

Kehilangan Karbon pada Berbagai Tipe Penggunaan Lahan Gambut Tropika yang Didrainase

Carbon Loss from Several Landuse Type on Tropical Peat Lands Drained

MASWAR¹, O. HARIDJAJA², S. SABIHAM³, DAN M. VAN NOORDWIJK⁴

ABSTRAK

Konversi dan pembuatan drainase pada lahan gambut merangsang proses mineralisasi bahan organik tanah, sehingga meningkatkan kehilangan karbon dari tanah. Emisi karbon dari lahan gambut merupakan komponen utama dari emisi gas rumah kaca (GRK) secara global. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kehilangan karbon dari beberapa bentuk penggunaan lahan gambut yang telah didrainase, dan sekaligus mengevaluasi faktor-faktor yang mempengaruhi kehilangan karbon tersebut. Penelitian dilaksanakan di Provinsi Nangroe Aceh Darussalam dari bulan Mei 2008 sampai dengan bulan Oktober 2009. Kehilangan karbon dihitung berdasarkan interpretasi dari data bulk density (BD), kadar abu dan kandungan karbon dari lapisan atas (0-50 cm) lahan gambut yang diobservasi. Sifat-sifat fisika, kimia, dan biologi lahan gambut ditentukan secara langsung di lapangan dan analisis sampel tanah gambut di laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: 1) ada keterkaitan antara kadar abu dengan BD dari tanah gambut, yang dapat dijadikan sebagai indikator terjadinya kehilangan karbon selama proses dekomposisi dan pemadatan, 2) kehilangan karbon khususnya dalam bentuk emisi CO₂ pada kebun kelapa sawit yang baru ditanam dapat mencapai 56 ton CO₂ ha⁻¹ tahun⁻¹, kehilangan karbon ini juga berkorelasi erat dengan besarnya subsiden pada permukaan lahan, 3) sifat-sifat tanah yang berkaitan erat dengan kehilangan karbon yang terdeteksi adalah variasi kedalaman muka air tanah maksimum, tingkat salinitas dan kadar Fe.

Kata kunci : Kehilangan karbon, Konversi, Drainase, Penggunaan lahan, Gambut, Tropis

ABSTRACT

Conversion and drainage of peat land stimulate soil organic matter (SOM) mineralization, which substantially increase carbon loss from soils. Carbon losses from peat lands are probably a major component in global greenhouse gas emissions. The objectives of this study are to evaluate carbon loss from several land use of peat drained, and to evaluate factors affected carbon loss from several land use on peat drained. The study was conducted in Nangroe Aceh Darussalam Province from May 2008 until October 2009. Carbon losses were calculated by interpretation data of bulk density (BD), ash content and carbon content from 0-50 cm top soil of peat lands. Peat lands characteristics i.e. physical, chemical and biological properties were investigated by field observation and analysis of peat soil samples on the laboratory. The results showed that: 1) ash content and bulk density of the peat are related, indicating the partial lost of soil C during decomposition and compaction, 2) an "internal tracer" estimate of peat C loss yields estimates of CO₂ flux up to 56 t CO₂-eq ha⁻¹ year⁻¹ for young oil palm, highly correlated with the measured rates of subsidence of the surface, 3) landscape level variation in maximum water table, salinity and Fe of peat are correlated with measured peat carbon loss.

Keywords : Carbon loss, Conversion, Drained, Land-use, Peat, Tropical

PENDAHULUAN

Luas lahan gambut dunia hanya sekitar 3% dari luas permukaan bumi yakni sekitar 400 juta ha (Joosten dan Clarke, 2002; Hooijer *et al.*, 2006), namun menyimpan karbon yang sangat besar yakni diperkirakan sekitar 550 Gton, atau setara dengan 75% dari seluruh karbon di atmosfer (Alex dan Joosten, 2008; Joosten, 2009). Indonesia yang mewakili gambut tropika, memiliki lahan gambut ketiga terluas di dunia yakni sekitar 265.500 km², jumlah ini lebih dari setengah luas gambut yang berada di daerah tropika (Joosten, 2009). Berdasarkan data kondisi tahun 2008, gambut Indonesia menyimpan cadangan karbon peringkat tiga terbesar di dunia (setelah Kanada dan Rusia) yakni sekitar 54.016 Mton (Joosten, 2009). Mengingat cadangan karbon yang besar pada lahan gambut, sedangkan ekosistemnya sangat rapuh, maka apabila tidak dikelola dengan baik tentu akan menyebabkan kehilangan karbon yang banyak, terutama dalam bentuk gas metan (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂) ke atmosfer sehingga semakin meningkatkan emisi gas rumah kaca (GRK).

Meski memiliki fungsi strategis, namun alih fungsi atau konversi, reklamasi dan drainase lahan gambut telah terjadi beberapa dekade terakhir dan masih terus berlangsung sampai sekarang, baik untuk dijadikan lahan pertanian maupun pemukiman

1. Peneliti pada Balai Penelitian Tanah, Bogor.
2. Pengajar pada Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian dan Sekolah Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor.
3. Guru Besar Pengelolaan Tanah, Institut Pertanian Bogor.
4. Peneliti senior ekologi tanah, ICRAF, World Agroforestry Centre, Bogor.

serta untuk infrastruktur lainnya. Sebagai gambaran besarnya konversi dan/atau pembuatan drainase yang telah terjadi terhadap lahan gambut dunia dapat dilihat dari laporan Alex dan Joosten (2008) yaitu 65 juta ha luas lahan gambut dunia telah didrainase dan telah mengemisikan CO₂ sebanyak 3 Gt tahun⁻¹. Khusus untuk Indonesia, selama periode 1985-2000 sebanyak 20% atau rata-rata sebesar 1,3% tahun⁻¹ hutan gambut alami telah ditebang dan/atau dikonversi untuk penggunaan lain (Hooijer *et al.*, 2006). Menurut data konsesi yang ada di Indonesia, menunjukkan bahwa masing-masing 27% dari luas area konsesi untuk kelapa sawit dan hutan tanaman industri (HTI) berada pada lahan gambut, dengan rinciannya adalah 28.009 km² untuk perkebunan kelapa sawit dan 19.923 km² untuk HTI (Hooijer *et al.*, 2006).

Dari data atau informasi yang ada tergambar jelas, bahwa kegiatan konversi hutan gambut menjadi bentuk penggunaan lain yang diikuti dengan pembuatan saluran drainase di daerah tropika telah menyebabkan kehilangan karbon yang sangat besar dan berkontribusi sangat besar pula terhadap emisi GRK dan perubahan iklim (Canadell *et al.*, 2007; Rieley *et al.*, 2008). Data menunjukkan bahwa dalam periode waktu 18 tahun terakhir, secara global emisi CO₂ dari lahan gambut yang didrainase telah meningkat lebih dari 20% yaitu 1.058 Mton pada tahun 1990 menjadi 1.298 Mton pada tahun 2008. Peningkatan ini terutama terjadi pada negara-negara berkembang seperti Indonesia, China, Malaysia and Papua New Guinea (Joosten, 2009). Khusus Indonesia, diperkirakan rata-rata 632 Mt CO₂ (interval 355-874 Mt CO₂) tahun⁻¹ diemisikan dari dekomposisi lahan gambut yang didrainase (Hooijer *et al.*, 2006).

Untuk meminimumkan terjadinya perubahan iklim akibat semakin besarnya emisi GRK dari aktivitas pengelolaan lahan gambut, maka harus ada upaya atau tindakan nyata yang dapat mendorong penurunan emisi GRK tersebut. Salah satu bentuk upaya yang perlu dilakukan adalah bagaimana meminimumkan kehilangan atau emisi karbon dari lahan gambut yang telah terlanjur dikonversi dan/atau didrainase. Berkaitan dengan upaya

penurunan emisi GRK ini, pemerintah Indonesia telah meresponnya dengan mencanangkan target penurunan emisi GRK Indonesia sebesar 26% sampai tahun 2020. Pernyataan ini disampaikan oleh Presiden Republik Indonesia pada pertemuan perubahan iklim PBB yaitu *Confrence of the Parties* (COP-15) di Kopenhagen pada tanggal 7-18 Desember 2009. Berkaitan dengan permasalahan tersebut, kajian ini dilaksanakan bertujuan untuk: (1) mengevaluasi kehilangan karbon pada berbagai penggunaan lahan gambut tropika yang didrainase, dan (2) mengevaluasi karakteristik lahan yang berkaitan erat dengan kehilangan karbon pada gambut tropika yang didrainase.

BAHAN DAN METODE

Kajian dilaksanakan pada bulan Mei 2008 sampai Oktober 2009. Kajian dilakukan pada lahan gambut tropika di Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam yaitu di Kabupaten Aceh Barat dan Kabupaten Nagan Raya. Lokasi kajian ini dipilih untuk mewakili salah satu kondisi gambut tropika yang ada di Indonesia, namun akhir-akhir ini sedang mengalami tekanan besar untuk dikonversi menjadi penggunaan lain. Analisis tanah dilakukan di Laboratorium tanah Balai Penelitian Tanah, Bogor.

Kajian diawali dengan mengumpulkan dan menganalisis data-data sekunder berupa peta-peta dan citra satelit, selanjutnya dipilih dan ditetapkan beberapa tipe penggunaan lahan yang dominan, untuk dijadikan lokasi kajian secara komprehensif. Pemilihan lokasi kajian berdasarkan pada interpretasi penggunaan lahan dari Peta Interpretasi Landform skala 1:100.000 Kabupaten Aceh Barat, Peta Rupa Bumi skala 1:50.000 lembar 0420-34; 0520-11 dan 0520-13 dan Citra satelit, pada website <http://www.maps.google.com>.

Dari hasil indentifikasi dan verifikasi langsung di lapang dipilih beberapa lokasi yang representatif untuk kajian. Lokasi kajian hanya pada jenis tanah "gambut", dalam istilah ilmu tanah dikenal dengan "*Histosols*" atau yang populer disebut "*peat*" berdasarkan kriteria Soil Survey Staff (2010). Lokasi kajian yang dipilih tersebut disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Lokasi kajian berdasarkan jenis penggunaan lahan dan wilayah administratif

Table 1. Location of the study based on land use type and administrative area

No.	Lokasi/wilayah administratif	Jenis penggunaan lahan
1.	Desa Simpang, Kec. Kaway XVI	Hutan
2.	Desa Simpang, Kec. Kaway XVI	Semak belukar I
3.	Desa Simpang, Kec. Kaway XVI	Semak belukar II
4.	Desa Simpang, Kec. Kaway XVI	Karet (umur > 15 tahun)
5.	Desa Suak Raya, Kec. Johan Pahlawan	Kelapa sawit I (umur 15 tahun)
6.	Desa Suak Raya, Kec. Johan Pahlawan	Kelapa sawit II (umur 15 tahun)
7.	Desa Suak Raya, Kec. Johan Pahlawan	Karet (umur > 15 tahun)
8.	Desa Suak Puntong, Kec. Kuala	Kelapa sawit I (umur 10 tahun)
9.	Desa Suak Puntong, Kec. Kuala	Kelapa sawit II (umur 10 tahun)
10.	Desa Cot Gajah mati, Kec. Arongan Lambalek	Kelapa sawit (umur 1 tahun)

Penentuan lokasi tempat pengamatan dan/atau pengambilan sampel tanah pada masing-masing penggunaan lahan, diupayakan mewakili seluruh kondisi lahan yang sebenarnya. Oleh karena secara umum kedalaman muka air tanah pada lahan gambut yang didrainase dipengaruhi oleh jarak lokasi dari saluran drainase, yang mana semakin jauh lokasi dari saluran drainase, tinggi muka air tanah akan semakin dangkal (muka air tanah dekat dengan permukaan tanah), maka dalam menentukan sebaran titik-titik pengamatan pada masing-masing penggunaan lahan ditentukan berdasarkan transek yang dibuat tegak lurus dengan saluran drainase, yang mana titik/lokasi untuk pengamatan ditempatkan menyebar sepanjang transek sehingga dapat mewakili lokasi dekat sampai dengan yang jauh dari saluran drainase. Berkaitan dengan hal ini, pada lokasi kajian yang memiliki dua saluran drainase yang sejajar, maka titik pengamatan terjauh dari saluran drainase ditempatkan pada lokasi atau titik pertengahan jarak antara kedua saluran drainase tersebut, karena diasumsikan bahwa pada lokasi tersebut merupakan batas antara kedua saluran drainase saling mempengaruhi tinggi muka air tanahnya. Dalam kajian ini, ditetapkan sebanyak lima titik permanen pada setiap jenis penggunaan lahan (mewakili kondisi lahan dekat sampai dengan yang jauh dari saluran drainase) sebagai lokasi

tempat dilakukan pengamatan sifat-sifat tanah di lapang dan pengambilan sampel tanah untuk dianalisis di laboratorium. Koordinat geografi setiap titik pengamatan dan pengambilan sampel tanah disajikan pada Tabel 2.

Kadar abu (kandungan mineral) pada lapisan gambut yang teroksidasi akibat drainase meningkat secara simultan. Peningkatan kadar abu (mineral) pada lapisan atas lahan gambut yang didrainase adalah berasal dari material gambut yang telah hilang bahan organikny karena terdekomposisi. Untuk itu, apabila terjadi peningkatan kadar abu pada permukaan lahan gambut setelah periode waktu tertentu, merupakan indikasi telah terjadi kehilangan karbon terutama karena proses dekomposisi bahan organik. Bahan organik yang hilang akibat terdekomposisi dihitung dengan rumus:

$$BO_h = (KAb_{ak} \times BD_{ak} \times T) \times \left(\frac{1}{KAb_{aw}} - 1 \right) - ((1 - KAb_{ak}) \times BD_{ak} \times T) \dots (1)$$

dimana :

- BO_h = Bahan organik yang hilang
- KAb_{ak} = Kadar abu akhir
- KAb_{aw} = Kadar abu awal
- BD_{ak} = BD akhir
- T = tebal lapisan.

Catatan : Rumus ini merupakan modifikasi rumus yang digunakan oleh Gronlund *et al.* (2008) dalam menghitung kehilangan bahan organik gambut akibat pemupukan berdasarkan peningkatan kadar abu.

Tabel 2. Koordinat geografi, jarak dari saluran drainase, dan kedalaman gambut pada masing-masing titik pengamatan

Table 2. Geographical coordinate, distance from drainage canal and peat depth of sampling points

Desa	Penggunaan lahan	Titik pengamatan	Koordinat		Jarak dari saluran	Kedalaman gambut
			N	E		
					m	cm
Simpang	Hutan	1	04 14' 29,5"	096 07' 45,5"	5	>1.000
		2	04 14' 29,5"	096 07' 45,5"	10	>1.000
		3	04 14' 28,0"	096 07' 44,4"	50	>1.000
		4	04 14' 23,3"	096 07' 44,1"	200	>1.000
		5	04 14' 29,5"	096 07' 45,5"	250	>1.000
Simpang	Semak 1	1	04 14' 17,2"	096 08' 18,8"	5	690
		2	04 14' 17,2"	096 08' 18,8"	10	694
		3	04 14' 15,5"	096 08' 18,9"	50	700
		4	04 14' 12,7"	096 08' 17,3"	150	682
		5	04 14' 09,5"	096 08' 15,0"	250	694
Simpang	Semak il	1	04 14' 13,0"	096 08' 36,9"	5	284
		2	04 14' 13,0"	096 08' 36,9"	10	300
		3	04 14' 11,3"	096 08' 32,5"	50	369
		4	04 14' 08,2"	096 08' 32,0"	150	450
		5	04 14' 05,0"	096 08' 31,7"	250	379
Simpang	Karet umur > 15 tahun	1	04 14' 09,2"	096 08' 44,3"	5	98
		2	04 14' 09,2"	096 08' 44,3"	10	139
		3	04 14' 07,9"	096 08' 43,8"	50	170
		4	04 14' 05,1"	096 08' 43,3"	150	169
		5	04 14' 03,0"	096 08' 45,3"	250	262
Suak Raya	Karet umur > 15 tahun	1	04 11' 10,4"	096 07' 03,4"	5	443
		2	04 11' 10,4"	096 07' 03,4"	10	495
		3	04 11' 10,7"	096 07' 02,7"	30	500
		4	04 11' 11,5"	096 07' 02,3"	50	482
		5	04 11' 11,7"	096 07' 02,3"	70	510
Suak Raya	Kelapa sawit umur 15 tahun I	1	04 11' 10,1"	096 07' 03,7"	5	495
		2	04 11' 10,1"	096 07' 03,7"	10	492
		3	04 11' 09,3"	096 07' 04,5"	30	438
		4	04 11' 08,8"	096 07' 05,1"	50	411
		5	04 11' 08,2"	096 07' 05,6"	70	447
Suak Raya	Kelapa sawit umur 15 tahun II	1	04 10' 58,7"	096 07' 04,0"	5	118
		2	04 10' 58,7"	096 07' 04,0"	10	142
		3	04 10' 59,2"	096 07' 03,8"	25	163
		4	04 10' 59,4"	096 07' 03,6"	40	182
		5	04 10' 59,9"	096 07' 02,9"	55	173
Suak Puntong	Kelapa sawit umur 10 tahun I	1	04 06' 21,6"	096 12' 43,6"	5	114
		2	04 06' 21,6"	096 12' 43,6"	10	125
		3	04 06' 20,8"	096 12' 44,2"	40	138
		4	04 06' 20,0"	096 12' 44,7"	70	139
		5	04 06' 19,7"	096 12' 45,4"	100	163
Suak Puntong	Kelapa sawit umur 10 tahun II	1	04 06' 25,2"	096 12' 49,5"	5	150
		2	04 06' 25,2"	096 12' 49,5"	10	109
		3	04 06' 24,2"	096 12' 50,1"	40	112
		4	04 06' 23,2"	096 12' 50,8"	70	138
		5	04 06' 22,7"	096 12' 51,1"	100	140
Cot Gajah Mati	Kelapa sawit muda (umur 1 tahun)	1	04 22' 50,8"	095 53' 51,6"	5	215
		2	04 22' 50,8"	095 53' 51,6"	10	309
		3	04 22' 53,7"	095 53' 51,1"	70	328
		4	04 22' 54,7"	095 53' 53,5"	135	145
		5	04 22' 55,8"	095 53' 51,6"	190	200

Untuk mengetahui kadar bahan organik dalam material gambut, dilakukan dengan metode *Lost on Ignition (LOI)* yaitu dengan cara membakar sekitar 2 gram sampel tanah gambut kering oven 105°C dalam oven tanur pada suhu 550°C selama 6 jam. Berat sampel yang hilang selama proses pembakaran adalah merupakan jumlah bahan organik yang terkandung dalam material gambut, yang dihitung dengan rumus :

$$\%BO = \frac{B_{105^{\circ}} - B_{550^{\circ}}}{B_{105^{\circ}}} \times 100\% \quad (2)$$

dimana :

% BO = persentase bahan organik gambut, $B_{105^{\circ}}$ = berat material gambut pada suhu 105°C, $B_{550^{\circ}}$ = berat material gambut yang tersis setelah pemanasan 550°C.

Sedangkan persentase karbon yang terkandung dalam material gambut dihitung dengan rumus :

$$\%C = \frac{1}{1,922} \times \%LOI \quad (3)$$

dimana :

% C = Kandungan karbon bahan gambut, %LOI = Persentase bahan gambut yang hilang pada proses Lost on Ignition, 1,922 = Konstanta untuk mengkonversi nilai persen Bahan Organik (%BO) menjadi % C-organik yang diperoleh pada kajian ini.

Untuk menghitung besarnya emisi gas CO₂ yang terbentuk atau teremisi akibat proses dekomposisi gambut digunakan rumus :

$$CO_2 = C \times 3,67 \quad (4)$$

dimana :

CO₂ = Jumlah gas CO₂ hasil dekomposisi gambut, C = Berat atau jumlah karbon yang hilang selama proses dekomposisi, 3,67 = konstanta untuk megkonversi karbon menjadi bentuk CO₂.

Sampel gambut diambil dengan bor gambut khusus tipe setengah silinder dari Eijkelpamp dengan kapasitas 500 cm³.(luas penampang 10 cm² dan tinggi 50 cm) Bahan gambut yang terambil oleh bor (volume 500 cm³) dimasukkan ke dalam kantong

plastik untuk dianalisis di laboratorium. Parameter karakteristik lahan yang diamati dan metode/alat yang digunakan untuk analisisnya disajikan pada Tabel 3.

Pada masing-masing titik pengamatan di lapangan diamati: *subsidence*, tinggi muka air tanah dan tinggi permukaan tanah. Untuk monitoring tinggi muka air tanah pada masing-masing titik pengamatan dipasang piezometer dari pipa paralon berdiameter 1 inchi yang dibenamkan secara vertikal kedalam tanah. Pada masing-masing lokasi pengamatan juga dipasang tongkat dari besi yang ditancapkan ke dalam tanah sampai menembus lapisan tanah mineral, kemudian pada besi yang muncul di permukaan tanah dibuat tanda permanen untuk acuan dalam memonitoring perubahan ketinggian permukaan tanah (*subsidence*) di sekitarnya. Tinggi permukaan tanah (transek keragaan permukaan tanah) ditentukan dengan menggunakan slang air (*water pass*), yaitu dengan cara membandingkan perbedaan tinggi permukaan air dalam slang pada permukaan tanah di masing-masing titik pangamatan dalam transek yang sama.

Untuk melihat perbedaan kehilangan cadangan karbon pada masing-masing jenis penggunaan lahan dilakukan analisis Anova dan uji LSD. Untuk mendapatkan faktor (sifat tanah) yang berkaitan erat dengan kehilangan atau perubahan karbon pada lahan gambut yang didrainase, dilakukan dengan cara uji korelasi dan regresi antara data besarnya kehilangan karbon dari masing-masing titik pengamatan dengan data sifat-sifat tanah. Prosedur stepwise dilakukan untuk memilih faktor yang lebih berperan dalam proses kehilangan karbon lahan gambut. Semua analisis data menggunakan program statistik SAS versi 6.12 pada sistim Windows pada komputer.

Deskripsi lokasi penelitian

Lokasi Desa Simpang: berdasarkan hasil wawancara (*personal communication*) dengan beberapa orang penduduk (Bapak Usman 60 th, Bapak Jamal

Tabel 3. Karakteristik lahan yang diamati dan metode pengukurannya

Table 3. Land characteristics observation and measurement methods

No.	Sifat tanah	Alat/metode pengukuran
A. sifat fisik tanah		
1.	Bulk density (BD)	Bor gambut khusus
2.	Partikel density	Piknometer
3.	Penurunan permukaan tanah (<i>subsidence</i>)	Stik/titik permanen
4.	Tinggi muka air tanah	Piezometer
5.	Kadar air pada pF 1,00; 2,00; 2,54; 3,70; dan 4,20	Pressure plate apparatus
6.	Kadar abu dan Kandungan karbon	Pengabuan kering dan Walkley dan Black
7.	Permeabilitas	Auger hole
B. Sifat kimia tanah		
1.	pH	Digital pH meter
2.	N-total	Kjeldahl
3.	P-total	Pengabuan basah
4.	Ca-total	Pengabuan basah
5.	K-total	Pengabuan basah
6.	Mg-total	Pengabuan basah
7.	Na-total	Pengabuan basah
8.	Fe-total	Pengabuan basah
9.	Mn-total	Pengabuan basah
10.	KTK	1 N NH4Oac pH 7,0 & pH 4,0
11.	Salinitas	Hydrometer
C. Aktivitas organisme perombak		Respirasi tanah

35 th, dan Kepala Desa Simpang Bapak M. Nasir) saluran drainase dibuat awal tahun 2007 dengan ukuran 4 m lebar dan 3 m dalam, sepanjang 3.700 m arah Barat Laut-Tenggara.

Lokasi Desa Suak raya: berdasarkan hasil wawancara dengan pemilik lahan Bapak H. Dahlan, lokasi ini pada awalnya berasal dari hutan, mulai dibuka/ditebang pada tahun 1987. Dibiarkan bera selama beberapa tahun. Selanjutnya dibuat saluran darainase ukuran 2 m lebar dan 1,5 m dalam. Kelapa sawit dan karet mulai ditanam pada tahun 1991/1992.

Lokasi Desa Suak Puntong: berdasarkan komunikasi pribadi dengan pemilik lahan Bapak H. Kasinun, pada lokasi ini saluran drainase telah dibuat sebelum kelapa sawit ditanami. Kebun kelapa sawit sempat beberapa tahun tidak dirawat, karena situasi sosial politik yang tidak kondusif. Pada tahun 2008 (bersamaan dengan awal kajian ini dilaksanakan) pemilik lahan menata kembali lahannya dengan

membangun saluran drainase utama dengan ukuran 3 m lebar x 2 m dalam, pada setiap jarak 50 m dibuat saluran drainase lainnya yang tegak lurus dengan saluran utama dengan ukurannya 1 m lebar x 1 m dalam.

Lokasi Desa Cot Gajah Mati: Menurut hasil wawancara dengan penduduk setempat (Bapak Maryanto), saluran drainase dibuat pada tahun 2006 bersamaan dengan pembuatan jalan umum utama antara Meulaboh-Calang, setelah kejadian tsunami tahun 2004. Ukuran saluran drainase sewaktu dibuat 3 m lebar x 2 m dalam, arah alirannya Barat Laut-Tenggara, pada jarak sekitar 400 m dibangun lagi saluran drainase sejajar dengan saluran drainase pertama.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan rata-rata nilai BD dan kadar abu pada lapisan permukaan lahan (0-50 cm) dari masing-masing lokasi kajian dan jenis penggunaan

Tabel 4. Rata-rata nilai BD dan kadar abu pada lapisan permukaan (0-50 cm) pada setiap lokasi dan jenis penggunaan lahan pada bulan Mei 2008 dan bulan Agustus 2009

Table 4. The average value of BD and ash content of the surface layer (0-50 cm) of all location and land use type in May, 2008 and August 2009

Desa	Penggunaan lahan	Bulk density		Kadar abu	
		Awal	Akhir	Awal	Akhir
	 gr cm ³ %	
Cot Gajah Mati	Kelapa sawit	0,073	0,074	4,303	4,595
Suak Puntong	Kelapa sawit II	0,084	0,084	2,341	2,473
Suak Puntong	Kelapa sawit I	0,083	0,085	3,669	3,826
Suak Raya	Kelapa sawit I	0,073	0,075	2,625	2,664
Suak Raya	Kelapa sawit II	0,087	0,087	2,946	2,962
Suak Raya	Karet	0,060	0,060	2,686	2,721
Simpang	Karet	0,054	0,055	4,146	4,129
Simpang	Semak II	0,052	0,055	3,359	3,497
Simpang	Semak I	0,038	0,039	2,833	3,016
Simpang	Hutan	0,038	0,039	2,688	2,724

lahan gambut yang didrainase selama periode waktu bulan Mei 2008-Agustus 2009 disajikan dalam Tabel 4.

Dari data BD dan kadar abu dalam Tabel 4 dapat dihitung pertambahan kadar abu pada masing-masing jenis penggunaan lahan selama periode waktu bulan Mei 2008-Agustus 2009 yaitu dengan cara mengurangi total berat abu pada pengamatan bulan Agustus 2009 dengan total berat abu pada bulan Mei 2008. Besarnya penambahan kadar abu pada setiap jenis penggunaan lahan selama periode bulan Mei 2008-Agustus 2009 adalah 0,007; 0,008; 0,010; 0,021; 0,041; 0,055; 0,058; 0,068; 0,089 dan 0,134 gr/500 cm³ masing-masing secara berurutan untuk jenis penggunaan lahan karet di Desa Simpang, kelapa sawit II di Desa Suak raya, karet di Suak raya, hutan di Desa Simpang, kelapa sawit I di Desa Suak raya, semak I di Desa Simpang, kelapa sawit II di Desa Suak puntong, semak II di Desa Simpang, kelapa sawit I di Desa Suak Puntong dan kelapa sawit di Desa Cot Gajah Mati. Hasil pengamatan besarnya *subsidence* dan perhitungan kehilangan karbon serta emisi gas CO₂ berdasarkan penambahan kadar abu selama periode waktu bulan Mei 2008-Agustus 2009 pada berbagai bentuk penggunaan lahan disajikan pada Tabel 5.

Hasil kajian menunjukkan bahwa, selama periode waktu 14 bulan telah terjadi kehilangan karbon pada lapisan permukaan gambut yang didrainase dari berbagai penggunaan lahan yang besarnya berkisar antara 0,647-13,101 tn C ha⁻¹ th⁻¹ atau setara dengan emisi gas CO₂ sebesar 2,373-48,081 ton CO₂ ha⁻¹.th⁻¹ Kehilangan karbon terbesar terjadi pada penggunaan lahan kelapa sawit muda (umur <1 tahun) di Desa Cot Gajah Mati, sedangkan yang terendah pada penggunaan lahan karet di Desa Simpang. Dengan menggunakan hutan sebagai referensi kondisi standar atau normal kehilangan karbon, maka dapat diperoleh nilai perbandingan kehilangan karbon pada setiap jenis penggunaan lahan dibandingkan hutan yaitu: 1,00; 0,19; 0,34; 0,46; 2,00; 2,49; 2,61; 3,08; 3,22; 3,81 masing-masing untuk penggunaan lahan hutan di Desa Simpang dibandingkan dengan : karet di Desa Simpang, kelapa sawit II di Desa Suak raya, karet di Desa Suak Raya, kelapa sawit I di Desa Suak Raya, semak I di Desa Simpang, semak II di Desa Simpang, kelapa sawit I di Desa Suak Puntong, kelapa sawi II di Desa Suak Puntong dan kelapa sawit I di Desa Cot Gajah Mati.

Dari hasil analisis di atas menunjukkan bahwa kehilangan karbon pada jenis penggunaan lahan karet yaitu di lokasi Desa Simpang dan Suak Raya

Tabel 5. Rata-rata *subsidence*, kehilangan karbon dan emisi gas CO₂ selama periode waktu bulan Mei 2008-Agustus 2009

Table 5. Average of subsidence rate, carbon loss and CO₂ emission, during May, 2008 until August, 2009 period

Desa	Penggunaan lahan	Rata-rata <i>subsidence</i> cm	Karbon hilang t ha ⁻¹ th ⁻¹	Emisi CO ₂
Cot Gajah Mati	Kelapa sawit	8,2	13,101	48,081
Simpang	Hutan	3,8	3,442	12,633
Simpang	Semak I	7,0	8,556	31,400
Simpang	Semak II	8,6	8,978	32,948
Simpang	Karet	1,2	0,647	2,373
Suak Puntong	Kelapa sawit I	8,2	10,597	38,891
Suak Puntong	Kelapa sawit II	9,2	11,076	40,647
Suak Raya	Kelapa sawit I	4,8	6,878	25,242
Suak Raya	Kelapa sawit II	1,1	1,179	4,327
Suak Raya	Karet	2,8	1,582	5,805

serta penggunaan lahan kelapa sawit II (gambut dangkal) di Desa Suak Raya lebih rendah dibandingkan dengan kehilangan karbon pada penggunaan lahan hutan. Kehilangan karbon yang lebih besar dari hutan terjadi pada penggunaan lahan: kelapa sawit I di Desa Suak Raya, semak I di Desa Simpang, semak II di Desa Simpang, kelapa sawit I di Desa Suak Puntong, kelapa sawit II di Desa Suak Puntong dan kelapa sawit I di Desa Cot Gajah Mati. Lebih rendahnya kehilangan karbon pada penggunaan lahan karet umur 15 tahun apabila dibandingkan dengan hutan, mengindikasikan bahwa manajemen yang selama ini dilakukan oleh petani atau pemilik lahan kebun karet yang telah berumur lebih 15 tahun yaitu dengan cara membiarkan tanaman karet tumbuh secara alami tanpa pemupukan dan penyiangan (*weeding*), mampu menekan laju proses dekomposisi gambut, sehingga dapat mereduksi kehilangan atau emisi karbon. Sedangkan lebih rendahnya kehilangan karbon pada penggunaan lahan kelapa sawit II (umur 15 tahun) di Desa Suak Raya dibandingkan lahan hutan, hal ini diperkirakan karena lahan gambut sudah stabil, yang diindikasikan dari kecilnya *subsidence* yang terjadi selama periode waktu 14 bulan yaitu rata-rata hanya 1,1 cm.

Kehilangan karbon yang tertinggi dari penggunaan lahan hutan terjadi pada penggunaan

lahan kelapa sawit I (umur <1 tahun) di Desa Cot Gajah Mati yakni sekitar 3,41-3,80 kali lebih tinggi dibandingkan kehilangan karbon yang terjadi di hutan. Hal ini diperkirakan terjadi karena kondisi lahan di lokasi Desa Cot Gajah Mati pada penggunaan lahan kebun kelapa sawit I umur sekitar 1 tahun baru dibuat saluran drainase tahun 2006 (umur saluran 2 tahun) sehingga permukaan gambut baru mengalami perubahan kondisi yaitu dari anaerobik menjadi kondisi aerobik, sehingga proses oksidasi sedang berlangsung sangat aktif sehingga menyebabkan kehilangan karbon juga lebih cepat. Data pengamatan *subsidence* pada penggunaan lahan kelapa sawit I di Desa Cot Gajah Mati, menunjukkan bahwa pada lokasi ini *subsidence* lebih tinggi dibandingkan pada penggunaan lahan hutan yakni rata-rata 8,2 cm selama periode 14 bulan (Tabel 5). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Dawson *et al.* (2004) yang menyatakan bahwa *subsidence* yang besar pada awal-awal saluran drainase dibuat terlihat terjadi pada kebanyakan negara. Selain itu, manajemen yang diterapkan oleh petani pada penggunaan lahan kelapa sawit I di Desa Cot Gajah Mati yaitu membakar hasil pemangkasan gulma (khususnya terjadi pada bulan Oktober 2008) pada permukaan lahan juga diperkirakan berkontribusi besar terhadap kehilangan karbon dan peningkatan kadar abu pada permukaan lahan.

Tabel 6. Matrik korelasi antara kehilangan karbon dengan sifat-sifat tanah

Table 6. Correlation matrix between carbon loss and soil properties

Variabel	Koefisien korelasi	P <	Variabel	Koefisien korelasi	P <
Partikel density (gr cm ⁻³)	-0,14	0,32 ^{tn}	Fe (mg kg ⁻¹)	0,27	0,06 ^{tn}
Bulk density (gr cm ⁻³)	-0,04	0,79 ^{tn}	Mn (mg kg ⁻¹)	-0,19	0,19 ^{tn}
pF1500 (%v/v)	0,01	0,96 ^{tn}	K (mg kg ⁻¹)	-0,28	0,05 ^{tn}
pF1000 (%v/v)	-0,003	0,98 ^{tn}	Ca (mg kg ⁻¹)	0,07	0,64 ^{tn}
pF33 (%v/v)	0,07	0,63 ^{tn}	Mg (mg kg ⁻¹)	0,05	0,70 ^{tn}
pF10 (%v/v)	0,15	0,30 ^{tn}	Na (mg kg ⁻¹)	-0,20	0,16 ^{tn}
pF01 (%v/v)	0,13	0,37 ^{tn}	Rataan MAT (cm)	0,44	0,001**
N-total (%)	-0,04	0,75 ^{tn}	MAT-min (cm)	0,36	0,01*
Hindr, Cond, (cm jam ⁻¹)	-0,21	0,14 ^{tn}	MAT-maks (cm)	0,58	0,0001***
Respirasi (ppm CO ₂)	0,26	0,07 ^{tn}	Fluktuasi MAT (cm)	0,18	0,20 ^{tn}
pH	-0,04	0,80 ^{tn}	Subsidence (cm)	0,92	0,0001***
KTK	-0,28	0,05*	Salinitas (mmhos cm ⁻¹)	0,11	0,46 ^{tn}
P-total (mg kg ⁻¹)	-0,26	0,07 ^{tn}			

Keterangan : *** nyata pada taraf 0,1%; ** nyata pada taraf 1%; * nyata pada taraf 5%; ^{tn} tidak nyata

Kehilangan karbon yang lebih besar dari hutan juga terjadi pada penggunaan lahan kelapa sawit di Desa Suak Puntong dimana rata-rata kehilangan karbon sekitar tiga kali lebih tinggi dibandingkan kehilangan karbon pada penggunaan lahan hutan. Hal ini diperkirakan juga disebabkan karena lahan baru mengalami proses perubahan kondisi anaerob ke kondisi aerob yang drastis. Menurut informasi dari pemilik lahan Bapak H. Kasinun, sejarah penggunaan lahan lokasi ini adalah: sebelum bulan Mei 2008 lahan dibiarkan terlantar atau tidak dirawat karena kondisi darurat sipil, pada bulan Mei 2008 saat pengamatan mulai dilaksanakan saluran drainase dibuat lebih dalam (sekitar 2,5 m) sehingga kelihatan jelas dari saluran tersebut semua lapisan gambut yang tebalnya sekitar 1-1,5 m berada di atas muka air tanah. Hal ini yang diperkirakan menyebabkan proses dekomposisi gambut berlangsung lebih cepat dan kehilangan karbon juga lebih besar dibandingkan lokasi lainnya (Tabel 6). Menurut Hooijer *et al.* (2006) kehilangan gambut melalui emisi CO₂ dari lahan gambut yang didrainase secara umum meningkat dengan meningkatnya kedalaman drainase dan peningkatan suhu. Peneliti lain juga telah melaporkan besarnya kehilangan

karbon akibat drainase di daerah boreal dan temperate, hasilnya menunjukkan bahwa karbon yang hilang akibat lahan gambut di drainase diperkirakan sebesar 2,5 dan 3,5 ton C ha⁻¹ th⁻¹, dan proses mineralisasi gambut tertinggi terjadi pada kedalaman muka air tanah antara 80-90 cm (Joosten and Clarke, 2002; Schipper and McLeod, 2002).

Hasil kajian ini menarik karena tidak selamanya kehilangan karbon dan/atau emisi CO₂ pada konversi hutan gambut menjadi peruntukan tanaman tahunan khususnya karet dan/atau kelapa sawit lebih besar dari hutan, seperti yang kebanyakan dipublikasikan akhir-akhir ini. Manajemen pengelolaan lahan lebih berperan terhadap kehilangan karbon pada lahan gambut tropika yang didrainase terlihat adalah manajemen pengelolaan lahan. Salah satunya adalah membiarkan permukaan lahan tertutup vegetasi sepanjang tahun, seperti yang dilakukan petani karet di Desa Simpang dan Suak Raya. Penanaman kelapa sawit pada gambut dangkal juga terlihat mampu menekan kehilangan karbon dan/atau emisi CO₂ lebih rendah dibandingkan hutan yang didrainase seperti yang dilakukan petani pada kebun kelapa sawit II di Desa Suak Raya.

Karakteristik lahan yang berkaitan erat dengan kehilangan karbon pada permukaan gambut yang didrainase

Kehilangan karbon pada penggunaan lahan gambut yang didrainase secara umum pasti berkaitan dengan karakteristik dan/atau sifat-sifat fisik, kimia dan biologi serta kondisi lingkungan. Untuk mengetahui faktor atau karakteristik lahan yang berkaitan erat dengan kehilangan karbon, telah dilakukan uji korelasi antara nilai kehilangan karbon dengan nilai karakteristik sifat-sifat lahan. Hasil analisis uji korelasi antara kehilangan karbon dengan karakteristik lahan disajikan pada Tabel 7.

Hasil uji korelasi menunjukkan bahwa kehilangan karbon berkorelasi positif sangat nyata dengan *subsidence* dan dalam muka air tanah maksimum (Tabel 7). Hasil ini sejalan dengan teori yang berlaku umum yaitu penurunan muka air tanah mengakibatkan perubahan kondisi anaerob pada lapisan permukaan tanah yang mengering sehingga menyebabkan dekomposisi material gambut lebih cepat pada lapisan di atas muka air tanah, sehingga lebih banyak karbon yang hilang karena terdekomposisi. Berkaitan dengan hal ini, Hooijer *et al.* (2006) membuat hubungan linear antara kedalaman drainase dengan emisi karbon yakni setiap 10 cm drainase teremisi karbon 2,48 ton C ha⁻¹ th⁻¹ atau setara 9,1 ton CO₂ ha⁻¹ tahun⁻¹, sedangkan, berdasarkan metode pengamatan *subsidence*, Wösten (2001) memperkirakan bahwa untuk setiap 10 cm kedalaman drainase terjadi emisi sebanyak 3,54 ton C ha⁻¹ tahun⁻¹ atau setara dengan 13 ton CO₂ ha⁻¹ tahun⁻¹.

Hasil analisis regresi linear sederhana antara kondisi kedalaman muka air tanah dengan kehilangan karbon, secara umum menunjukkan bahwa kehilangan karbon nyata meningkat dengan meningkatnya dalam muka air tanah. Bentuk hubungan antara kehilangan karbon dengan tinggi muka air tanah diekspresikan menurut persamaan regresi linear sederhana sebagai berikut.:

$$C_{\text{hilang}} = -0,059 + 0,014$$

$$\text{Tinggi muka air tanah maksimum (R}^2 = 0,27^{***})$$

$$C_{\text{hilang}} = 0,06 + 0,016$$

$$\text{Tinggi muka air tanah rata-rata (R}^2 = 0,25^{***})$$

Hasil uji korelasi juga menunjukkan bahwa kehilangan karbon berkorelasi positif dengan *subsidence* (Tabel 7). Bentuk hubungan antara *subsidence* dengan kehilangan karbon disajikan dalam Gambar 1.

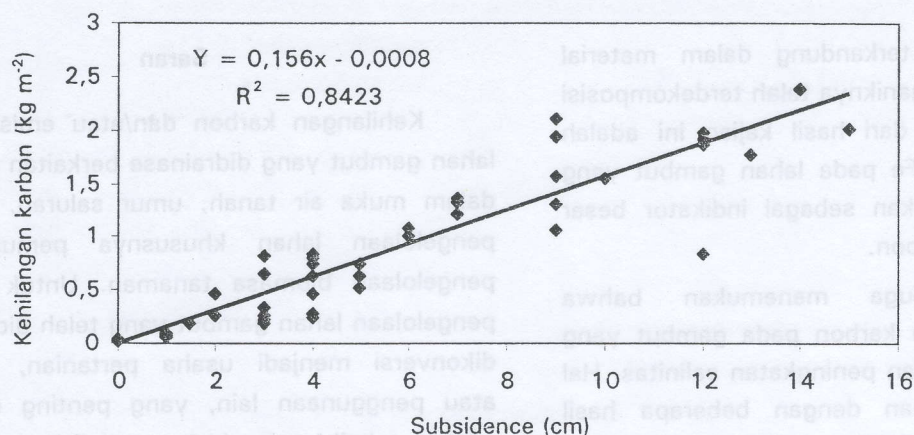
Dari persamaan regresi liner antara *subsidence* dengan kehilangan karbon (Gambar 1) terlihat bahwa *subsidence* berkaitan erat dengan kehilangan karbon (R² = 0,84). Hal ini menunjukkan bahwa terjadinya *subsidence* pada penggunaan lahan gambut yang didrainase lebih dominan disebabkan oleh karena hilangnya karbon akibat proses oksidasi atau mineralisasi bahan organik gambut.

Hasil analisis hubungan antara kehilangan karbon dengan karakteristik lahan menggunakan prosedur stepwise diperoleh beberapa variabel karakteristik lahan yang berkaitan erat dengan kehilangan karbon pada lahan gambut yang didrainase. Karakteristik lahan yang berkaitan erat dengan kehilangan karbon pada lahan gambut yang didrainase disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil analisis hubungan kehilangan karbon dengan karakteristik lahan pada lahan gambut yang didrainase menggunakan prosedur stepwise

Table 7. Relationship between carbon loss and soil properties based on stepwise procedure analysis

Step	Variable entered	Number removed	Partial in	Model		C(p)	F Prob > F
				R**2	R**2		
1.	Subsidence	1	0,8411	0,8411	52,0712	254,0106	0,0001
2.	Besi (Fe)	2	0,0358	0,8768	31,9985	13,6505	0,0006
3.	MAT-maksimum	3	0,0096	0,8864	28,0984	3,8717	0,0552
4.	Salinitas	4	0,0077	0,8941	25,3416	3,2759	0,0770



Gambar 1. Hubungan antara subsidence dengan kehilangan karbon

Figure 1. Relationship between subsidence and carbon loss

Dari hasil analisis terhadap karakteristik lahan yang berkaitan erat dengan kehilangan karbon menggunakan prosedur *stepwise*, ditemukan bahwa ada empat variabel karakteristik lahan yang masuk kedalam model hubungan antara kehilangan karbon dengan karakteristik lahan yaitu: *subsidence*, kadar besi (Fe), muka air tanah maksimum (MAT-maksimum) dan salinitas. Dari hasil analisis menggunakan prosedur *stepwise* terlihat bahwa 89% kehilangan karbon pada lahan gambut yang didrainase berkaitan erat dengan kombinasi antara *subsidence*, kadar besi (Fe), dalam muka air tanah maksimum dan salinitas.

Berkaitan dengan hasil kajian ini, menurut Couwenberg (2009) drainase menyebabkan gambut teroksidasi, sehingga mengakibatkan banyak gambut yang hilang sehingga terjadi *subsidence*. Hooijer *et al.* (2006) telah membuat satu bentuk hubungan linear antara kedalaman drainase dengan emisi tahunan CO₂ yang mana untuk setiap 10 cm kedalaman drainase akan mengemisikan sekitar 9,1 ton CO₂ ha⁻¹ th⁻¹. Wösten (2001) mengemukakan bahwa dengan metode pengamatan *subsidence* memperkirakan bahwa untuk setiap 10 cm kedalaman drainase terjadi emisi CO₂ sebanyak 13 ton ha⁻¹ th⁻¹. Sehingga diperkirakan untuk tahun-tahun selanjutnya pada lahan gambut yang didrainase kehilangan karbon dan penurunan permukaan tanah akan terus berlanjut.

Drainase pada lahan gambut bertujuan untuk menurunkan permukaan air tanah. Menurut Chimner dan Cooper (2003) pada keadaan muka air tanah yang dangkal akan menyebabkan lingkungan tanah pada kondisi anaerobik sehingga mengurangi terjadinya proses dekomposisi, sebaliknya jika permukaan air tanah dalam (jauh) akan meningkatkan kondisi aerobik sejalan dengan itu juga meningkatkan proses dekomposisi bahan gambut. Dari hasil kajian ini menemukan bahwa kedalaman muka air tanah berkaitan erat dengan kehilangan karbon. Untuk itu, pengelolaan tinggi muka air tanah pada lahan gambut yang didrainase sangat penting diperhatikan dalam kaitannya dengan emisi gas rumah kaca dan konservasi lahan gambut.

Dari hasil kajian terlihat bahwa semakin besar kehilangan karbon kadar besi pada lahan juga semakin besar. Hal ini dapat dijelaskan berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Kyuma (1991) pada lahan gambut tropika di Ayu Baloi Malaysia menemukan bahwa dekomposisi gambut tropika menghasilkan Fe lebih banyak yaitu 14,5 ton ha⁻¹ th⁻¹ dibandingkan Cu, Mn, Zn, K, P dan Mg yang hanya 0,0; 0,1; 0,1; 1,4; 2,0; dan 6,2 ton ha⁻¹ th⁻¹ secara berurutan. Keterkaitan erat antara kadar besi (Fe) dengan kehilangan karbon pada kajian ini membenarkan bahwa semakin besar kehilangan karbon maka semakin banyak pula Fe yang diakumulasikan. Fe yang diakumulasikan berasal dari

bahan mineral yang terkandung dalam material gambut yang bahan organik telah terdekomposisi atau hilang. Implikasi dari hasil kajian ini adalah akumulasi kandungan Fe pada lahan gambut yang didrainase dapat dijadikan sebagai indikator besar kecilnya kehilangan karbon.

Hasil kajian juga menemukan bahwa peningkatan kehilangan karbon pada gambut yang didrainase sejalan dengan peningkatan salinitas. Hal ini terlihat bertentangan dengan beberapa hasil penelitian yang menunjukkan bahwa peningkatan salinitas biasanya menurunkan tingkat dekomposisi gambut, seperti yang dikemukakan oleh Alex *et al.* (2003) dekomposisi selulosa nyata lebih lambat pada kondisi salinitas yang tinggi karena rendahnya aktivitas mikroba perombak. Eliška dan Kateřina (2006) juga melaporkan bahwa peningkatan salinitas menurunkan konsentrasi karbon organik terlarut dalam air. Namun demikian hasil kajian Tanji *et al.* (1999) dapat mendukung hasil kajian ini, yang mana peningkatan salinitas dapat mengurangi *leaching* atau hanyutnya karbon organik terlarut.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kehilangan karbon tidak dapat dihindari pada lahan gambut yang didrainase. Besarnya kehilangan karbon tersebut dapat mencapai 13,101 ton C ha⁻¹ th⁻¹ atau setara 48,081 ton CO₂ ha⁻¹ th⁻¹. Subsidence berkaitan erat dengan kehilangan karbon pada lahan gambut tropika yang didrainase. Untuk memprediksi nilai kehilangan karbon akibat proses dekomposisi pada lahan gambut yang didrainase dapat dilakukan dengan metode peningkatan kadar abu. Selain itu, karakteristik lahan terutama *subsidence*, dalam muka air tanah, kadar besi (Fe) dan salinitas dapat digunakan sebagai indikator besar kecilnya kehilangan karbon lahan pada gambut, karena variabel karakteristik lahan tersebut berkaitan erat dengan kehilangan karbon.

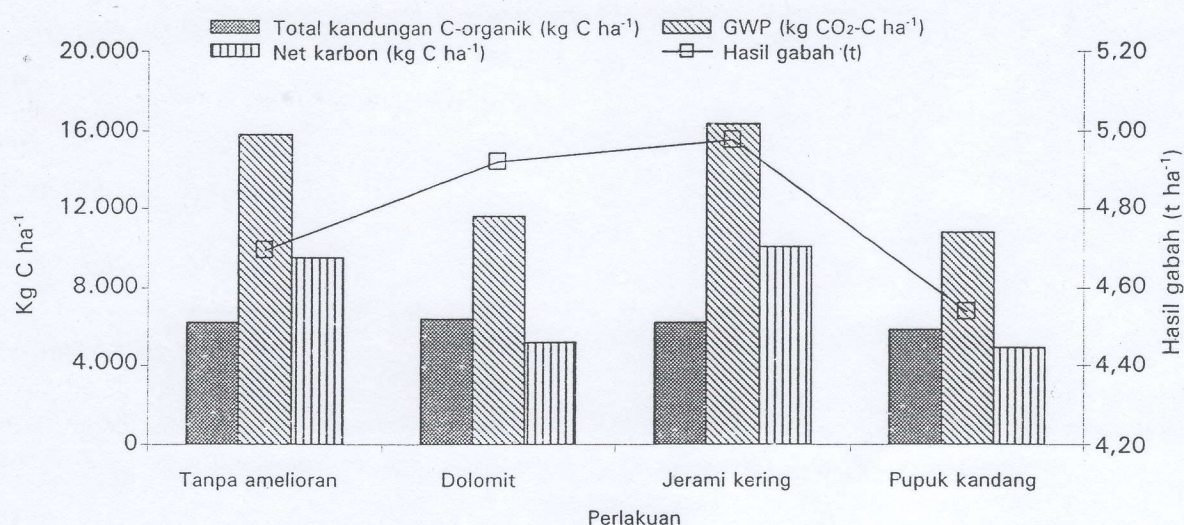
Saran

Kehilangan karbon dan/atau emisi CO₂ pada lahan gambut yang didrainase berkaitan erat dengan dalam muka air tanah, umur saluran, manajemen pengelolaan lahan khususnya pemupukan dan pengelolaan biomasa tanaman. Untuk itu, dalam pengelolaan lahan gambut yang telah didrainase dan dikonversi menjadi usaha pertanian, perkebunan atau penggunaan lain, yang penting diperhatikan adalah teknik yang konservasi lahan yang dapat mereduksi dan/atau memitigasi kehilangan karbon. Hal ini dapat dilakukan dengan :

- Pengaturan tinggi muka air tanah, sehingga dapat mengurangi dekomposisi material gambut.
- Pemilihan jenis tanaman yang tepat, terutama yang dapat beradaptasi dengan kondisi lahan gambut.
- Teknik (waktu, cara, jenis dan dosis) pemupukan yang tepat, kalau memungkinkan diupayakan pemupukan melalui daun.

DAFTAR PUSTAKA

- Alex, K. dan Joosten H. 2008. Global Peatland Assesment. Factbook for UNFCCC policies on peat carbon emission.
- Canadell, J.G., D.E. Pataki, and L. Pitelka. 2007. Saturation of the terrestrial carbon sink. Pp. 59-78. In J.G. Canadell, D.E. Pataki, and L. Pitelka (Eds.): Terrestrial Ecosystems in a Changing World. Berlin, Springer Verlag.
- Chimner, R.A. and D.J. Cooper. 2003. Influence of water table position on CO₂ emissions in a Colorado subalpine fen: An in situ microcosm study. Soil Biology and Biogeochemistry 35:345-351.
- Couwenberg, J., R. Dommann, and H. Joosten. 2009. Greenhouse gas fluxes from tropical peat swamps in Southeast Asia. Global Change Biology (accepted).



Gambar 3. Kandungan C-organik tanaman padi, GWP dan net karbon dari empat perlakuan amelioaran pada MK 2008

Figure 3. C organic carbon at paddy rice, GWP and net carbon from four ameliorant at DS 2008

Cai Z.C., R.J. Laughlin, and R.J. Stevens. 2001. Nitrous oxide and dinitrogen emissions from soil under different water regimes and straw amendment. *Chemosphere* 42:113-121.

Denman, K.L., G. Brasseur, A. Chidthaisong, P. Ciais, P.M. Cox, R.E. Dickinson, D. Hauglustaine, C. Heinze, E. Holland, D. Jacob, U. Lohmann, S. Ramachandran, P.L. de Silva Dias, S.C. Wofsy, and X. Zhang. 2007. Coupling between changes in the climate system and biogeochemistry. Pp. 499-587. In S. Solomon (Ed.). *Climate Change 2007: The Physical Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York.

Driesen, P.M. 1978. Peat soil. Pp. 763-779. In *Soil and Rice*. IRRI, Los Banos, Philippines.

Gorham, E. 1991. Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable response to climatic warming. *Ecological Applications* 1: 182-195.

Hornibrook, E.R.C., F.J. Longstaffe, and W.S. 1997. Spatial distribution of microbial methane production pathways in temperate zone wetland soils: Stable carbon and hydrogen isotope evidence. *Geochim. Cosmochim. Acta* 61:745-753.

Javed, I., R. Hu, S. Lin, R. Hatano, M. Feng, L. Lu, B. Ahamadou, and L. Du. 2009. CO_2

emission in a subtropical red paddy soil (Ultisol) as affected by straw and N-fertilizer applications: A case study in Southern China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 131:292-302.

Kurniatun, H., S.R. Utami, B. Lusiana, dan M. van Noordwijk. 2007. Neraca hara dan karbon dalam sistem agroforestri. Universitas Brawijaya.

Patrick Jr., W.H. and C.N. Reddy. 1977. Chemical and Biological Redox Systems Affecting Nutrient Availability in The Coastal Wetlands. *Geosciences and Man* 28:131-137.

Smith, L.C., G.M. MacDonald, A.A. Velichko, D.W. Beilman, O.K. Borisova, K.E. Frey, K.V. Kremenetski, and Y. Sheng. 2004. Siberian peatlands a net carbon sink and global methane source since the early Holocene. *Science* 303:353-356.

Sorenson, K.M. 1993. Indonesian peat swamp forests and their role as a carbon sink. *Chemosphere* 27:1065-1082.

Wetlands International-Indonesia Programme. 2006. Peta-Peta Sebaran Lahan Gambut, Luas dan Kandungan Karbon di Papua.

Whiting, G.J. and J.P. Chanton, J.P. 1992. Plant-dependent CH_4 emission in a subarctic Canadian fen. *Global Biogeochem. Cycles* 6: 225-231.