuan yang digunakan untuk KA_v adalah cm^3/cm^3 untuk memberikan indikasi bahwa kadar air dihitung berdasarkan volume. Satuan bisa ditulis dalam bentuk % volume. Satuan untuk KA_m adalah g/g atau % berat.

Nilai kadar air berdasarkan volume (KA_v) dapat dikonversi menjadi kadar air berdasarkan berat (KA_m) dengan rumus:

$$KA_m = KA_v * \rho_w/BI \quad [3]$$

dengan ρ_w adalah berat jenis air yang nilainya mendekati 1 g/cm^3

3.3.2. Kandungan Karbon Organik Tanah

Penetapan kandungan C dengan pengabuan kering (loss on ignition)

Berat padatan, M_s, seperti diilustrasikan pada Gambar 13 terdiri dari berat bahan organik, M_{bo}, dan berat abu, M_{abu}. Pada analisis dengan metode pengabuan kering, semua bahan organik yang ada dalam contoh tanah dibakar pada suhu 550°C selama 6 jam. Bahan organik yang terbakar akan menguap dan bahan yang tertinggal adalah bahan anorganik seperti tanah

liat dan butiran debu dan pasir halus. Kehilangan berat contoh tanah kering oven dalam pembakaran merupakan berat dari bahan organik. Konversi dari berat bahan organik ke berat C_{org} menggunakan faktor 1/1,724. Metode ini merupakan metode semi kuantitatif karena kehilangan berat selama proses pengabuan hanya menggambarkan kadar bahan organik. Faktor konversi 1/1,724 merupakan angka umum hubungan antara bahan organik dengan karbon.

Cara penetapan

1. Giling satu sendok tanah kering oven (yang berasal dari hasil pengeringan dari langkah nomor 6, Bagian 3.3.1) dengan menggunakan lumpung porselen (*mortar and pestle*; Gambar 14) sampai halus.
2. Timbang 1 atau 2 g contoh tanah gambut, yang sudah halus dan pindahkan secara kuantitatif ke dalam cawan porselin yang sudah diketahui beratnya, M_c.
3. Susun cawan porselin berisi contoh di dalam tanur pemanas (*furnace*) (Gambar 15).
4. Naikkan suhu tanur secara bertahap; biarkan selama satu jam untuk setiap kenaikan suhu 100°C sampai suhu mencapai 550°C. Biarkan pengabuan berlangsung pada suhu 550°C selama 6 jam.

Gambar 14. Lumpung porselen (*mortar* atau cawan porselen dan *pestle* atau alu penumbuk).

Gambar 15. Cawan porselen yang digunakan untuk pengabuan kering di dalam tanur (tungku pemanas/*furnace*).

5. Matikan tanur dan biarkan menjadi dingin selama kurang lebih 8 jam.
6. Timbang berat abu yang tersisa di dalam cawan, M_a.
7. Untuk koreksi kadar air, timbang contoh tanah yang sudah digiling (dari *prosedur* 1) sekitar 3 g (*BB* = berat basah) ke dalam cawan aluminium yang sudah diketahui beratnya. Keringkan selama 2-4 jam pada suhu 105°C dan timbang berat keringnya (*BK*). Hitung % kadar airnya, KA_m:

$$KA_m = \frac{BB - BK}{BK} * 100\% = \frac{(M_s + M_w) - M_s}{M_s} * 100\% \qquad [4]$$

Persamaan [4] ini sama dengan persamaan [2b] di mana $M_s + M_w = M_t$.

1. Hitung berat kering tanah yang diabukan dengan rumus,

$$M_s = M_t * (1 - KA_m) \quad [5]$$

Persamaan [5] berlaku bila KA_m menggunakan satuan fraksi (berat air/berat tanah kering). Akan tetapi bila KA_m menggunakan satuan % berat maka persamaan [5] berubah menjadi,

$M_s = M_t * (100\% - KA_m\%)$

2. Hitung kandungan C_{org} gambut berdasarkan berat kering (g/g):

$$C_{org} = \left\{\frac{Ms - Ma}{Ms}\right\} / 1{,}724 = \left\{1 - \frac{Ma}{Ms}\right\} / 1{,}724 \quad [6]$$

3. Kadar abu dapat dihitung dengan:

Kadar abu (%) = M_d/M_s * 100% [7]

Kandungan C organik (C_{org}) biasanya menggunakan satuan % berat (%) atau fraksi berat bahan organik terhadap berat kering total (berat bahan organik dan berat abu, g/g). Kandungan C per satuan volume tanah dapat dihitung dengan persamaan:

$$C_v = BD * C_{org} \quad [8]$$

C_v menggunakan satuan g/cm^3 atau kg/dm^3 atau t/m^3 (Mg/m^3). Nilai C_v merupakan berat karbon untuk satu satuan volume tanah.

Page *et al*. (2002) menyarankan nilai C_v rata-rata 0,06 t/m^3. Namun berdasarkan pengamatan dari ratusan contoh gambut yang berasal dari Sumatera dan Kalimantan (Agus *et al*. 2011; Tabel 2) ternyata nilai C_v tidak bisa diseragamkan. Nilainya sangat berbeda untuk gambut dengan kematangan berbeda. C_v berkisar antara 0,082±0,035 t/m^3 untuk gambut dengan kematangan saprik, 0,057±0,026 untuk gambut berkematangan hemik dan 0,046±0,025 t/m^3 untuk gambut berkematangan fibrik. Dengan demikian nilai yang disarankan Page et al. (2002) mendekati nilai untuk gambut berkematangan hemik (kematangan sedang). Penyeragaman nilai C_v mengakibatkan kesalahan yang besar dalam pendugaan emisi dan cadangan karbon yang diukur berdasarkan subsiden (diuraikan lebih lanjut pada Bab IV).

Tabel 2. Rata-rata dan standar deviasi sifat gambut di Pulau Sumatera dan Kalimantan (Agus et al., 2011).

Sifat gambut	Kematangan[1)]								
	Saprik (n = 263)			Hemik (n = 904)			Fibrik (n = 659)		
C-organik (%)	48,90	±	8,91	52,27	±	8,52	53,56	±	6,48
Berat isi (t/m^3)	0,174	±	0,082	0,117	±	0,073	0,089	±	0,058
Kandungan abu (%)	9,98	±	13,67	8,89	±	12,67	5,69	±	9,25
C_v (t/m^3)	0,082	±	0,035	0,057	±	0,026	0,046	±	0,025

[1)]Cara penetapan kematangan gambut diuraikan pada Bagian 3.3.3.

Kisaran BI gambut pada umumnya sekitar 0,02 – 0,3 t/m^3 tergantung kematangan dan kepadatan gambut serta kadar bahan anorganik yang dikandungnya. Kisaran kandungan C_{org} gambut adalah 18-58% jika analisis menggunakan metode LOI. Jika cara penetapan C organik menggunakan metode langsung, seperti CN autoanalyzer, maka kandungan C organik bisa >60%.

Contoh perhitungan:

(i) Penentuan cadangan karbon pada satu titik pengamatan

Apabila BI gambut lapisan 0-20 cm, 20-50 cm, 50-100 cm, 100-150 cm dan 150-180 cm berturut-turut adalah 0,12; 0,10; 0,09; 0,11 dan 0,15 t/m^3 dan kadar abunya berturut turut adalah 4%, 3%, 2%, 2% dan 15%, berapakah simpanan karbon untuk masing masing lapisan dan berapa total simpanan karbon per hektar?

Jawaban:

Data BI dan kadar abu tanah untuk setiap lapisan dan perhitungannya disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Contoh perhitungan cadangan karbon di dalam tanah gambut dari satu titik pengamatan.

Lapisan (cm)	Keteba-lan lapisan (m)	Volume tanah per lapisan (m^3/ha)	BI (t/m^3)	Kadar abu (%)	C_{org} (%)	C_v (t/m^3)	Simpanan C setiap lapisan (t/ha)
A	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	*G*	*H*
	Diketahui	*Kolom B x 10.000*	*Diketahui (dari hasil analisis)*	*Diketahui (dari hasil analisis)*	*(100% - Kolom E)/1,724*	*Kolom D x (kolom F /100)*	*Kolom C x kolom G*
0-20	0,2	2.000	0,12	4	55,68	0,067	134
20-50	0,3	3.000	0,10	3	56,26	0,056	169
50-100	0,5	5.000	0,09	2	56,84	0,051	256
100-150	0,5	5.000	0,11	2	56,84	0,063	313
150-180	0,3	3.000	0,15	15	49,30	0,074	222
						Jumlah	1.093

C_{org} dihitung dengan persamaan [6] atau = 100 - kadar abu (%), C_v dihitung dengan persamaan [8] dan simpanan C adalah C_v * volume tanah. Dari perhitungan ini didapatkan bahwa simpanan karbon tanah gambut di lokasi ini sekitar 1.093 t/ha dari permukaan sampai kedalaman 180 cm.

(ii) Penghitungan cadangan karbon dari suatu hamparan atau kubah gambut

Cadangan karbon dari suatu hamparan tanah gambut, dihitung dengan menggunakan data luas lahan gambut untuk suatu kelas kedalaman (A_i) dan ketebalan gambut rata-rata dalam setiap ketebalan (h_i) serta data rata-rata *BI* dan C^{org} untuk setiap ketebalan lapisan gambut, h_i. Luas lahan gambut untuk kelas ketebalan tertentu dapat dihitung dari peta kontur ketebalan gambut (Gambar 3, atas) dengan menggunakan perangkat GIS.

$$C_{stock} = \Sigma (A_i * h_i * BI * C_{org}) = \Sigma (A_i * h_i * C_v) \quad [9]$$

3.3.3. Penentuan Kematangan Gambut

Tingkat kematangan gambut dibedakan atas 3 kelas, yaitu gambut saprik, hemik dan gambut fibrik. Dalam prakteknya ada 3 aspek penciri yang digunakan di lapangan dan 1 penciri di laboratorium (Tabel 4).

Tabel 4. Penciri yang digunakan untuk membedakan tingkat kematangan gambut di lapangan dan di laboratorium.

Penciri	Gambut saprik (matang)	Gambut hemik (setengah matang)	Gambut fibrik (mentah)
1. Tingkat pelapukan	gambut yang sudah melapuk lanjut dan bahan asalnya tidak bisa dikenali lagi	gambut setengah matang, sebagian bahan asalnya masih bisa dikenali	gambut yang belum melapuk, bahan asalnya masih bisa dikenali
2. Warna	coklat tua - hitam	coklat	Coklat – coklat muda
3. Jumlah serat yang tertinggal di telapak tangan bila diremas	kurang dari sepertiga jumlah semula	sepertiga sampai duapertiga jumlah semula	Lebih dari dua pertiga jumlah semula
4. Kadar serat (%) biola menggunakan metode laboratorium	< 15	15 – 75	>75

Penentuan kematangan gambut di lapangan

Metode penentuan kematangan gambut di lapangan cukup sederhana, tetapi memberikan informasi yang sangat berguna dan relatif akurat bila ditentukan oleh petugas yang berpengalaman. Ambil segenggam contoh gambut dari kedalaman yang diinginkan dan remas (Gambar 16).

- Gambut saprik (matang) adalah gambut yang sudah melapuk lanjut dan bahan asalnya tidak dikenali, berwarna coklat tua sampai hitam, dan bila diremas kandungan seratnya yang tertinggal di telapak tangan <sepertiga jumlah semula.
- Gambut hemik (setengah matang) adalah gambut setengah matang, sebagian bahan asalnya masih bisa dikenali, berwarma coklat, dan bila diremas kandungan seratnya yang tertinggal di telapak tangan antara sepertiga dan duapertiga jumlah semula.
- Gambut fibrik (mentah) adalah gambut yang belum melapuk, bahan asalnya masih bisa dikenali, berwarna coklat, dan bila diremas kandungan seratnya yang tertinggal di telapak tangan > duapertiga jumlah semula.

Gambar 16. Penentuan kematangan gambut di lapangan dengan cara meremas segenggam contoh di kepalan tangan. Contoh pada tangan kanan berkematangan fibrik dan pada tangan kiri berkematangan hemik.

Penentuan kematangan gambut di laboratorium

1. Ambil segenggam gambut segar dan masukkan ke dalam *syringe* bervolume 10 ml atau 25 ml (Gambar 17).
2. Mampatkan contoh dengan menekan pompa *syringe* dan catat volume gambut, *Vol 1*, sewaktu gambut tidak bisa lagi dimampatkan.
3. Pindahkan gambut dari dalam *syringe* ke dalam ayakan dengan ukuran lobang 150 µm atau 0,0059 inci.
4. Gunakan botol semprot atau semprotan air untuk membilas gambut yang halus.

Gambar 17. *Syringe* bervolume 10 ml (atas) dan ayakan (bawah).

5. Sesudah serat halus lolos dari ayakan, pindahkan kembali serat kasar ke dalam *syringe* dan mampatkan. Catat volume serat kasar, *Vol 2*.
6. Hitung kadar serat = *Vol 2/Vol 1* X 100%
7. Kelompokkan kematangan gambut berdasarkan kriteria berikut:

    - Gambut saprik (matang): adalah gambut yang sudah melapuk dan kadar seratnya < 15%.
    - Gambut hemik (setengah matang) (Gambar 4, bawah) adalah gambut setengah lapuk dan kadar seratnya 15 – 75%.
    - Gambut fibrik (mentah) (Gambar 4, atas) adalah gambut yang belum melapuk dan kadar seratnya >75%.

4

Foto: Kurniatun Hairiah

Pembakaran sering dilakukan untuk memudahkan pembukaan dan pembersihan lahan. Apabila muka air tanah cukup dalam (>30 cm) dan gambut sangat kering, api dapat menghanguskan lapisan gambut dan dan menurunkan cadangan karbon.

Penaksiran Emisi Gas Rumah Kaca

Penurunan cadangan karbon merupakan penjelmaan dari emisi C dan peningkatan cadangan karbon merupakan penjelmaan dari penyerapan atau sekuestrasi C. Data emisi C biasanya disajikan dalam bentuk CO_2-e (CO_2 ekivalen).

Gas rumah kaca (GRK) dilepaskan (diemisikan) lahan gambut dalam bentuk CO_2, CH_4 (metan), dan N_2O. Di antara ketiga gas tersebut, CO_2 merupakan GRK terpenting karena jumlahnya yang relatif besar, terutama dari lahan gambut yang sudah berubah fungsi dari hutan menjadi lahan pertanian dan pemukiman. Emisi CH_4 cukup besar pada gambut yang berada dalam keadaan alami yang pada umumnya terendam atau jenuh air. Bila gambut didrainase maka emisi CO_2 menjadi dominan dan emisi CH_4 menjadi sangat berkurang, bahkan tidak terukur. Emisi N_2O terjadi pada tanah yang mendapatkan pengkayaan nitrogen. Nitrogen yang tercuci ke lapisan anaerob akan mengalami reduksi membentuk N_2O. Jumlah emisi dari tanah gambut untuk selang waktu tertentu dapat dihitung berdasarkan perubahan cadangan karbon pada tanah gambut yang terjadi pada selang waktu tersebut.

Simpanan karbon terbesar pada lahan gambut adalah pada tanah gambut itu sendiri dan yang kedua adalah pada jaringan tanaman dan seterusnya pada tanaman mati (necromass). Masing-masing komponen cadangan karbon (*carbon stock*) tersebut dapat bertambah atau berkurang tergantung pada faktor alam dan campur tangan manusia. Kemarau panjang berakibat pada penurunan muka air tanah yang selanjutnya dapat mempercepat emisi CO_2 dari tanah gambut. Cara pengelolaan lahan pertanian pada lahan gambut, seperti pembakaran, pembuatan drainase, dan pemupukan

mempengaruhi tingkat emisi CO_2. Pembakaran/kebakaran lahan gambut dapat menurunkan cadangan karbon di dalam jaringan tanaman dan di dalam gambut yang berarti meningkatkan emisi dari kedua sumber tersebut. Pemupukan dapat meningkatkan emisi disebabkan meningkatnya aktivitas mikroba. Sebaliknya, pada lahan gambut yang sudah terlanjur didrainase, penurunan kedalaman muka air tanah, misalnya melalui pemasangan empang pada saluran (*canal blocking*) dapat memperlambat emisi.

Pertumbuhan tanaman merupakan proses penangkapan CO_2 dari atmosfir dan penyimpanan karbon ke dalam jaringan tanaman melalui fotosintesis. Melalui proses pertumbuhan tanaman, terutama tanaman pohon-pohonan, cadangan karbon pada sebidang lahan akan meningkat. Dengan demikian jumlah emisi CO_2 pada selang waktu tertentu dapat diperkirakan dengan rumus berikut:

$$E = \frac{(E_a + \quad_{bb} + E_{bo} - S_a)}{\Delta_t} \qquad [10]$$

E_a = Emisi karena terdekomposisi atau terbakarnya jaringan tanaman.

E_a = C tanaman yang terdekomposisi atau terbakar x 3,67.

Angka 3,67 adalah faktor konversi dari C menjadi CO_2. Menurut ketentuan IPCC (2006), dari suatu pembukaan hutan dianggap semua (100%) C tanaman teroksidasi menjadi CO_2 melalui proses pembakaran atau proses perombakan oleh mikroba atau gabungan kedua proses tersebut. Jika hutan gambut mempunyai cadangan C di dalam tanaman sebanyak 100 t/ha ditebang, maka akan terjadi emisi sebanyak,

E_a = 100 t/ha C x 3,67 CO_2/C = 367 t/ha CO_2.

Apabila hutan yang ditebang luasnya 6.000 ha, maka jumlah emisi CO_2 yang berasal dari biomas tanaman,

E_a = 367 t/ha CO_2 x 6.000 ha = 2.202.000 t CO_2.

Metode penetapan simpanan C pada jaringan tanaman diuraikan pada Hairiah *et al.* (2011).

E_{bb} = Emisi karena kebakaran gambut. Jika lapisan gambut terbakar dengan sempurna, maka bahan organiknya akan teroksidasi menjadi CO_2 + H_2O dan sejumlah gas lainnya.

E_{bb} = volume gambut yang terbakar (m^3) x *BI* (t/m^3) x C_{org} (t/t) x 3,67 CO_2/C_{org}.

= gambut yang terbakar (m^3) x C_v (t/m^3) x 3,67 CO_2/C_{org}.

Volume gambut yang terbakar dapat diperkirakan dengan mengukur volume cekungan pada lahan gambut yang terbentuk sesudah terjadinya kebakaran. Misalnya, jika 6.000 ha gambut dengan sifat yang sama dengan contoh pada Tabel 2 terbakar merata sampai kedalaman 30 cm, maka:

Volume gambut yang terbakar dari lapisan 20 cm = 0,2 m x 6.000 ha x 10.000 m^2/ha = 12.000.000 m^3.

Jumlah emisi karena kebakaran lapisan 0-20 cm (E_{bb}) = Volume gambut terbakar x C_v x 3,67 = 12.000.000 m^3 x 0,067 t/m^3 C x 3,67 CO_2/C = 2.950.680 t CO_2.

Volume gambut yang terbakar dari kedalaman 20-30 cm = 0,1 m x 6.000 ha x 10.000 m^2/ha = 6.000.000 m^3.

Jumlah emisi karena kebakaran lapisan 20-30 cm = 6.000.000 m^3 * 0,056 t/m^3 C x 3,67 CO_2/C = 1.233.120 t CO_2.

Total emisi dari kebakaran gambut lapisan 0-30 cm

= 2.950.680 t CO_2 + 1.233.120 t CO_2 = 4.183.800 t CO_2

Catatan: Dalam kenyataannya tidak pernah terjadi kebakaran yang merata. Kebakaran gambut bisa menyusup beberapa meter ke dalam lapisan gambut yang kering sementara di sekitarnya tidak banyak yang terbakar.

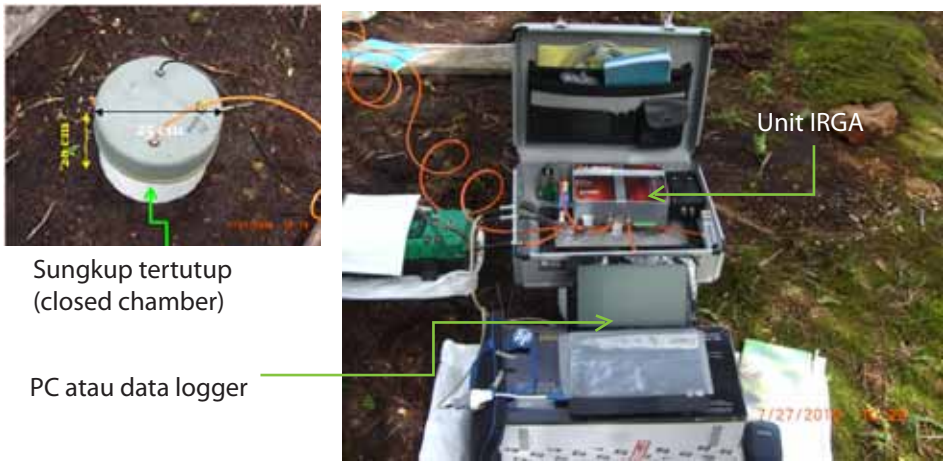
E_{bo} = Emisi dari dekomposisi gambut. Ada berbagai faktor yang mempengaruhi kecepatan dekomposisi gambut. Yang paling penting di antaranya adalah kedalaman muka air tanah, namun pada kedalaman muka air tanah yang sama kecepatan emisi bisa berbeda tergantung dari kematangan gambut, pemupukan, dan pengaruh respirasi akar tanaman.

E_{bo} dapat diukur/diduga melalui beberapa pendekatan antara lain:

- Pengukuran flux GRK dengan menggunakan *Infra Red* CO_2 *Gas Analyzer* (IRGA) atau *Gas Chromatography* (GC).

  Dengan menggunakan IRGA gas dari sungkup tertutup (*closed chamber*) dialirkan ke IRGA dengan menggunakan sebuah pompa dan konsentrasi CO_2 langsung dibaca oleh IRGA setiap detik selama kurang lebih 2,5 menit. Hubungan linear antara waktu pengamatan dengan konsentrasi gas CO_2 digunakan untuk menghitung flux CO_2 yang keluar ke permukaan tanah (Gambar 18).

  Jika menggunakan GC, contoh gas di lapangan diambil dari sungkup tertutup dengan menggunakan jarum suntik (*syringe*) (Gambar 19) dan kemudian konsentrasi gas diukur dengan GC (Hue *et al*. 2000).



Gambar 18. *Infra Red Gas Analyzer* (IRGA) dan sungkup tertutup untuk pengukuran flux gas CO_2 yang keluar dari tanah.

Gambar 19. Pengambilan contoh gas dari sungkup tertutup (*closed chamber*) untuk selanjutnya diukur dengan *gas chromatography*.

- Hubungan empiris antara faktor pengelolaan lahan dengan besaran emisi.

  Dari berbagai penelitian di beberapa lokasi (sebagian besar) di Malaysia (Sarawak) dan Indonesia (terutama Kalimantan Tengah), Hooijer *et al.* (2006 dan 2010) membuat hubungan linear antara kedalaman muka air tanah (*MAT*) dengan emisi dengan persamaan:

  $$E_{bo}\ (\text{t } CO_2\text{/ha/tahun}) = 0{,}91\ MAT\ (\text{cm}) \qquad [11]$$

  Persamaan tersebut berlaku untuk *MAT* antara 30-120 cm. Berbagai literatur yang diacu oleh Hooijer *et al.* (2006 dan 2010) tidak memisahkan antara CO_2 yang berasal dari respirasi akar dengan emisi yang disebabkan dekomposisi gambut. Emisi

dari respirasi akar dalam keadaan tertentu bisa sangat besar. Handayani (2009) melaporkan bahwa untuk perkebunan kelapa sawit di lahan gambut di Kabupaten Aceh Barat, kontribusi respirasi akar terhadap pengukuran CO_2 adalah sekitar 30%. Untuk itu Agus et al. (2010) menyarankan agar persamaan Hooijer dimodifikasi menjadi,

$$E_{bo}\ (\text{t } CO_2\text{/ha/tahun}) = 0{,}7 \times 0{,}91\ MAT\ (\text{cm}) \qquad [12]$$

Misalnya, apabila hutan gambut alami yang tidak mempunyai drainase diubah penggunaannya menjadi perkebunan dengan kedalaman drainase 60 cm maka akan terjadi peningkatan emisi, E_{bo}= 0,7 x 0,91 t/ha/th/cm CO_2 x 60 cm = 38,22 t CO_2/ha/th. Apabila luas lahan yang dikonversi 6.000 ha untuk satu siklus perkebunan kelapa sawit selama 25 th maka,

E_{bo} = 0,7 x 0,91 t/ha/th/cm CO_2 x 60 cm 6.000 ha x 25 th

= 5,7 juta t CO_2

- Pendugaan berdasarkan penurunan permukaan (subsiden). Menurut Wösten *et al.* (1997), subsiden berlangsung sangat cepat beberapa tahun pertama sesudah lahan gambut didrainase dan kemudian akan mencapai kestabilan sekitar 2 cm/th (Gambar 20). Dijelaskan lebih jauh bahwa, dengan asumsi tidak terjadi kebakaran, maka dekomposisi gambut menyumbang 60% terhadap subsiden sedangkan pemadatan (konsolidasi) menyumbang 40%. Berbeda dengan Wösten *et al.* (1997), Couwenberg (2010) memperkirakan bahwa dekomposisi gambut menyumbang sekitar 40% terhadap subsiden. Artinya, apabila terjadi subsiden setebal 10 cm, maka 4 cm disebabkan terdekomposisinya gambut dan 6 cm karena pemadatan.

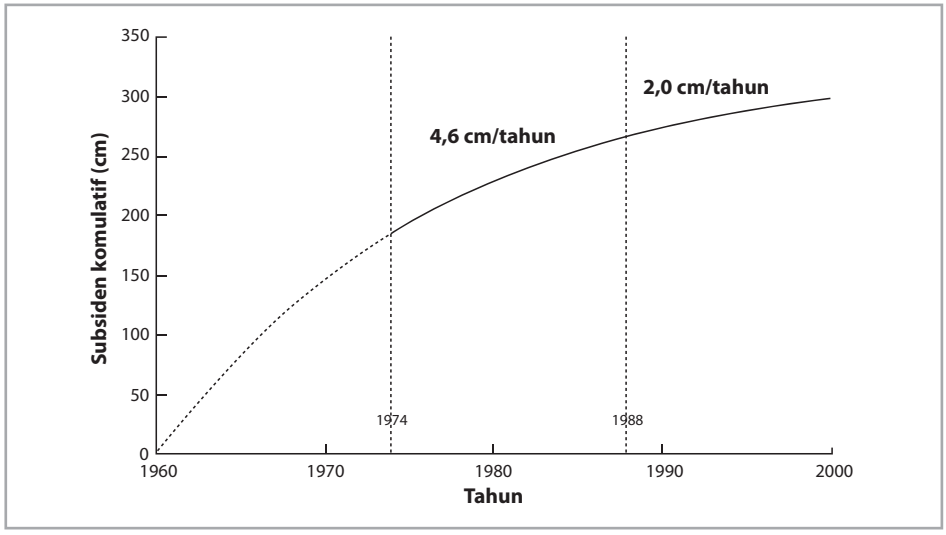
  Berdasarkan Couwenberg (2010) tersebut, apabila dalam 25 tahun gambut mengalami subsiden setinggi 50 cm maka 40% x 50 cm = 20 cm dari subsiden tersebut disebabkan oleh terdekomposisinya gambut. Jika kerapatan karbon

C_v = 0,06 t/m^3 maka dari 6.000 ha lahan, emisi yang terjadi selama 25 tahun adalah,

E_{bo} = 0,20 m x 0,06 t/m^3 C x 3,67 t CO_2/t C x 6.000 ha x 10.000 m^2/ha

= 2,6 juta t CO_2

- Pendugaan berdasarkan perubahan cadangan karbon pada gambut**.** Pendugaan didasarkan atas cadangan karbon pada gambut pada waktu t_1, misalnya sewaktu lahan gambut masih dalam bentuk hutan alam dan pada waktu t_2, misalnya beberapa tahun sesudah didrainase. Pengukuran kandungan C dan BI dilakukan per lapisan gambut mulai dari permukaan sampai ditemukan lapisan liat pada dasar (substratum) lahan gambut untuk waktu t_1 dan t_2. Contoh perhitungan pada Tabel 5 memberikan data BI, C_{org}, pada t_1 tahun 1990 dan t_2 tahun 2015. Pendekatan ini memberikan perkiraan emisi sebanyak 5,8 juta t CO_2 selama 25 tahun.



Gambar 20. Laju subsiden gambut yang didrainase dari studi kasus di Sarawak, Malaysia (Wösten *et al*., 1997). Tahun 1960 adalah tahun dimulainya drainase.

Sa= Sequestrasi atau penambatan karbon oleh tanaman = rata-rata waktu simpanan pertambahan kandungan karbon pada jaringan tanaman (t/ha) x 3,67. Misalnya, jika kandungan karbon rata-rata waktu dari satu siklus ekonomi kelapa sawit yang lamanya 25 tahun = 40 t/ha C, maka untuk 6.000 ha lahan, sumbangannya dalam mengurangi CO_2 di atmosfir = 40 t/ha C x 6.000 ha x 3,67 t CO_2/C = 880.800 t CO_2.

Δt = Perbedaan atau lamanya waktu yang diperhitungkan. Penetapan lamanya waktu tergantung keperluan; bisa dalam hitungan menit, jam, sampai tahunan. Untuk perdagangan karbon pada umumnya digunakan skala waktu yang panjang sesuai dengan lamanya perjanjian; misalnya selama 10 tahun sampai 20 tahun.

Dengan menggunakan hasil perhitungan di atas dan (Tabel 5 untuk *Ebo*), maka bila dikembalikan pada persamaan [10]

Tabel 5. Kalkulasi perubahan kandungan karbon gambut berdasarkan pengambilan contoh dengan bor gambut

No.	Pengamatan tahun 1990					Pengamatan tahun 2015				
	Kedalaman (cm)	BD (t/m³)	%C_{org}	C_v (t/m³)	C tersimpan (t/ha)	Kedalaman (cm)	BD (t/m³)	%C_{org}	C_v (t/m³)	C tersimpan (t/ha)
1	0-40	0.10	30	0.03	120	0-30	0.35	25	0.09	263
2	40-100	0.15	40	0.06	360	30-80	0.30	35	0.11	525
3	100-160	0.12	40	0.05	288	80-140	0.20	40	0.08	480
4	160-200	0.15	45	0.07	270	140-200	0.15	45	0.07	405
5	200-250	0.16	35	0.06	280	200-250	0.16	35	0.06	280
6	250-300	0.14	50	0.07	350	250-300	0.14	50	0.07	350
7	300-350	0.13	58	0.08	377	300-350	0.13	58	0.08	377
8	350-355	0.12	50	0.06	330	350-390	0.12	30	0.04	144
9	355-400	0.14	50	0.07	315					
10	400-450	0.12	55	0.07	330					
11	450-470	0.13	25	0.03	65					
Rata-rata		0.13	43	0.06			0.19	40	0.07	
Jumlah (t/ha C)					3,085					2,824
Penurunan C tersimpan dalam 25 tahun (t/ha C)										262
Penurunan simpanan C dalam 25 tahun dalam 6.000 ha (t CO_2)										5,758,230

$$E = \frac{(\ _a + \ _{bb} + E_{bo} - \ _a)}{\Delta_t}$$

E = (2.202.000 + 4.183.800 + 5.758.230 – 880.800) t CO_2/25 th

= 11.262.430 t CO_2/25 th/6.000 ha, atau rata-rata

= 75 t/ha/tahun

Dari contoh perhitungan ini dapat diinterpretasi bahwa sekitar 11 juta t CO_2 akan teremisi selama 25 tahun dari 6.000 ha lahan hutan gambut yang dikonversi menjadi suatu bentuk penggunaan lahan perkebunan. Dengan kata lain, emisi sebanyak = 11.262.430 t CO_2/25 th/6.000 ha dapat dihindari dengan mempertahankan hutan gambut dalam keadaan alami (*avoided deforestation*).

Dalam mekanisme *Reducing Emissions from Deforestation and Degradation* (Mengurangi Emisi dari Deforestasi dan Degradasi, REDD) atau mekanisme lainnya dalam rangka penurunan emisi, jasa karbon sejumlah tersebut, dengan berbagai ketentuan, dapat diberikan imbalan yang besarnya diperkirakan berdasarkan harga resmi jasa mempertahankan karbon (Certified Emission Reduction, CER) atau dengan memperhitungkan *opportunity cost* karena peluang mendapatkan keuntungan dari pengembangan usaha di lahan gambut ditangguhkan.

Apakah kita akan memilih memasuki perdagangan karbon atau tidak? Sebelum menentukan pilihan kita perlu memperhitungkan hal berikut:

- Apakah nilai imbalan jasa karbon melebihi harapan keuntungan (*opportunity cost*) dan biaya transaksi perdagangan karbon
- Apakah pemerintah pusat, PEMDA dan masyarakat lokal dapat menjaga komitmen jangka panjang (dalam contoh ini 25 tahun) untuk tidak menebang dan mendrainase hutan gambut
- Apakah dengan mengendalikan penebangan hutan pada lokasi yang ada kontraknya/perjanjiannya tidak akan menyebabkan penggelembungan penebangan hutan pada areal sekelilingnya (*leakage*)

Apabila salah satu jawaban dari pertanyaan di atas adalah "tidak", ini mengindikasikan belum siapnya pembeli jasa dan/atau penjual jasa memasuki perdagangan karbon.

Terlepas dari perdagangan karbon, penurunan cadangan karbon pada lahan gambut berhubungan dengan subsiden dan subsiden sangat berhubungan dengan keberlanjutan (sustainabilitas) usaha pertanian di lahan gambut. Penggunaan lahan gambut untuk pertanian perlu mempertimbangkan aspek keberlanjutan dan aspek lingkungan (Agus dan Subiksa, 2008). Untuk itu pada lahan gambut yang sudah digunakan untuk pertanian perlu diterapkan cara sistem pengelolaan gambut berkelanjutan. Mengingat relatif rendahnya produktivitas lahan gambut dan pentingnya peran lahan gambut sebagai penyangga kualitas lingkungan, maka untuk pengembangan lahan pertanian ke depan perlu diusahakan agar penggunaan lahan gambut seminimal mungkin.

Foto: Meine van Noordwijk

Saluran drainase selain penting untuk menurunkan kejenuhan tanah juga digunakan untuk transportasi.

Daftar Bacaan

Aguilar FJ, Agüera F, Aguilar, MA, Carvajal F. 2005. Effects of terrain morphology, sampling density, and interpolation methods on grid DEM Accuracy. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing Vol. 71, No. 7, July 2005, pp. 805–816.

Agus F, Wahyunto, Mulyani A, Dariah A, Maswar, Susanti E. 2011. Variasi stock karbon dan emisi CO_2 di lahan gambut. Laporan Tengah Tahun KP3I, Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor. Indonesia (Belum dipublikasi).

Agus F, Subiksa I GM. 2008. Lahan Gambut: Potensi untuk pertanian dan aspek lingkungan. Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre, Bogor. 36p.

Agus F, Handayani E, Van Noordwijk M, Idris K, Sabiham S. 2010. Root respiration interferes with peat CO_2 emission measurement. pp. 50-53 In Proceedings 2010 19th World Congress of Soil Science, 1 – 6 August 2010, Brisbane, Australia.

Boer R, Sulistyowati, Las I, Zed F, Masripatin N, Kartakusuma DA, Hilman D, Mulyanto HS. 2010. Indonesia's Second National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Ministry of the Environment, Jakarta.

Couwenberg J, Dommain R, Joosten H. 2010. Greenhouse gas fluxes from tropical peatlands in south-east Asia. Global Change Biollogy 16:1715–1732.

Dixon RK, Brown S, Houghton RA, Solomon AM, Trexler MC, Wisniewski. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science 263:185-191.

Hairiah K, Rahayu S. 2007. Pengukuran 'cadangan karbon' di berbagai macam penggunaan lahan. Bogor. World Agroforestry Centre – ICRAF SEA Regional Office, and University of Brawijaya, Indonesia. 77 p.

Hairiah K, Ekadinata A, Sari RR, Rahayu S. 2011. Pengukuran cadangan karbon dari tingkat lahan ke bentang lahan. Edisi 2. World Agroforestry *Centre*, ICRAF Southeast Asia dan Universitas Brawijaya. Bogor dan Malang. Indonesia.

Handayani E. 2009. Emisi karbon dioksida (CO_2) dan metan (CH_4) pada perkebunan kelapa sawit di lahan gambut yang memiliki keragaman dalam ketebalan gambut dan umur tanaman. PhD Thesis, Institut Pertanian Bogor.

Hooijer A, Page S, Canadell JG, Silvius M, Kwadijk J, Wösten H, Jauhiainen J. 2010. Current and future CO_2 emissions from drained peatlands in Southeast Asia. Biogeosciences, 7, 1505–1514, 2010.

Hooijer A, Silvius M, Wösten H Page S. 2006. PEAT-CO_2, ssessment of CO_2 emissions from drained peatlands in SE Asia. Delft Hydraulics report Q3943 (2006).

Hue AX, Chen GX, Wang ZP, Van Cleemput O, Patrick Jr WH. 2000. Methane and Nitrous Oxide Emissions from a Rice Field in Relation to Soil Redox and Microbiological Processes. Soil Sci. Soc. Am.J 64: 2180-2186.

IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by The National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. and Tanabe, K. (eds.). Published by IGES Japan.

Murdiyarso D, Rosalina U, Hairiah K, Muslihat L, Suryadiputra INN, Jaya A. 2004. Petunjuk lapangan: Pendugaan Cadangan Karbon pada Lahan Gambut. Proyek Climate Change, Forests and Peatlands in Indonesia. Wetlands International, Indonesia Programme and Wildlife Habitat Canada. Bogor, Indonesia.

Noor, M. 2001. Pertanian Lahan Gambut: Potensi dan Kendala. Penerbit Kanisius. Jakarta.

Page SE, Siegert F, Rieley JO, Boehm HV, Jaya A, Limin S. 2002. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. Nature (420):61-65.

Shofiyati R, Las I, Agus F. 2010. Indonesian Soil Data Base and Predicted Stock of Soil Carbon. In Chen Z.S. and F. Agus (eds.) Proceedings of International Workshop on Evaluation and Sustainable Management of Soil Carbon Sequestration in Asian Countries, Bogor, Indonesia, September 28-29, 2010. Pp.73-83

Suganda H, Rachman A, Sutono. 2007. Petunjuk pengambilan contoh tanah. Hal. 3-24 d*alam* Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya. Balai Penelitian Tanah, Bogor.

Van De Meene J. 1984. Geological Aspects of Peat Formation in The Indonesian-Malaysian Lowlands. Bulletin Geological Research and Development Centre, 9, 20-31.

Wahyunto, Ritung S, Suparto, Subagjo H. 2004. Map of Peatland Distribution Area and Carbon Content in Kalimantan. Wetland International-Indonesia Program and Wildlife Habitat Canada (WHC). Bogor – Indonesia.

Wahyunto, Ritung S, Suparto, Subagjo H. 2005. Peat Land Distribution and Carbon Content in Sumatra and Kalimantan. Wetland International-Indonesia Program and Wildlife Habitat Canada (WHC). Bogor – Indonesia.

Wahyunto, Suparto, Heryanto B, Bekti H. 2006. Sebaran Lahan Gambut, Luas dan Cadangan Karbon Bawah Permukaan di Papua. Wetland International Indonesia Programme. Bogor – Indonesia.

Walkley A, Black IA. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37:29-37.

Wösten JHM, Ismail AB, van Wijk ALM. 1997. Peat subsidence and its practical implications: a case study in Malaysia. Geoderma 78:25-36.

Lampiran 1. Lembaran pengamatan contoh tanah gambut

No	Nama Surveyor			Photo Lansekap No:
1	Tanggal			
2	Kode/Nomor pengamatan			
3	Lokasi (Desa, Kecamatan, Kabupaten, Provinsi)			
4	Koordinat/Posisi GPS			
5	Ketebalan gambut (cm)			
6	Tipe substratum			Liat/pasir
7	Pola drainase			Alami/buatan (terangkan) ……..……
8	Jarak titik pengamatan dari saluran(cm)			Saluran primer/sekunder/tersier
9	Kedalaman air di saluran (cm)			Saat ini …. cm; MH ….. cm; MK ……cm
10	Kedalaman muka air tanah (cm)			
11	Penggunaan lahan			
	Tahun brp saluran drainase dibuat			
	Penggunaan lahan sebelumnya			
	Tahun konversi menjadi penggunaan sekarang			
12	Label contoh (harus tercantum pada setiap kantong contoh)			
No.	Kode dan tanggal	Kedalaman (cm)	Kematangan	Keterangan (jika ada lapisan arang atau liat, sebutkan pada kedalaman berapa)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

World Agroforestry Centre
TRANSFORMING LIVES AND LANDSCAPES

Balai Besar Penelitian dan Pengembangan
Sumberdaya Lahan Pertanian