

Panduan Teknis

**Cara Pengukuran Stok Karbon di
Lahan Gambut - Contoh Perhitungan
dan Analisa Perdagangan Karbonnya**



ICCTF - BAPPENAS

**Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan
Lahan Gambut Berkelanjutan untuk Meningkatkan
Sekuestrasi Karbon dan Mitigasi Gas Rumah Kaca**



**Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian
Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya
Lahan Pertanian
Indonesia Climate Change Trust Fund (ICCTF-KEMANTAN)
2011**



KATA PENGANTAR

Perubahan iklim akibat peningkatan emisi (pelepasan) gas rumah kaca (GRK) telah memperlihatkan dampak yang mengkhawatirkan yang antara lain terlihat dari perubahan pola hujan, peningkatan suhu udara, dan naiknya permukaan laut. Hal ini secara langsung mengancam sistem produksi sektor pertanian. Perubahan pola hujan, misalnya, telah meningkatkan frekuensi dan intensitas banjir dan kekeringan, sementara naiknya permukaan laut telah pula menyebabkan semakin luasnya lahan pertanian yang terkena pengaruh salinitas atau kandungan garam tinggi.

Pemerintah Indonesia telah berkomitmen untuk menekan emisi GRK nasional dari tingkat BAU (*business as usual*) sebesar 26% dengan upaya sendiri dan 41% dengan dukungan negara lain pada tahun 2020. Untuk itu, berbagai strategi telah disiapkan oleh masing-masing sektor terkait, terutama kehutanan, pertanian, energi, transportasi, dan industri.

Salah satu kegiatan dalam upaya mitigasi dan adaptasi GRK di bidang pertanian adalah “Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan untuk Meningkatkan Penyerapan Karbon dan Penurunan Emisi GRK” yang diselenggarakan di empat lokasi lahan gambut di Sumatra dan Kalimantan. Kegiatan ini diharapkan menghasilkan data yang akurat tentang berbagai aspek meliputi total emisi karbon dari lahan gambut, pengaruh berbagai kematangan gambut terhadap emisi GRK, serta sistem usahatani rendah emisi karbon. Selain itu, kegiatan yang didukung oleh ICCTF-BAPPENAS ini juga diharapkan dapat dipakai sebagai rujukan dalam upaya pencapaian ketahanan pangan nasional serta peningkatan devisa, lapangan kerja, dan pendapatan penduduk.

Langkah implementasi dalam upaya mitigasi dan adaptasi GRK, disusun beberapa *panduan teknis*, meliputi: pengukuran GRK, pengukuran stok karbon, indentifikasi dan karakterisasi lahan gambut, membangun demplot untuk menekan emisi GRK di lahan gambut. Dengan *panduan teknis* ini diharapkan mampu mendukung komitmen Indonesia dalam menekan emisi GRK nasional.

Kepada ICCTF-BAPPENAS saya sampaikan penghargaan dan terima kasih atas dukungan terhadap kegiatan ini. Saya juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan masukan dan saran dalam penyusunan *panduan teknis* ini.

Bogor, Desember 2011

Kepala Balai Besar Litbang
Sumberdaya Lahan Pertanian

Dr. Ir. Muhrizal Sarwani, MSc.
NIP. 19600329 198403 1 001



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan	3
1.3. Sasaran	3
II. PENGAMBILAN CONTOH GAMBUT	4
2.1. Pengambilan Contoh Gambut Menggunakan Bor Gambut	4
2.2. Pengambilan Contoh Gambut dengan Ring Contoh	9
2.3. Pengambilan Contoh Gambut Utuh Berbentuk Kubus	11
III. PARAMETER DAN METODE PENENTUAN KARBON TERSIMPAN DALAM GAMBUT	12
3.1. Berat Volume	12
3.2. Kandungan Karbon Gambut	14
3.3. Kematangan Gambut	17
IV. PENDUGAAN EMISI GAS RUMAH KACA DARI LAHAN GAMBUT	19
REFERENSI	25
LAMPIRAN	24
Lampiran 1. Lembaran Pengamatan Gambut	26
Lampiran 2. Bahan dan Alat yang Diperlukan untuk Pengambilan Contoh Gambut	28

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kalkulasi perubahan kandungan karbon gambut berdasarkan pengambilan contoh dengan bor gambut	23
---	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. (Kiri) Bor gambut sebelum disambung dengan <i>extension rod</i> (tiang sambungan) untuk mengambil contoh gambut dengan kedalaman 0-50 dan 50-100 cm; (Tengah) bor gambut dengan beberapa tiang penyambung untuk mengambil contoh pada kedalaman beberapa meter; dan (Kanan) komponen dari bor gambut yang terdiri dari tangkai pemutar, tiang sambungan dan sampler	5
Gambar 2. Skema bagian sampler (utama) bor gambut model Ejkelkamp yang terbuat dari besi stainless	5
Gambar 3. Cara menggunakan bor gambut pada lahan yang terendam air	6
Gambar 4. Contoh tanah gambut yang baru dikeluarkan dari tabung bor ..	7
Gambar 5. Contoh gambut di dalam kantong plastik, siap diangkut ke laboratorium untuk analisis	8
Gambar 6. Ring untuk pengambilan contoh tanah tidak terganggu	9
Gambar 7. Tahapan pengambilan contoh tanah (gambut) utuh menggunakan <i>ring</i> kuning (dari pojok kiri atas ke pojok kanan bawah)	10
Gambar 8. (Kiri) contoh gambut berbentuk kubus dan (Kanan) contoh gambut yang mencair yang diambil dengan bor Eldeman karena berasal dari kedalaman di bawah muka air tanah	11
Gambar 9. Lumpung porselen (<i>mortar</i> atau cawan porselen dan <i>pestle</i> atau alu penumbuk)	14
Gambar 10. Cawan porselen yang digunakan untuk pengabuan kering di dalam tanur (tungku pemanas/ <i>furnace</i>)	15
Gambar 11. Syringe tanpa jarum bervolume 10 ml	18
Gambar 12. Pengambilan contoh gas dari sungkup tertutup (<i>closed chamber</i>)	21
Gambar 13. Laju subsiden gambut yang didrainase dari studi kasus di Sarawak, Malaysia (Wösten <i>et al.</i> , 1997) Tahun 1960 adalah tahun dimulainya drainase	22

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Lahan gambut menyimpan karbon (C) 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.

Dalam lahan gambut tersimpan 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 terbesar.

Kisaran kandungan karbon gambut adalah sekitar 30-70 g dm⁻³ atau 30-70 kg m⁻³ atau 30-70 t m⁻³. Jumlah ini setara dengan simpanan karbon 300-700 t ha⁻¹ m⁻¹. Dengan demikian, apabila gambut mempunyai ketebalan 10 m, maka karbon yang tersimpan di dalamnya adalah sekitar 3000-7000 t ha⁻¹.

Ketebalan gambut bervariasi mulai dari <1 m sampai >15 m dan dengan demikian karbon yang tersimpan di dalamnya juga bervariasi. Pada suatu kubah (dome) gambut, biasanya gambut di bagian pinggir kubah lebih tipis dan di bagian tengah lebih tebal. Seiring dengan itu karbon tersimpan di dalamnya juga lebih tinggi di bagian tengah kubah.

Secara mikro spasial kandungan karbon juga bervariasi secara vertikal dan horisontal. Sering terjadi bahwa pada kedalaman tertentu terdapat bagian gambut yang sangat sarang (*hollow*) sehingga berat volumenya (D_b) serta karbon yang tersimpan di dalamnya sangat rendah pula. Namun pada kedalaman berikutnya bisa saja terdapat pohon yang belum melapuk sempurna yang menghalangi penetrasi bor dan mempunyai kerapatan karbon yang tinggi. Keragaman ini meningkatkan ketidakpastian (*uncertainty*) dalam pengukuran kandungan karbon gambut.

Dalam keadaan hutan alami lahan gambut merupakan penyerap (*sink*) CO₂. Dengan demikian hutan gambut alami bertumbuh secara perlahan dan kandungan karbonnya bertambah tinggi. Namun apabila hutan gambut diganggu, maka lahan gambut berubah fungsi dari penyerap menjadi sumber emisi CO₂; gas rumah kaca terpenting.

Tindakan yang dapat merubah fungsi lahan gambut dari penyerap menjadi sumber CO₂ antara lain adalah:

- **Penebangan hutan gambut** yang menyebabkan meningkatnya insiden cahaya matahari langsung ke permukaan tanah gambut yang selanjutnya meningkatkan suhu dan aktivitas mikroorganisme perombak gambut. Penebangan pohon-pohonan juga meningkatkan ketersediaan bahan organik segar yang mudah dirombak baik secara aerobik yang menghasilkan CO₂, maupun anaerobik yang menghasilkan CH₄.
- **Pengeringan (drainase) gambut** yang merubah suasana anaerob menjadi aerob. Drainase gambut menurunkan muka air tanah pada lahan yang didrainase serta lahan di sekitarnya, baik berupa lahan gambut pertanian maupun lahan hutan gambut.
- **Pembakaran/kebakaran gambut.** Kebakaran meningkatkan emisi CO₂ dari oksidasi biomassa tanaman dan lapisan gambut yang terbakar. Kebakaran sering terjadi sewaktu pembukaan hutan atau pada masa kemarau panjang. Pada praktek pertanian secara tradisional lapisan gambut kadangkala sengaja dibakar untuk mengurangi kemasaman dan meningkatkan kesuburan tanah. Praktek ini meningkatkan kontribusi gambut terhadap emisi CO₂.
- **Penambahan pupuk dan amelioran.** Penggunaan pupuk, misalnya pupuk nitrogen, akan menurunkan rasio C/N dan mendorong perombakan bahan organik oleh jasad renik. Berbagai jenis pupuk dan amelioran yang meningkatkan pH gambut juga mempercepat perombakan gambut oleh jasad renik. Sebaliknya penggunaan ion polivalen seperti Al³⁺ dan Fe³⁺ yang membentuk kompleks kelat (*chelate*) dengan asam organik gambut akan membantu mengurangi dekomposisi gambut dan emisi CO₂.

Indonesia mempunyai sekitar 21 juta ha lahan gambut dengan simpanan karbon bawah tanah (below ground) sekitar 37 giga ton (Gt) (Wahyunto et al., 2003, 2004, 2007). Seiring dengan peningkatan jumlah penduduk, pembukaan hutan untuk mendapatkan bahan bangunan dan perabot serta untuk perluasan lahan pertanian dan perkotaan juga meningkat. Hal ini meningkatkan jumlah CO₂ yang dihasilkan dari lahan gambut. Bahkan emisi yang berhubungan dengan perubahan penggunaan lahan dan pengelolaan lahan gambut mendekati 50% dari emisi nasional Indonesia (Hooijer *et al.*, 2006).

Karena pentingnya peran lahan gambut sebagai penyimpan karbon dan sumber emisi CO₂, maka pengukuran dan monitoring karbon tersimpan pada lahan gambut menjadi sangat penting. Data hasil monitoring dapat digunakan sebagai tolok ukur untuk mengetahui keberlanjutan pertanian di lahan gambut. Selain itu kemampuan monitoring dan perhitungan neraca karbon penting dalam menghadapi sistem baru perdagangan karbon pasca

Kyoto Protocol (tahun 2012) yang disebut dengan mekanisme REDD (Reducing Emissions from Degradation and Deforestation/Mengurangi Emisi dari Deforestasi dan Degradasi Hutan).

Panduan ini membahas tentang parameter apa saja yang penting diukur berkenaan dengan pendugaan simpanan karbon gambut, bagaimana cara pengukurannya dan bagaimana menduga tingkat emisi dan simpanan karbon rata-rata di dalam gambut. Hasil perhitungan dihubungkan dengan diskusi ringkas tentang kemungkinan penggunaan hasil perhitungan dalam menghadapi mekanisme REDD.

1.2. Tujuan

1. Memberikan informasi tentang parameter-parameter penting dalam pendugaan simpanan karbon gambut.
2. Membrikan informasi cara pengukuran dan pendugaan tingkat emisi dan simpanan karbon rata-rata di lahan gambut.

1.3. Sasaran

Sasaran dari penerbitan panduan teknis ini adalah para peneliti, pelaksana lapangan, dan kalangan universitas.

II. PENGAMBILAN CONTOH GAMBUT

Contoh bentuk-bentuk tanah gambut dan cara pengambilannya adalah sebagai berikut:

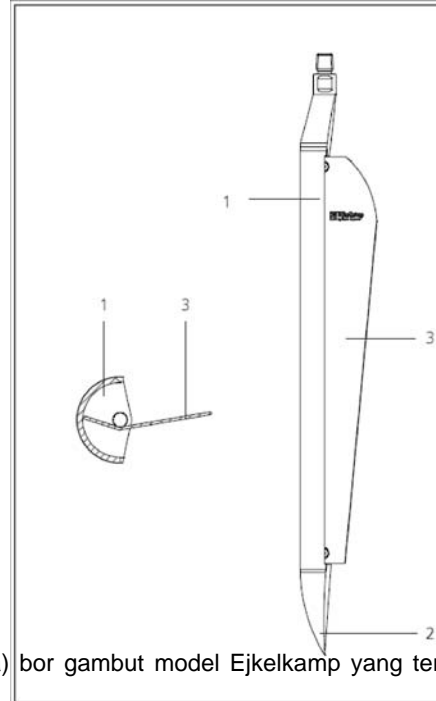
- Menggunakan bor gambut (contoh hampir tidak terganggu). Dengan menggunakan bor gambut contoh gambut dapat diambil dari permukaan sampai ke dasar (substratum) gambut tergantung jumlah batang besi penyambung (*extension rod*) yang dipunyai. Bahkan gambut yang berada dalam keadaan terendam airpun dapat diambil contohnya dengan menggunakan bor gambut. Contoh gambut yang diambil dengan bor gambut dapat digunakan untuk analisis berat volume (Db), kadar air (% volume), dan sifat kimia termasuk kandungan karbon (C).
- Contoh ring, diambil dengan menggunakan ring contoh tanah. Hanya gambut yang matang dan tidak jenuh air dapat diambil dengan ring contoh tanah. Gambut yang tidak matang, terendam air atau berada pada kedalaman di bawah muka air tanah (*water table*), tidak dapat diambil dengan ring. Contoh di dalam ring dapat digunakan untuk analisis Db, kadar air (% volume dan % berat) serta untuk analisis tegangan air tanah (pF).
- Contoh berbentuk kubus atau balok. Seperti halnya contoh ring, contoh berbentuk kubus hanya bisa dibuat untuk gambut yang relatif matang dan tidak jenuh air. Contoh ini dapat digunakan untuk penentuan Db dan kadar air % volume.
- Contoh gambut terganggu (*disturbed sample*) dapat diambil dengan menggunakan cangkul, parang atau bor tanah biasa (bor Edelman, atau bor Belgia). Contoh hanya bisa diambil pada lapisan gambut tidak jenuh air. Contoh ini biasanya digunakan untuk analisis sifat kimia tanah dan kadar air (% berat).

2.1. Pengambilan Contoh Gambut Menggunakan Bor Gambut

Bahan dan alat yang diperlukan tercantum pada Lampiran 2. Bor gambut (Gambar 1) terdiri dari tangkai, tiang sambungan (*extension rod*) dan *sampler*. *Sampler* terdiri atas sayap penutup dan setengah tabung silinder yang mempunyai satu sisi yang tajam untuk memotong gambut. Bagian-bagian dari bor ini dapat dihubungkan dengan mudah satu sama lainnya dengan menggunakan dua buah kunci pas nomor 23.



Gambar 1. (Kiri) bor gambut sebelum disambung dengan *extension rod* (tiang sambungan) untuk mengambil contoh gambut dengan kedalaman 0-50 dan 50-100 cm; (Tengah) bor gambut dengan beberapa tiang penyambung untuk mengambil contoh pada kedalaman beberapa meter; dan (Kanan) komponen dari bor gambut yang terdiri dari tangkai pemutar, tiang sambungan dan sampler.

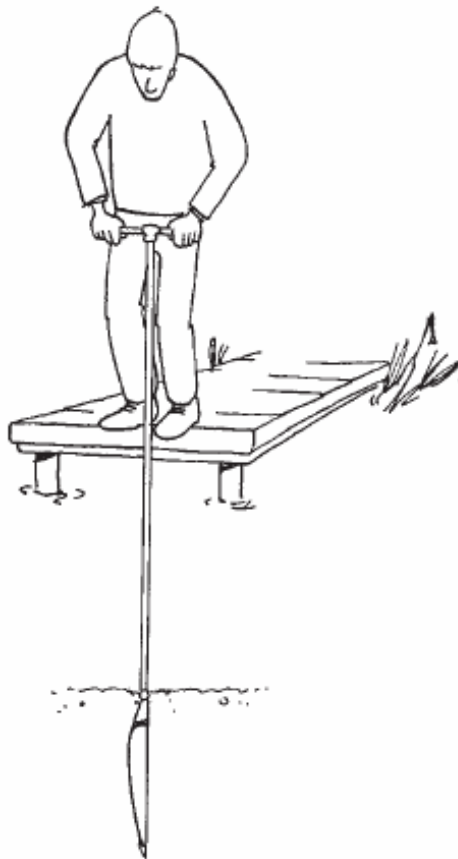


Gambar 2. Skema bagian sampler (utama) bor gambut model Ejkelkamp yang terbuat dari besi stainless.

Bagian utama bor ini terdiri atas setengah silinder yang dilengkapi sayap penutup, (1) kerucut yang masif pada bagian bawah (2), dan pisau pemotong serta sayap penutup (3).

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. Diameter tabung bor adalah 60 mm dan diameter contoh 52 mm, sehingga volume contoh yang diambil adalah 500 cm³. Tangkai bor panjangnya 60 cm dan dibalut dengan karet sintesis insulasi arus listrik.



Gambar 3. Cara menggunakan bor gambut pada lahan yang terendam air.

Cara Pengambilan contoh menggunakan bor gambut

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 20 x 22 (no. 23) untuk mengencangkan dan membuka 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 vertical 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 paksakan memasukkan bor dengan palu dan sejenisnya karena hal ini akan merusak bor.
6. Sesudah berada pada kedalaman yang diinginkan, putar bor searah jarum jam 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 dari lapisan tanah atas ke dalam bor.
7. Sesudah bor dicabut, rebahkan bor di permukaan tanah dengan sayapnya berada di bagian atas. Bila sayap diputar setengah lingkaran secara horizontal gambut akan keluar dari tabung dan contoh gambut yang hampir tidak terganggu berada di atas sayap (Gambar 4).



Gambar 4. Contoh tanah gambut yang baru dikeluarkan dari tabung bor.

8. Contoh gambut disimpan dalam wadah yang dibuat khusus agar 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 Db, gambut dan air dari tabung bor harus ditransfer secara kuantitatif ke dalam kantong plastik (Gambar 5) supaya tidak ada air yang tercecer dan jumlah gambut yang diambil tertentu 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.

Catatan:

- Dengan menggunakan bor gambut dimungkinkan mengambil contoh pada kedalaman yang diinginkan. Satu set bor dengan sembilan batang penyambung mampu mengambil contoh sampai kedalaman 10 m. Contoh dengan kedalaman 0-4 m relatif mudah diambil, namun kesulitan pengambilan contoh meningkat dengan semakin dalamnya contoh gambut yang akan diambil.



Gambar 5. Contoh gambut di dalam kantong plastik, siap diangkut ke laboratorium untuk analisis.

- Ada baiknya batang besi diberi tanda dengan selotip untuk menandai kelipatan kedalaman pengeboran 50 cm.
- Apabila ditemukan serat kasar atau tanah berbatu maka sayap bor kemungkinan tidak dapat menutup dengan sempurna dan contoh akan keluar dari bor. Untuk itu pengeboran perlu diulangi pada titik lain yang berdekatan.
- Apabila banyak lapisan keras yang harus ditembus ada baiknya menggunakan bor tanah biasa (Edelman Auger) sampai kedalaman tertentu di atas contoh yang akan diambil. Jika bor gambut dipaksakan menembus tanah yang keras, akan dapat merusak bor. Penggunaan bor biasa sampai menembus lapisan yang akan diambil contohnya akan merusak contoh sehingga hanya contoh gambut terganggu (*disturbed*) yang dapat diambil.

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
- Simpan bor di dalam tas atau kotaknya sesudah dikeringkan.

2.2. Pengambilan Contoh Gambut Dengan Ring Contoh

Cara pengambilan contoh gambut dengan ring (Gambar 6) tidak berbeda dengan cara pengambilan contoh tanah mineral tidak terganggu. Prosedurnya adalah sebagai berikut (dimodifikasi dari Suganda *et al.*, 2007):



Gambar 6. Ring untuk pengambilan contoh tanah tidak terganggu.

1. Ratakan dan bersihkan permukaan tanah dari rumput dan serasah tanaman.
2. Gali tanah sampai kedalaman tertentu (5-10 cm) di sekeliling titik pengambilan, kemudian ratakan tanah dengan pisau (Gambar 7).
3. Letakkan tabung di atas permukaan tanah secara tegak lurus, kemudian dengan menggunakan balok kecil yang diletakkan di atas permukaan tabung, tabung ditekan sampai tiga per empat bagian masuk ke dalam tanah.
4. Letakkan tabung lain di atas tabung pertama, dan tekan sampai 1 cm masuk ke dalam tanah.
5. Pisahkan tabung bagian atas dari tabung bagian bawah.
6. Gali tabung menggunakan sekop atau parang. Dalam menggali, ujung sekop harus lebih dalam dari ujung tabung agar tanah di bawah tabung ikut terangkat.
7. Iris kelebihan tanah bagian atas terlebih dahulu dengan hati-hati agar permukaan tanah sama dengan permukaan tabung, kemudian tutuplah tabung menggunakan tutup plastik yang telah tersedia. Setelah itu, iris dan potong kelebihan tanah bagian bawah dengan cara yang sama dan tutuplah tabung.
8. Cantumkan label di atas tutup tabung bagian atas contoh tanah yang berisi informasi kedalaman, tanggal, dan lokasi pengambilan contoh tanah.



Gambar 7. Tahapan pengambilan contoh tanah (gambut) utuh menggunakan *ring* kuning (dari pojok kiri atas ke pojok kanan bawah).

2.3. Pengambilan Contoh Gambut Utuh Berbentuk Kubus

Cara ini hanya bisa dilakukan untuk gambut matang dan cukup kering. Untuk gambut yang tidak mudah pecah, bahkan kubus gambut (Gambar 8) bisa dibuat tanpa menggunakan frame. Penggunaan frame (cetakan) berbentuk kubus atau balok dari seng atau flexi glass yang bagian atas dan bawahnya bolong caranya hampir sama dengan cara pengambilan contoh tanah dengan menggunakan ring.

Catatan:

Penggunaan ring atau kubus adalah untuk menentukan volume contoh tanah dalam keadaan tidak terganggu. Kucuali ada keperluan khusus untuk mempertahankan bentuk contoh (misalnya analisis pF dengan contoh di dalam ring), contoh yang sudah diketahui volumenya dapat dipindahkan secara kuantitatif ke dalam kantong plastik untuk menentukan D_b dan kadar air.



Gambar 8. (Kiri) contoh gambut berbentuk kubus dan (Kanan) contoh gambut yang mencair yang diambil dengan bor Eldeman karena berasal dari kedalaman di bawah muka air tanah.

III. PARAMETER DAN METODE PENENTUAN KARBON TERSIMPAN DALAM GAMBUT

Untuk penentuan karbon tersimpan di dalam tanah gambut diperlukan data berat volume (D_b), kandungan karbon, ketebalan dan luas lahan gambut. Beberapa parameter lain biasanya juga diamati karena dapat membantu interpretasi data sehingga pada umumnya parameter yang diamati dalam penentuan karbon tersimpan dalam gambut adalah:

- Berat volume (Bulk density; D_b) [g cm^{-3} atau kg dm^{-3} atau t m^{-3}]
- Kandungan karbon [% berat]
- Tingkat kematangan gambut
- Ketebalan gambut
- Luas lahan gambut
- Kadar serat /kematangan gambut

3.1. Berat Volume

Berat volume, D_b , adalah masa fase padat tanah, M_s , dibagi dengan volume total tanah, V_t . Volume total tanah adalah jumlah volume dari fase padat tanah dalam keadaan di lapangan. Nilai D_b yang umum untuk tanah gambut berkisar antara $0.05\text{-}0.3 \text{ g cm}^{-3}$, namun kadangkala bisa sampai <0.01 dan $>0.4 \text{ g cm}^{-3}$.

Berbeda dengan tanah mineral, tanah gambut tidak membentuk bongkahan dan mudah terbakar. Dengan demikian penentuan berat volume dengan metode bongkahan (*clod method*) yang memerlukan keberadaan bongkahan dan proses pembakaran bongkahan, tidak dapat diberlakukan untuk tanah gambut.

D_b gambut ditentukan di laboratorium dengan metode gravimetris. Contoh yang digunakan dapat berupa contoh dari bor gambut model Ejkelpamp atau contoh ring atau kubus gambut dengan volume tertentu. Cara penentuan berat volume adalah sebagai berikut (dimodifikasi dari Agus *et al.*, 2007):

1. Pindahkan contoh tanah yang berasal dari bor gambut atau dari ring secara kuantitatif ke dalam cawan aluminium. Jika menggunakan ring, contoh tanah yang berada dalam ring dapat dipindahkan ke dalam cawan aluminium atau tanah dikeluarkan dari ring terlebih dahulu.

2. Jika diperlukan data kadar air tanah, timbang massa tanah basah yang berada di dalam cawan (dan ring). Massa tanah basah adalah $M_s + M_w$, di mana M_s adalah massa tanah dan M_w adalah massa air yang terkandung di dalam matriks tanah.
3. Keringkan contoh tanah di dalam oven pada suhu 70 °C selama 48 jam sampai dicapai berat yang konstan. Berat konstan diperoleh dengan memasukkan contoh ke dalam desikator selama kurang lebih 10 menit sebelum ditimbang.
4. Timbang berat kering tanah (M_s) + berat ring (M_r) + berat cawan (M_c).
5. Tentukan volume contoh tanah, V_t . Bila contoh tanah adalah contoh ring, maka $V_t = \pi r^2 t$, 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 $V_t = 0.5 \text{ dm}^{-3}$ atau 500 cm^{-3} .
6. Hitung berat volume (bulk density, D_b) dengan rumus

$$D_b = \frac{M_s}{V_t} = \frac{(M_s + M_r + M_c) - (M_r + M_c)}{V_t} \quad [1]$$

7. Apabila satuan massa adalah gram (g) dan satuan volume adalah cm^3 maka satuan untuk D_b adalah g cm^{-3} .
8. Cuci dan keringkan ring dan cawan di dalam oven (105°C) selama 1-2 jam. Timbang massa ring, M_r , dan massa cawan, M_c . Kadar air tanah (berdasarkan volume), \hat{e}_v , KA_v , dapat dihitung dengan rumus:

$$\hat{e}_v = \frac{V_w}{V_t} = \frac{\{(M_s + M_w + M_r + M_c) - (M_s + M_r + M_c)\} / \rho_w}{V_t} \quad [2]$$

Kadar air berdasarkan berat kering, KA_m , atau \hat{e}_m

$$\hat{e}_m = \frac{M_w}{M_s} = \frac{M_t - M_s}{M_s} \quad [2b]$$

Satuan yang digunakan adalah $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ untuk memberikan indikasi bahwa kadar air dihitung berdasarkan volume. Satuan bisa dalam bentuk % volume.

Nilai kadar air berdasarkan volume (\hat{e}_v) dapat dikonversi menjadi kadar air berdasarkan berat (\hat{e}_m) dengan rumus:

$$\hat{e}_m = \hat{e}_v * \tilde{n}_w / D_b \quad [3]$$

dengan \tilde{n}_w adalah berat jenis air yang nilainya mendekati 1 g cm^{-3} .

3.2. Kandungan Karbon Gambut

Kandungan karbon gambut dapat ditentukan dengan salah satu dari beberapa metode yaitu, pengabuan kering (*lost in ignition*), Walkley and Black (pengabuan basah), atau C analyzer. Metode yang paling sederhana, namun memberikan angka yang cukup akurat adalah metode pengabuan kering. Dengan banyaknya serat setengah lapuk, pengabuan basah dikhawatirkan tidak merombak semua bahan organik dalam analisisnya. Penggunaan auto analyzer merupakan metode langsung (mengukur carbon atau CO₂), namun dengan sangat sedikitnya (15-30 mg) contoh yang dianalisis maka pengambilan contoh yang paling mewakili merupakan bagian yang kritis metode ini. Dalam panduan ini diuraikan metode pengabuan kering.

3.2.1. Penentuan kandungan C dengan pengabuan kering

Prinsip analisis ini adalah membakar semua bahan organik yang ada dalam contoh tanah kering sampai suhu 550 °C selama 6 jam. Kehilangan masa dalam pembakaran adalah massa bahan organik. Konversi dari massa bahan organik ke massa C organik menggunakan faktor konversi 1/1,724.

Prosedur

1. Giling satu sendok tanah kering oven (dari prosedur penentuan D_b ; Bagian 3.1 panduan ini) dengan menggunakan lumpung porselen (*mortar and pestle*; Gambar 9) sampai halus.



Gambar 9. Lumpung porselen (*mortar* atau cawan porselen dan *pestle* atau alu penumbuk).



Gambar 10. Cawan porselin yang digunakan untuk pengabuan kering di dalam tanur (tungku pemanas/furnace).

2. Tanpa mengayak terlebih dahulu timbang 1 atau 2 gr contoh tanah gambut, M_s , yang sudah halus dan salin secara kuantitatif ke dalam cawan porselin yang sudah diketahui beratnya, M_c .
3. Susun cawan porselin berisi contoh di dalam furnace (tanur pemanas) (Gambar 10).
4. Naikkan suhu secara bertahap; biarkan selama satu jam untuk setiap kenaikan suhu 100 °C sampai suhu mencapai 550 °C. Biarkan pembakaran berlangsung pada suhu 550 °C selama 6 jam.
5. Matikan tanur dan biarkan tungku menjadi dingin selama kurang lebih 8 jam.
6. Timbang abu yang tersisa di dalam cawan, M_a .
7. Untuk koreksi kadar air, timbang contoh tanah yang sudah digiling (dari *Prosedur 1*) sekitar 3 gr (BB = berat basah) ke dalam cawan aluminium yang sudah diketahui beratnya. Keringkan selama 24 jam pada suhu 70 °C dan timbang berat keringnya (BK). Hitung % kadar airnya, KA :

$$KA_m = \frac{BB - BK}{BK} * 100\% \quad [4]$$

Persamaan [4] ini sama dengan persamaan [2b]

8. Hitung kandungan C gambut berdasarkan berat kering (g g^{-1}):

$$C = \frac{M_s - M_a}{M_s} * KKA / 1,724 = \frac{\{(M_c + M_s) - M_c + M_a\} * KKA / 1,724}{M_s} \quad [5]$$

KKA = faktor koreksi kadar air = $((100 - KA_m)/100)$

9. Kadar abu dapat dihitung dengan:

$$\text{Kadar abu (\%)} = M_a / M_s * KKA * 100 \quad [6]$$

Kandungan C berdasarkan berat kering biasanya dipresentasikan dalam satuan persen (%) yang nilainya adalah C berdasarkan persamaan [5] dikalikan dengan 100% atau dengan satuan g g^{-1} .

Kerapatan karbon (C density, C_d) yaitu berat karbon per satuan volume, dapat dihitung dengan persamaan:

$$C_d = D_b * C \quad [7]$$

C_d menggunakan satuan g cm^{-3} atau kg dm^{-3} atau ton m^{-3} (Mg m^{-3}).

Kisaran D_b gambut adalah sekitar $0,02 \text{ kg dm}^{-3}$ pada gambut mentah dan pada bagian gambut yang berongga (*hollow*) sampai $0,40 \text{ kg dm}^{-3}$ pada gambut matang yang sudah mengalami pemadatan atau bercampur liat. Kisaran kandungan C gambut adalah 30-58%.

Catatan:

Apabila C ditentukan dengan menggunakan metode pengabuan kering (loss in ignition) maka nilai D_b yang digunakan untuk penentuan kerapatan carbon, C_d adalah D_b bebas abu (ash free $D_b = D_{b-a}$)

$$D_{b-a} = \frac{M_s - M_a}{V_t} \quad [8]$$

Contoh perhitungan:

Apabila dari persamaan [1] didapatkan bahwa berat volume, D_b adalah $0,10 \text{ g cm}^{-3}$ dan kandungan C = 45% maka kerapatan C dapat dihitung sebagai berikut:

$$C_d = D_b * C = 0,10 \text{ g cm}^{-3} * 45 \text{ g}/(100 \text{ g}) = 0,045 \text{ g cm}^{-3} = 0,045 \text{ t m}^{-3}.$$

Untuk 1 ha lahan gambut dengan kedalaman 0.5 m maka

$C_d = 0,045 \text{ t m}^{-3} * 0.5 \text{ m} * 10.000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} = 225 \text{ t ha}^{-1}$. Jika ketebalan gambut adalah 6 m dan berat volume yang sama dari lapisan atas sampai kedalaman 6 m, maka karbon tersimpan di dalam gambut tersebut adalah

$6 \text{ m} \times 450 \text{ ton ha}^{-1} \text{ m}^{-1} = 2.700 \text{ t ha}^{-1}$. Jumlah tersebut belum termasuk karbon yang ada dalam jaringan tanaman. Misalnya, untuk lahan gambut yang ditumbuhi kelapa sawit kandungan karbon **rata-rata waktu** (*time average*) di dalam tanaman berkisar antara 30 sampai 60 t ha⁻¹.

3.3. Kematangan Gambut

Pengamatan kematangan gambut berguna untuk menaksir kesuburan dan kandungan C 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 kerapatan karbon, C_g , lebih tinggi. Pengamatan kematangan gambut dapat dilakukan di lapangan atau di laboratorium berdasarkan kadar seratnya.

Penetapan Kematangan Gambut di Lapangan

1. Ambil segenggam gambut lalu peras di telapak tangan.
2. Kelompokkan kematangan gambut dengan kriteria sebagai berikut:
 - 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) (Gambar 4, bawah) adalah gambut setengah matang, sebagian bahan asalnya masih bisa dikenali, berwarna coklat, dan bila diremas kandungan seratnya yang tertinggal di telapak tangan antara sepertiga dan dua pertiga jumlah semula.
 - Gambut fibrik (mentah) (Gambar 4, atas) adalah gambut yang belum melapuk, bahan asalnya masih bisa dikenali, berwarna coklat, dan bila diremas kandungan seratnya yang tertinggal di telapak tangan > dua pertiga jumlah semula.

Penetapan Kematangan Gambut di Laboratorium

1. Gunakan segenggam gambut segar dan masukkan ke dalam *syringe* bervolume 10 ml atau 25 ml.
2. Tekan pompa *syringe* dan catat volume sewaktu gambut tidak bisa lagi dimampatkan.
3. Pindahkan gambut dari dalam *syringe* ke dalam ayakan dengan ukuran lobang 150 μm atau 0.0059 inci.



Gambar 11. Syringe tanpa jarum bervolume 10 ml.

4. Gunakan botol semprot atau semprotan air untuk membilas gambut yang halus.
5. Sesudah serat halus lolos dari ayakan, pindahkan serat kasar ke dalam *syringe* dan mampatkan. Catat volume serat kasat.
6. Hitung kadar serat = $\text{Vol 2/Vol1} * 100\%$
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 $>75\%$.

IV. PENDUGAAN EMISI GAS RUMAH KACA DARI LAHAN GAMBUT

Gas rumah kaca (GRK) yang dikeluarkan (diemisikan) lahan gambut adalah 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 signifikan pada gambut yang berada dalam keadaan anaerob (terendam atau jenuh air). Bila gambut didrainase maka emisi CO_2 menjadi dominan dan emisi CH_4 menjadi sangat berkurang. Emisi N_2O terjadi pada tanah yang mendapatkan pengkayaan nitrogen dan 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 karbon tersimpan pada tanah gambut

Simpanan karbon terbesar pada lahan gambut adalah pada gambut itu sendiri dan yang kedua adalah pada jaringan tanaman dan pada seresah. Masing-masing simpanan karbon tersebut dapat bertambah atau berkurang tergantung pada faktor alam dan campur tangan manusia. Kemarau panjang berakibat pada penurunan muka air tanah yang selanjutnya mempercepat emisi CO_2 . Kebakaran dapat menurunkan simpanan karbon di jaringan tanaman dan di dalam gambut. Pemupukan dapat meningkatkan emisi. Sebaliknya, pada lahan gambut yang sudah terlanjur didrainase, peningkatan muka air tanah, misalnya melalui pemasangan empang pada saluran (*canal blocking*) dapat memperlambat emisi.

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

$$E = \frac{(Ea + Ebb + Ebo - Sa)}{\Delta t} \quad [8]$$

Ea = Emisi karena terbakarnya **jaringan tanaman** di atas permukaan tanah, misalnya pada waktu pembukaan hutan. $Ea = C$ tanaman yang terbakar * 3.67. Angka 3.67 adalah faktor konversi dari C menjadi CO_2 . Menurut ketentuan IPCC (2006), dari suatu pembukaan hutan dengan praktek pembakaran, dianggap semua (100%) C tanaman terbakar menjadi CO_2 , walaupun sesungguhnya sebagian dari kayu hutan yang dibuka dijadikan

bahan bangunan dan perabotan yang melapuk secara perlahan. Jika hutan gambut mempunyai kandungan C tanaman sebanyak 100 t ha^{-1} maka

$$E_a = 100 \text{ t C ha}^{-1} * 3.67 \text{ CO}_2/\text{C} = 367 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1}.$$

Jika lahan yang akan diperhitungkan adalah 6000 ha (luas satu unit skala ekonomi perkebunan kelapa sawit) maka jumlah emisi

$$E_a = 367 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} * 6000 \text{ ha} = 2.202.000 \text{ t CO}_2$$

Penetapan simpanan C pada jaringan tanaman diuraikan pada Hairiah dan Rahayu (2007).

E_{bb} = Emisi karena **kebakaran gambut**

$$E_{bb} = \text{volume gambut yang terbakar (m}^3) * C_d \text{ (t C m}^{-3}) * 3.67 \text{ CO}_2/\text{C}.$$

Volume gambut yang terbakar dapat diperkirakan dengan mengukur volume cekungan pada lahan gambut yang terbentuk sesudah terjadinya kebakaran. Misalnya jika 6000 ha gambut terbakar dengan kedalaman kebakaran rata-rata 12 cm maka:

$$\text{Volume gambut yang terbakar} = 0.12 \text{ m} * 60.000.000 \text{ m}^2 = 7.200.000 \text{ m}^3.$$

Nilai C_d didapatkan dari persamaan [7]. Jika $C_d = 0.04 \text{ t m}^{-3}$ maka

$$E_{bb} = 7.200.000 \text{ m}^3 * 0.04 \text{ t C m}^{-3} * 3.67 \text{ CO}_2/\text{C} = 1.056.960 \text{ t CO}_2$$

E_{bo} = Emisi dari **dekomposisi gambut**. Banyak faktor yang mempengaruhi kecepatan dekomposisi gambut, yang paling penting di antaranya adalah kedalaman drainase, namun pada kedalaman drainase 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 emisi GRK dengan menggunakan **Gas Chromatography (GC)**. Contoh gas di lapangan diambil dari sungkup tertutup (closed chamber) dengan menggunakan jarum suntik (*syringe*) (Gambar 12) dan kemudian konsentrasi gas diukur dengan GC (Hue *et al.* 2000). Metode ini relative mahal, namun memberikan pengukuran langsung untuk gas CO_2 , CH_4 dan N_2O , tergantung kemampuan CG yang digunakan.
- **Hubungan empiris** antara faktor pengelolaan lahan dengan besaran emisi. Dari berbagai penelitian di beberapa lokasi (yang sebagian besarnya) di Malaysia dan Indonesia, Hooijer *et al.* (2006) membuat hubungan bahwa dengan penambahan kedalaman drainase setiap 1 cm maka emisi CO_2 dari dekomposisi gambut meningkat setinggi = $0,91 \text{ t ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ (berlaku untuk kedalaman



Gambar 12. Pengambilan contoh gas dari sungkup tertutup (*closed chamber*).

saluran drainase antara 30-120 cm). Misalnya, apabila hutan gambut yang tidak mempunyai drainase dirubah penggunaannya menjadi perkebunan kelapa sawit dengan kedalaman drainase 60 cm maka akan terjadi peningkatan emisi, $E_{bo} = 0,91 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ th}^{-1} \text{ cm}^{-1} * 60 \text{ cm} = 54,6 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$. Apabila luas lahan yang dikonversi 6000 ha untuk satu siklus perkebunan kelapa sawit selama 25 th maka $E_{bo} = 54,6 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ th}^{-1} * 6000 \text{ ha} * 25 \text{ th} = 8.190.000 \text{ t CO}_2$.

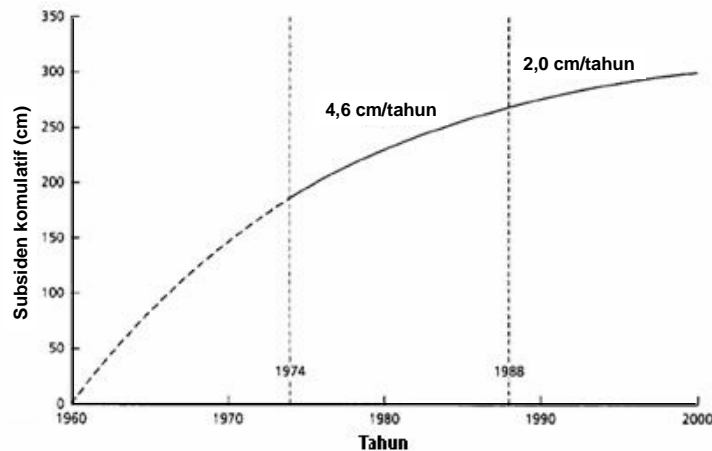
- Pendugaan berdasarkan penurunan permukaan gambut (**subsiden**). Menurut Wösten *et al.* (1997), subsiden berlangsung sangat cepat beberapa tahun pertama sesudah lahan gambut didrainase dan kemudian akan mencapai kestabilan sekitar 2 cm th^{-1} . Dijelaskan lebih jauh bahwa, dengan asumsi tidak terjadi kebakaran, maka dekomposisi gambut menyumbang 60% terhadap subsiden sedangkan pemadatan (konsolidasi) menyumbang 40%. Berdasarkan prinsip tersebut, apabila dalam 25 tahun gambut mengalami subsiden setinggi 100 cm maka $60\% * 100 \text{ cm} = 60 \text{ cm}$ dari subsiden tersebut disebabkan oleh terdekomposisinya gambut. Jika kerapatan karbon $C_d = 0.04 \text{ t m}^{-3}$ maka dari 6000 ha lahan emisi yang terjadi

$$E_{bo} = 0.60 \text{ m} * 0.04 \text{ t C m}^{-3} * 3.67 \text{ t CO}_2/\text{t C} * 6000 \text{ ha} * 10.000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} = 5.284.800 \text{ t CO}_2$$

- Pendugaan berdasarkan **perubahan karbon tersimpan pada gambut**. Pendugaan didasarkan atas karbon tersimpan pada gambut pada waktu t_1 , sewaktu lahan gambut masih dalam bentuk hutan dan pada waktu t_2 , misalnya pada akhir siklus perkebunan sawit dengan metode seperti diterangkan pada Bagian 3.2 panduan ini. Pengukuran dilakukan per lapisan gambut mulai dari permukaan sampai ditemukan lapisan liat pada dasar (substratum) lahan gambut. Contoh perhitungan diberikan pada Tabel 1. Pada contoh ini seolah-olah semua karbon yang teroksidasi menjelma menjadi CO_2 dan emisi dalam bentuk CH_4 atau N_2O diabaikan, karena biasanya jumlah CH_4 atau N_2O relative kecil.

S_a = Sequestrasi atau penambatan karbon oleh tanaman = rata-rata waktu simpanan pertambahan kandungan karbon pada jaringan tanaman (t/ha) * 3.67. Misalnya, jika kandungan karbon rata-rata waktu dari satu siklus ekonomi kelapa sawit yang lamanya 25 tahun = 40 t C ha^{-1} , maka untuk 6000 ha lahan, sumbangannya dalam mengurangi CO_2 di atmosfer = $40 \text{ t C ha}^{-1} * 6000 \text{ ha} * 3.67 \text{ t CO}_2/\text{C} = 880.800 \text{ t CO}_2$.

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 satu siklus ekonomi tanaman kelapa sawit (25 tahun). Untuk dapat menggunakan persamaan [8], maka satuan dalam perhitungan harus disetarakan.



Gambar 13. Laju subsiden gambut yang didrainase dari studi kasus di Sarawak, Malaysia (Wösten *et al.*, 1997). Tahun 1960 adalah tahun dimulainya drainase.

Tabel 1. Kalkulasi perubahan kandungan karbon gambut berdasarkan pengambilan contoh dengan bor gambut.

No.	Pengamatan tahun 1990					Pengamatan tahun 2015				
	Kedalaman (cm)	Db (t m-3)	% C	Cd (t m-3)	Simpanan C t ha-1	Kedalaman (cm)	Db (t m-3)	% C	Cd (t m-3)	Simpanan C t ha-1
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 C ha-1)					3085	2824				
Penurunan simpanan C dalam 25 tahun (t C ha-1)						262				
Penurunan simpanan C dalam 25 tahun dalam 6000 ha (t CO2)						5,758,230				

Apabila lahan gambut dirubah menjadi kebun kelapa sawit, kemungkinan besar hanya sekali terjadi kebakaran hutan (biomassa tanaman) dan kebakaran tanah gambut. Dengan demikian emisi rata-rata tahunan menjadi lebih kecil dengan semakin panjangnya waktu produksi yang diperhitungkan, sehingga nilai *Ea* dan *Ebb* yang diperhitungkan di atas bisa berlaku untuk 25 tahun, 50 tahun atau lebih lama. Sebaliknya nilai *Ebo* akan senantiasa meningkat secara kumulatif.

Dengan menggunakan hasil perhitungan di atas dan Tabel 1 untuk *Ebo*, maka bila dikembalikan pada persamaan [8]

$$\begin{aligned}
 E &= (2.202.000 \text{ t CO}_2 + 1.056.960 \text{ t CO}_2 + 5.758.230 \text{ t CO}_2 - \\
 &\quad 880.800 \text{ t CO}_2)/25 \text{ th} \\
 &= 8.136.390 \text{ t CO}_2/25 \text{ th}
 \end{aligned}$$

Dari contoh perhitungan ini dapat diinterpretasi bahwa 8.136.390 t CO₂ akan teremisi dari 6000 ha lahan dalam satu siklus produksi kelapa sawit selama 25 tahun apabila lahan hutan gambut dengan simpanan karbon sebanyak 100 t ha⁻¹ dialihgunakan menjadi perkebunan kelapa sawit yang simpanan karbon rata-rata waktunya 40 t ha⁻¹. Dengan kata lain, emisi 8.136.390 t CO₂ dapat dihindari dengan mempertahankan hutan gambut dalam keadaan alami.

Dalam mekanisme *Reducing Emissions from Deforestation and Degradation* (Mengurangi Emisi dari Deforestasi dan Degradasi, REDD) jasa karbon sejumlah tersebut, dengan berbagai ketentuan, dapat diberikan imbalan. Harga resmi jasa mempertahankan karbon (Certified Emission Reduction, CER) yang berlaku dewasa ini berkisar antara US\$15-25 /t CO₂. Untuk sektor pertanian di negara berkembang kemungkinan harga yang diberlakukan adalah antara US\$ 5 sampai 10 t⁻¹ CO₂ disebabkan tingginya angka ketidak-pastian dan variasi pengelolaan dan sifat lahan. Pilihan apakah negara kita akan memasuki perdagangan karbon atau tidak 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
- Apakah dengan mengendalikan penebangan hutan pada lokasi yang ada kontraknya/perjanjiannya tidak akan menyebabkan penggelembungan penebangan hutan pada areal sekelilingnya
- Apakah lembaga pada tingkat lokal mampu melakukan monitoring neraca karbon.

Apabila salah satu dari pertanyaan diatas dijawab dengan “tidak” maka lebih baik tidak membuat komitmen jangka panjang untuk perdagangan karbon, karena kalau ada pelanggaran akan ada sanksi berupa denda. Selain itu, dalam menggunakan lahan gambut untuk pertanian perlu mempertimbangkan aspek keberlanjutan dari lahan tersebut seperti diterangkan pada Agus dan Subiksa (2008).

REFERENSI

- Agus F, Subiksa I G M, 2008. Lahan Gambut: Potensi untuk pertanian dan aspek lingkungan. Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre, Bogor. 36p.
- Agus F, Yustika RD, Haryati U. 2007. Penetapan berat volume tanah. Hal 25-34 *dalam* Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya. Balai Penelitian Tanah, Bogor.
- Hairiah K, Rahayu S. 2007. Petunjuk praktis Pengukuran karbon tersimpan di berbagai macam penggunaan lahan. World Agroforestry Centre, ICRAF Southeast Asia. ISBN 979-3198-35-4. 77p
- 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.
- Suganda, H., A. Rachman dan Sutono. 2006. Petunjuk pengambilan contoh tanah. Hal. 3-24 *dalam* Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya. Balai Penelitian Tanah, Bogor.
- 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.

LAMPIRAN

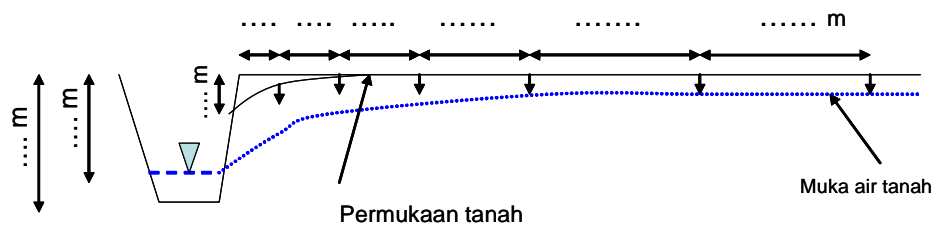
Lampiran 1. Lembaran Pengamatan Gambut

	Nama Surveyor	Photo Lansekap No:
1	Tanggal	
2	Kode/Nomor pengamatan	
3	Lokasi (Desa, Kecamatan, Kabupaten,Provinsi:	
4	Koordinat/ Posisi GPS	
5	Kematangan gambut	Saprik/hemik/fabrik
6	Ketebalan gambut (cm)	
7	Kedalaman lapisan liat (cm)	
8	Kedalaman arang (cm)	
9	Tipe substratum	Liat/pasir
10	Pola drainase	Alami/buatan (terangkan)
11	Jarak titik pengamatan dari saluran (cm)	Saluran primer/sekunder/tersier
12	Kedalaman air di saluran (cm)	Saat ini cm; MH cm; MKcm
13	Kedalaman muka air tanah (cm)	
14	Penggunaan lahan	
	Tahun brp saluran drainase dibuat	
	Penggunaan lahan sebelumnya	
	Tahun konversi menjadi penggunaan sekarang	
15	Klasifikasi tanah	
16	Jumlah contoh tanah	
	Contoh dari bor gambut	
	Contoh ring	

Profil gambut



Sket pengamatan lapangan:



↓ = Titik pengambilan contoh/pengamatan

Lampiran 2. Bahan dan alat yang diperlukan untuk pengambilan contoh gambut

- Bor gambut (terdiri dari peat sampler, 5-9 batang extension rod, dan satu pasang handle)
- Kunci pas nomor 23 (2 buah)
- Meteran (2 m)
- Meteran panjang (50 m), jika diperlukan pengukuran pada suatu transek
- Pisau/sendok plastik
- Spidol
- Kantong plastik
- Kertas label
- Sikat ijuk pembersih bor
- Ember
- Kain lap
- GPS