

KAJIAN OPTIMASI PENGELOLAAN LAHAN GAMBUT DAN ISU PERUBAHAN IKLIM

Overview on Optimizatin of Peat Lands Management and Climate Change Issues

Enny Widyati

Pusat Litbang Konservasi dan Rehabilitasi
Jl. Gunung Batu no. 5 Bogor 16610
Telp. (0251) 8633234 Fax. (0251) 8638111

Naskah masuk : 11 Januari 2010 ; Naskah diterima : 3 Januari 2011

ABSTRACT

In order to realize food and energy security and to accomplish raw material of paper industries many peat lands are converted to agricultural and industrial forest plantation. Steps of these activities are draining, land clearing and planting. However, there are some negative impacts such as drainage causes subsidence, subsequent land clearing enhances emission of greenhouse gasses. Emission rate is determined by type of land conversion and level of peat decomposition. Land conversion with deeper drainage will release more emission. More mature of peat decomposition, on the other hand, will reduce emission. Type of peat substratum also affects the emission level. Peat with substratum which has large content of polivalen-base-mineral soil has lower rate of emission. Soil amelioration which reduces C/N ratio will trigger emission due to decomposition encouragement. Furthermore, decision to change peat land management must in accordance with a comprehensive consideration.

Keywords : *Drainage, emission of green house gasses, peat land*

ABSTRAK

Dalam rangka meningkatkan ketahanan pangan dan energi serta untuk mengimbangi meningkatnya permintaan bahan baku industri kertas banyak lahan gambut dialihfungsikan. Tahapan yang dilakukan dalam rangka perubahan fungsi lahan gambut terdiri atas drainase, *land clearing* dan penanaman. Drainase dapat mengakibatkan subsiden, *land clearing* dengan atau tanpa pembakaran merupakan sumber emisi gas rumah kaca yang sangat besar. Besarnya emisi ditentukan oleh macam konversi lahan gambut dan tingkat kematangan gambut. Konversi lahan yang memerlukan drainase lebih besar akan meningkatkan emisi. Makin matang gambut emisi yang dilepaskan makin rendah. Disamping itu, emisi juga ditentukan oleh lapisan substratum gambut. Gambut yang di bawahnya berupa lapisan tanah mineral yang mengandung basa polivalen tinggi akan makin kecil dalam melepaskan emisi. Ameliorasi untuk memperbaiki kesuburan tanah gambut juga dapat memacu emisi, karena ameliorasi akan menurunkan rasio C/N dan akan memacu dekomposisi gambut. Dengan demikian pemanfaatan lahan gambut harus berdasarkan pada pertimbangan yang rasional antara keuntungan ekonomi yang didapat dengan kerugian lingkungan yang akan diderita.

Kata kunci : *Drainase, emisi gas rumah kaca, lahan gambut*

I. PENDAHULUAN

Sejalan dengan pertambahan jumlah penduduk mendorong alih fungsi lahan gambut menjadi lahan pertanian dalam rangka mendukung ketahanan pangan, memenuhi bahan baku industri kertas, memenuhi kebutuhan areal perkebunan serta dalam rangka pengembangan bioenergi. Upaya pemanfaatan lahan gambut yang paling menonjol saat ini adalah alih fungsi lahan gambut untuk HTI pulp dan perkebunan kelapa sawit. Hal ini karena adanya program pemerintah untuk mencari energi alternatif dengan memanfaatkan minyak kelapa sawit sebagai *biofuel*. Untuk mencegah kerusakan lahan gambut Menteri Pertanian mengeluarkan Peraturan Menteri no. 14/2009 tentang Pedoman Pemanfaatan Lahan Gambut

untuk Budidaya Kelapa Sawit. Dalam Peraturan Menteri tersebut diatur bahwa pengusahaan budidaya kelapa sawit dapat dilakukan di lahan gambut tetapi harus memenuhi persyaratan yang dapat menjamin kelestarian fungsi lahan gambut. Persyaratan tersebut antara lain: (a) diusahakan hanya pada lahan masyarakat dan kawasan budidaya, (b) ketebalan lapisan gambut kurang dari 3 (tiga) meter, (c) substratum tanah mineral di bawah gambut bukan pasir kuarsa dan bukan tanah sulfat masam; (d) tingkat kematangan gambut saprik (matang) atau hemik (setengah matang); dan (e) tingkat kesuburan tanah gambut tergolong eutropik.

Untuk dapat melakukan budidaya pada lahan gambut yang terganggu terlebih dahulu harus dilakukan reklamasi. Menurut Direktorat Pengelolaan Lahan Deptan (2008), reklamasi lahan rawa adalah suatu upaya pemanfaatan lahan rawa yang telah diusahakan untuk usaha pertanian melalui perbaikan prasarana dan sarana pertanian di kawasan tersebut sehingga meningkatkan luas areal tanam dan produktivitas lahan. Merujuk pada Direktorat Pengelolaan Lahan Deptan (2008) tersebut maka pengertian reklamasi lahan rawa gambut untuk HTI dan perkebunan kelapa sawit dapat diartikan sebagai kegiatan yang bertujuan untuk memperbaiki sarana dan prasarana agar lahan gambut tersebut dapat mendukung usaha budidaya HTI dan kelapa sawit tersebut secara optimal, yaitu menurunkan permukaan air dan memperbaiki tanah sebagai media tumbuhnya tanaman. Reklamasi lahan gambut untuk kepentingan perkebunan dan hutan tanaman industri (HTI) yang telah umum dipraktekkan diawali dengan proses drainase yaitu kanalisasi, pembukaan lahan (*land clearing*) dan persiapan lahan untuk komoditas tanaman tertentu. Kanalisasi (drainase) dilakukan untuk menurunkan permukaan air karena tanaman yang diusahakan bukan merupakan tanaman tahan genangan. Untuk budidaya kelapa sawit dan HTI, pemadatan harus dilakukan pada jalur pertanaman sebelum ditanami bibit (Vijarnsorn, 1996).

Drainase yang ideal harus dapat membuang kelebihan air yang datang dari hujan secara tepat waktu dan efisien, dan mengendalikan muka air tanah agar dapat mencapai kondisi optimum bagi pertumbuhan tanaman (Tie dan Lim, 1992). Drainase yang tidak tepat dapat menimbulkan dampak lingkungan yang serius pada ekosistem lahan gambut. Dampak tersebut dapat berupa subsiden, meningkatnya bencana kebakaran dan meningkatnya emisi gas rumah kaca.

Drainase yang tidak dikendalikan dengan baik dapat mengakibatkan subsiden karena gambut mempunyai sifat yang *non re-wet-able* atau *irreversible drying*, artinya sekali mengalami kekeringan yang berlebihan (*over drained*) sifat koloid gambut akan menjadi rusak sehingga gambut tidak dapat kembali memegang air. Menurut Chotimah (2002), gambut akan kehilangan air tersedia setelah mengalami kekeringan selama 4 - 5 minggu. Selain tidak dapat memegang air, gambut yang sudah telanjur kering tidak dapat lagi menyerap unsur hara. Akibatnya gambut berubah sifat seperti arang sehingga pada musim kemarau sangat rawan terhadap kebakaran. Di samping kebakaran, karena gambut mempunyai *bulk density* (BD) yang sangat rendah akan mengakibatkan terjadinya *subsidence* (ambles).

Selain menguras kandungan air dalam gambut yang dapat mengakibatkan kebakaran dan amblesnya gambut, kanalisasi juga memberikan akses bagi para pembalok liar sehingga kerusakan hutan gambut makin meningkat. Di samping itu, berkurang atau hilangnya kawasan hutan rawa gambut akan menurunkan kualitas lingkungan, bahkan menyebabkan banjir pada musim hujan serta kekeringan dan kebakaran pada musim kemarau. Untuk mengatasi banjir, pemerintah melakukan upaya pendalaman saluran dan pembuatan saluran baru untuk mempercepat pengeluaran air. Namun upaya tersebut ternyata justru menimbulkan dampak yang lebih buruk, yaitu lahan pertanian di sekitarnya menjadi kering dan masam, tidak produktif, dan akhirnya menjadi lahan tidur, bongkor, dan mudah terbakar (BBP2SLP, 2008).

Meningkatnya emisi gas rumah kaca (GRK) akibat drainase menurut Agus (2008), terutama berkaitan dengan aktivitas oksidasi-reduksi bahan organik dari gambut. Sebagai produk dari proses oksidasi-reduksi tersebut adalah terjadinya emisi CO₂ dan CH₄ yang merupakan salah satu masalah penting yang telah menjadi perhatian masyarakat global. Sebagai contoh, lahan gambut di Eropa Utara telah menyumbangkan sekitar 30% emisi CH₄ dari total yang dihasilkan lahan gambut dunia. Di daerah tropis, tanah gambut berhutan dapat melepaskan sekitar 26,9 juta ton CH₄ dan tanah gambut pada areal budidaya sebesar 30,9 juta ton CH₄, sementara pada tanah alluvial hanya sebesar 5,0 juta ton CH₄ (Barlett & Harris, 1993 dalam Agus, 2008).

Menurut Agus (2008) konversi lahan gambut menyebabkan laju emisi C meningkat dibandingkan dengan proses penambatan C (*C-sequestration*). Di lahan gambut tanaman yang sedang tumbuh, selain dapat menambat C ternyata juga berpotensi sebagai pelepas C. Karena tanaman yang tumbuh di lahan

gambut juga dapat berperan dalam melepaskan CH_4 melalui akar dan batangnya (Adger & Brown, 1995 dalam Agus, 2008). Semakin pesat pertumbuhan tanaman di lahan gambut diduga akan semakin tinggi laju emisi CH_4 . Laju produksi CH_4 juga meningkat ketika akumulasi serasah dan bahan organik di bawah zona anaerobik makin meningkat (Agus, 2008).

Indonesia mempunyai sekitar 21 juta ha lahan gambut dengan simpanan karbon bawah tanah (*below ground*) sekitar 37 giga ton (Gt) (Wahyunto *et al.*, 2007). Namun seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk, pembukaan hutan gambut untuk mendapatkan bahan bangunan dan perabot serta untuk perluasan lahan pertanian dan perkotaan akan semakin meningkat. Konversi lahan gambut tersebut akan mengakibatkan meningkatnya jumlah CO_2 yang diemisikan. Menurut Hooijer *et al.* (2006), diperkirakan emisi yang berhubungan dengan perubahan penggunaan lahan gambut dan pengelolaan lahan gambut mendekati 50% dari emisi nasional Indonesia.

Oleh karena lahan rawa gambut merupakan ekosistem yang rapuh (*fragile*), maka pemanfaatannya harus secara bijak (*a wise landuse*) dan didasarkan pada karakteristik lahan. Keputusan Presiden No. 32 tahun 1990 dan Undang-undang No. 21 tahun 1992 tentang Penataan Ruang Kawasan Bergambut menetapkan kawasan bergambut dengan ketebalan 3 m atau lebih, yang letaknya di bagian hulu sungai dan rawa, ditetapkan sebagai kawasan lindung, yang berfungsi sebagai penambat air dan pencegah banjir, serta melindungi ekosistem yang khas di kawasan tersebut (BBP2SLP, 2008). Mengingat dampak buruk akibat pengelolaan lahan yang kurang tepat mulai dirasakan akhir-akhir ini, peraturan ini perlu diberlakukan lebih efektif lagi, disertai sanksi yang tegas bagi yang melanggarnya agar lahan rawa gambut dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan dan tidak berdampak lebih buruk bagi lingkungan.

Berikut ini dijabarkan beberapa dampak lingkungan yang ditimbulkan akibat optimalisasi pemanfaatan lahan gambut yang dirangkum dari berbagai sumber.

II. DRAINASE LAHAN GAMBUT MENYEBABKAN TERJADINYA SUBSIDEN DAN BERKURANGNYA KEMAMPUAN MENYIMPAN AIR

Untuk dapat dimanfaatkan, lahan gambut harus dilakukan reklamasi yang diawali dengan *drainase* dan *land clearing*. Seperti telah disebutkan di atas, salah satu sifat gambut yang menyebabkan sulitnya pengelolaan dan rehabilitasi lahan adalah *irreversible drying* atau *non re-wettable*. Oleh karena itu, sekali mengalami kekeringan sampai tingkat tertentu maka gambut tidak bisa terbasahkan kembali. Hal ini mengakibatkan volume gambut akan menyusut, sehingga akan mengakibatkan penurunan permukaan tanah gambut (*subsidence*/subsiden).

Selain karena pengurangan kadar air, subsiden juga terjadi karena penyusutan volume akibat adanya proses dekomposisi dan erosi. Dalam dua tahun pertama setelah lahan gambut didrainase, laju subsiden bisa mencapai 50 cm. Pada tahun berikutnya laju subsiden sekitar 2-6 cm/tahun tergantung tingkat kematangan gambut dan kedalaman saluran drainase (Agus dan Subiksa, 2008). Adanya subsiden bisa dilihat di lapangan dari akar-akar tanaman yang menggantung (Gambar 1). Subsiden terjadi segera sesudah lahan gambut didrainase. Pada umumnya subsiden yang berlebihan bersifat tidak dapat balik. Hanya melalui penjenuhan yang sempurna dan dalam waktu yang lama masalah subsiden dapat diatasi secara perlahan.

Kecepatan subsiden dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain tingkat kematangan gambut, tipe gambut, kecepatan dekomposisi, kepadatan dan ketebalan gambut, kedalaman drainase, iklim, serta tipe penggunaan lahan (Wösten *et al.*, 1997). Dradjat *et al.* (1986) dalam Rina *et al.* (2008) melaporkan laju amblesan 0,36 cm/bulan pada tanah gambut saprik di Barambai (Kalimantan Selatan) selama 12-21 bulan setelah reklamasi, sedang untuk gambut saprik di Talio (Kalimantan Tengah) lajunya 0,178 cm/bulan dan bahan gambut hemik 0,9 cm/bulan. Penurunan muka lahan di Desa Babat Raya dan Kolam Kanan Kecamatan Barambai Kalimantan Selatan mencapai antara 75-100 cm dalam masa 18 tahun (April 1978-September 1996) (Noorinayuwati *et al.* 2006).



Gambar (Figure) 1. Akar tanaman menggantung menandakan sudah terjadinya subsiden pada lahan gambut (*Root of plants hang up on the peat surface is one of indicators of subsidence*) (Foto: Agus dan Subiksa, 2008)

Menurut Agus dan Subiksa (2008), proses subsiden gambut dapat dibagi menjadi empat komponen:

1. Konsolidasi yaitu pemadatan gambut karena pengaruh drainase. Penurunan muka air tanah menyebabkan terjadinya peningkatan tekanan dari lapisan gambut di atas permukaan air tanah terhadap gambut yang berada di bawah muka air tanah sehingga gambut terkonsolidasi (menjadi padat).
2. Pengkerutan yaitu pengurangan volume gambut di atas muka air tanah karena proses drainase/pengeringan.
3. Dekomposisi/oksidasi yaitu menyusutnya massa gambut akibat terjadinya dekomposisi gambut yang berada dalam keadaan aerobik.
4. Kebakaran yang menyebabkan menurunnya volume gambut.

Kedalaman muka air tanah merupakan faktor utama penentu kecepatan subsiden karena sangat mempengaruhi keempat proses di atas. Di samping itu, penggunaan alat-alat berat dan pemupukan juga ikut mempengaruhi proses subsiden (Agus dan Subiksa, 2008). Proses subsiden berlangsung sangat cepat; bisa mencapai 20-50 cm/tahun pada awal dibangunnya saluran drainase (Welch dan Nor, 1989 dalam Agus dan Subiksa, 2008), terutama disebabkan besarnya komponen konsolidasi dan pengkerutan. Di Sarawak, subsiden mencapai kestabilan sesudah 28 tahun setelah lahan didrainase.

Kedalaman muka air tanah rata-rata mempunyai hubungan linear dengan tingkat subsiden. Penelitian di Sarawak, Malaysia, dengan kedalaman air tanah rata-rata 100 cm, subsiden bisa mencapai 8 cm/tahun dan untuk kedalaman muka air tanah rata-rata 25 cm, subsiden sekitar 2 cm/tahun (Wösten *et al.*, 1997). Dengan tingkat subsiden, misalnya 4 cm/tahun, maka dalam 25 tahun (satu siklus tanaman tahunan) permukaan gambut akan turun sekitar 100 cm. Untuk tanah gambut sulfat masam potensial (dengan lapisan pirit dangkal) maka subsiden ini akan menyingkap lapisan pirit sehingga pirit teroksidasi membentuk H_2SO_4 dan menjadikan tanah sangat masam dan tidak bisa ditanami lagi (Agus dan Subiksa, 2008).

Penurunan permukaan gambut juga menyebabkan menurunnya kemampuan gambut menahan air (Agus dan Subiksa, 2008). Apabila kubah gambut sudah mengalami penciutan setebal satu meter, maka lahan gambut tersebut akan kehilangan kemampuannya dalam menyangga air sampai 90 cm atau ekuivalen dengan 9.000 m³/ha. Dengan kata lain lahan disekitarnya akan menerima 9.000 m³ air lebih banyak bila terjadi hujan deras atau akan meningkatkan bencana banjir. Sebaliknya karena sedikitnya cadangan air yang tersimpan selama musim hujan, maka cadangan air yang dapat diterima oleh daerah sekelilingnya menjadi lebih sedikit dan daerah sekitarnya akan rentan kekeringan dan kebakaran pada musim kemarau.

III. KEGIATAN *LAND CLEARING* MENINGKATKAN EMISI KARBON

Dalam keadaan hutan alami yang tidak terganggu, lahan gambut merupakan penyerap (*sink*) CO₂. Menurut Agus (2008), simpanan karbon terbesar pada lahan gambut adalah pada gambut itu sendiri dan yang kedua adalah pada jaringan tanaman dan pada serasah. 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 CO₂. 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.

Apabila hutan gambut terganggu, maka lahan gambut berubah fungsi dari penyerap menjadi sumber emisi gas rumah kaca (Agus dan Subiksa, 2008). Gas rumah kaca (GRK) yang dikeluarkan (diemisikan) lahan gambut adalah CO₂, CH₄ (metan), dan N₂O. Di antara ketiga gas tersebut CO₂ merupakan GRK terpenting karena jumlahnya yang relatif besar, terutama dari lahan gambut yang sudah berubah fungsi dari hutan menjadi lahan pertanian dan pemukiman. Jumlah emisi dari tanah gambut untuk selang waktu tertentu dapat dihitung berdasarkan perubahan karbon tersimpan pada tanah gambut.

Bentuk intervensi manusia yang sangat mempengaruhi fungsi lingkungan lahan gambut adalah penebangan hutan gambut, pembakaran hutan gambut dan drainase untuk berbagai tujuan; baik untuk pertanian, kehutanan (HTI), maupun untuk pemukiman. Beberapa kegiatan manusia yang dapat merubah fungsi lahan gambut dari penyerap menjadi pengemisi CO₂ menurut Agus (2008) antara lain adalah:

1. Penebangan Hutan Gambut

Penebangan hutan gambut dapat 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 secara anaerobik yang menghasilkan CH₄.

2. Pengeringan (*Drainase*) Gambut

Pengeringan (*drainase*) gambut dapat merubah suasana anaerob menjadi aerob. Kondisi aerob akan meningkatkan laju dekomposisi gambut sehingga meningkatkan pelepasan CO₂. Drainase gambut juga akan menurunkan muka air tanah pada lahan yang didrainase serta lahan di sekitarnya, baik berupa lahan gambut yang dilakukan usaha budidaya pertanian maupun lahan hutan gambut.

3. Pembakaran/kebakaran gambut

Kebakaran meningkatkan emisi CO₂ dari oksidasi biomassa tanaman dan lapisan gambut yang terbakar. Kebakaran sering terjadi sewaktu pembukaan hutan (*land clearing*) 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.

4. Penambahan pupuk dan amelioran

Penggunaan pupuk, misalnya pupuk nitrogen, akan menurunkan rasio C/N dan mendorong terjadinya dekomposisi 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 dapat membantu mengurangi dekomposisi gambut dan emisi CO₂.

A. Emisi Akibat Kebakaran Biomassa Tanaman dan Lapisan Gambut pada Kegiatan Land Clearing

Biomassa tanaman pada hutan lahan basah menyimpan sekitar 200 ton C/ha (Rahayu *et al.*, 2005). Karbon yang tersimpan tersebut akan hilang dengan cepat apabila hutan ditebang. Penebangan yang

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



Gambar (Figure) 2. Kebakaran lahan gambut merupakan salah satu sumber emisi GRK (*Peat lands burning is one of green house gasses emission sources*) (Foto: the Climate Change Forest and Peatland Indonesia (CCFPI), 2009)

Apabila biomassa tanaman hutan gambut terbakar (Gambar 2) maka tidak hanya biomassa tanaman saja yang akan terbakar, tetapi juga beberapa centimeter lapisan gambut bagian atas yang berada dalam keadaan kering. Lapisan gambut ini akan rentan kebakaran apabila muka air tanah lebih dalam dari 30 cm. Pada tahun terjadinya fenomena El Nino misalnya tahun 1997, muka air tanah menjadi lebih dalam karena penguapan sehingga lapisan atas gambut menjadi sangat kering. Dalam keadaan demikian kebakaran gambut dapat terjadi sampai pada ketebalan 50 cm (Page *et al.*, 2002). Dalam keadaan ekstrim ini bara api pada tanah gambut dapat bertahan berminggu-minggu. Untuk tahun dengan musim normal, Hatano *et al.* (2004) memperkirakan kedalaman gambut yang terbakar sewaktu pembukaan hutan sedalam 15 cm. Apabila kandungan karbon gambut rata-rata adalah 50 kg/m³ (berkisar antara 30 sampai 60 kg/m³) maka dengan terbakarnya 15 cm lapisan gambut akan teremisi sebanyak 75 ton C/ha atau ekuivalen dengan 275 ton CO₂/ha (Agus dan Subiksa, 2008).

B. Perbandingan Emisi Gas Rumah Kaca dari Lahan Gambut yang Normal dan yang Terganggu

Emisi dan penambatan karbon pada lahan gambut berlangsung secara bersama-sama, namun besaran masing-masingnya tergantung keadaan alam dan campur tangan manusia. Dalam keadaan hutan alam gambut normal yang umumnya jenuh air (suasana anaerob), penambatan (sekuestrasi) karbon berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan dekomposisi. Karena kecepatan pembentukan gambut hanya berkisar antara 0-3 mm/tahun (Parish *et al.*, 2007). Pada tahun-tahun di mana terjadi kemarau panjang, misalnya tahun El-Nino, kemungkinan besar kecepatan pembentukan gambut negatif (menipis) disebabkan lapisan permukaannya berada dalam keadaan tidak jenuh (aerob) dalam waktu yang cukup lama sehingga emisi karbon lebih cepat dari penambatan.

Menurut Agus dan Subiksa (2008), GRK utama yang keluar dari lahan gambut adalah CO₂, CH₄ dan N₂O. Emisi CH₄ cukup signifikan pada lahan gambut yang tergenang atau yang muka air tanahnya dangkal (<40 cm). Dengan bertambahnya kedalaman muka air tanah, emisi CH₄ menjadi tidak nyata.

Emisi CH_4 pada lahan pertanian relatif kecil karena rendahnya pasokan bahan organik segar yang siap terdekomposisi secara anaerob (Jauhiainen *et al.*, 2004). Emisi CO_2 jauh lebih tinggi dibandingkan dengan emisi CH_4 (walaupun dikalikan dengan *global warming potential*-nya 23 kali CO_2) (Tabel 1) dan emisi N_2O . Dengan demikian data emisi CO_2 sudah cukup kuat untuk merepresentasikan emisi dari lahan gambut, apabila pengukuran GRK lainnya seperti CH_4 dan N_2O sulit dilakukan (Agus, 2008).

Konversi hutan dan pengelolaan lahan gambut, terutama yang berhubungan dengan drainase dan pembakaran, merubah fungsi lahan gambut dari penambat karbon menjadi sumber emisi GRK (Agus, 2008). Hutan gambut yang terganggu (yang kayunya baru ditebang secara selektif) dan terpengaruh drainase, emisinya meningkat tajam, bahkan bisa lebih tinggi dibandingkan emisi dari lahan pertanian yang juga didrainase (Tabel 1). Hal ini disebabkan oleh banyaknya bahan organik yang mudah terdekomposisi pada hutan rawa gambut yang terganggu.

Tabel (Table) 1. Emisi karbon dari permukaan hutan gambut terdegradasi dan dari lahan pertanian gambut terlantar di Kalimantan Tengah (*carbon emission from degraded peat forest and from neglect peat agriculture in Central Kalimantan*)

Penggunaan lahan (<i>Land use</i>)	Emisi (<i>Emission</i>) ton/ha/tahun (ton/ha/year)	
	CO_2	CH_4
Hutan gambut tidak didrainase	38,9	0,014
Hutan gambut yang terpengaruh drainase	40,0	0,013
Hutan gambut sekunder bekas tebang bersih	34,0	0,001
Lahan pertanian berdrainase, dalam keadaan tidak dikelola	19,28	0,001

Dikutip dari (*cited from*): Agus dan/and Subiksa (2008)

IV. DEKOMPOSISI GAMBUT MENINGKATKAN EMISI GAS RUMAH KACA

Secara umum emisi gas CO_2 dan CH_4 sangat dipengaruhi faktor lingkungan, terutama suhu dan curah hujan, dan lahan gambut sensitif terhadap keduanya (Adger & Brown, 1995 *dalam* Handayani, 2008). Diduga, ketika suhu meningkat dan curah hujan turun keadaan tersebut sangat cocok untuk proses dekomposisi bahan organik sehingga akan meningkatkan emisi CO_2 , sedangkan emisi CH_4 akan meningkat ketika kadar air tinggi (ketika curah hujan tinggi). Menurut Agus (2008), jumlah emisi dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kadar air tanah dan kedalaman muka air tanah gambut, pemupukan, dan suhu tanah. Di Indonesia penelitian-penelitian yang mengkaji tentang masalah emisi CO_2 dan CH_4 dari lahan gambut masih terbatas dan relatif belum bersifat komprehensif-terpadu-multidisipliner.

Proses emisi pada lahan gambut tidak berhenti sesudah pembukaan hutan. Selama masa budidaya tanaman pertanian, emisi dalam jumlah tinggi tetap terjadi disebabkan terjadinya proses dekomposisi gambut oleh mikroorganisme. Tingkat dekomposisi gambut sangat dipengaruhi oleh kedalaman drainase; semakin dalam drainase, semakin cepat terjadinya dekomposisi gambut (Agus dan Subiksa, 2008). Lebih lanjut Agus dan Subiksa (2008) mengemukakan bahwa untuk kedalaman drainase antara 30 sampai 120 cm emisi akan meningkat setinggi 0,91 ton CO_2 /ha/tahun untuk setiap penambahan kedalaman drainase satu cm.

Tingkat emisi karbon menurut beberapa hasil penelitian juga ditentukan oleh macam konversi penggunaan lahan gambut. Untuk konversi lahan gambut menjadi perkebunan karet diasumsikan nilai emisi dari dekomposisi gambut sebesar 18 ton CO_2 /ha/tahun (Agus dan Subiksa, 2008). Pada lahan gambut yang dikonversi menjadi perkebunan kelapa sawit, dengan drainase rata-ratanya diasumsikan sedalam 60 cm didapatkan emisi tahunan sekitar 54,6 ton CO_2 /ha (Agus dan Subiksa, 2008), pada perkebunan kelapa sawit dengan kedalaman drainase 80 cm ditemukan tingkat emisi setinggi 54 ton CO_2 /ha/tahun, sedangkan pada hutan gambut sekunder (semak belukar) emisi yang terjadi setinggi 127 ton CO_2 /ha/ tahun (Hadi *et al.*, 2001 *dalam* Agus dan Subiksa, 2008). Data tersebut menggambarkan bahwa emisi yang terjadi pada hutan sekunder memiliki emisi yang lebih tinggi dibandingkan dengan

lahan gambut yang dikelola menjadi kelapa sawit dengan catatan kedalaman air gambut dijaga dengan baik.

Hasil pengukuran emisi lahan gambut yang dikelola menjadi sawah pada lokasi yang berbeda menunjukkan hasil yang sangat berbeda. Agus dan Subiksa (2008) meneliti nilai laju emisi dari sawah gambut di Kalimantan Tengah didapatkan hasil setinggi 4 ton CO₂/ha/tahun, sedangkan Hadi *et al.* (2001) menemukan emisi dari sawah gambut di Kalimantan Selatan setinggi 88 ton CO₂/ha/tahun. Data ini menunjukkan bahwa laju emisi pada tipe perubahan peruntukan lahan (*land use changing*) yang sama bisa memiliki laju emisi yang berbeda. Hal ini diduga dipengaruhi oleh kondisi biofisik setempat.

Tabel 2 menunjukkan bahwa komponen utama emisi pada perkebunan kelapa sawit adalah dekomposisi gambut yang besarnya antara lain ditentukan oleh kedalaman drainase. Pada perkebunan kelapa sawit kedalaman drainase diasumsikan rata-rata 60 cm. Emisi dari dekomposisi gambut perkebunan karet jauh lebih rendah karena tanaman karet memerlukan drainase yang jauh lebih dangkal (diasumsikan sedalam 20 cm). Sistem pertanian lain yang tidak memerlukan atau memerlukan drainase dangkal, seperti perkebunan sagu atau padi sawah mengeluarkan emisi dari dekomposisi gambut yang sedikit pula. Emisi dari penebangan dan pembakaran/dekomposisi biomassa hutan gambut serta kebakaran lapisan gambut juga signifikan jumlahnya. Emisi dari kedua komponen ini menurun tajam apabila lahan yang dikonversi menjadi lahan perkebunan adalah belukar gambut. Relatif sedikitnya biomassa pada belukar gambut (diasumsikan 15 ton C/ha) menyebabkan emisi CO₂ dari kebakaran biomassa dan kebakaran lapisan gambut menjadi sedikit pula. Dengan demikian, apabila lahan yang digunakan untuk perkebunan adalah lahan yang sudah berubah menjadi semak belukar, maka emisi yang terjadi sewaktu pembukaan hutan akan jauh berkurang.

Tabel (Table) 2. Sumber dan perkiraan besaran emisi dan penambatan karbon dari konversi hutan atau belukar lahan gambut menjadi perkebunan sawit atau karet (*Estimation of carbon emission and sink from conversion of varies peat lands to rubber or palm oil plantations*)

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

Dikutip dari (*cited from*): Agus (2008)

Selain kedalaman drainase, tingginya laju pelepasan karbon juga dipengaruhi oleh tingkat kematangan (dekomposisi) gambut. Menurut Sabiham (1997), kehilangan C tertinggi terjadi pada

gambut fibrik dengan nilai 3,13 kg C/ton C, yang berasal dari gas CO₂ (1,446 ton/ha/hari) dan CH₄ (0,524 ton/ha/hari). Tingginya pelepasan gas CO₂ dan CH₄ dari gambut fibrik disebabkan karena fibrik memiliki kandungan serat, C_{organik} dan rasio C/N yang lebih tinggi dibandingkan gambut hemik dan saprik. Flaig *et al.* (1977) menyatakan bahwa fibrik adalah bahan organik yang masih sedikit mengalami dekomposisi, mengandung serat lebih dari 2/3 volume. Saprik adalah bahan organik yang telah terdekomposisi lanjut dengan kandungan serat kurang dari 1/3 volume. Hal ini menyebabkan mikroba yang berada pada gambut saprik dapat memperoleh substrat yang lebih banyak, sehingga dekomposisi bahan organik menjadi lebih cepat (Sabiham, 1997).

Dalam penelitiannya Sabiham dan Sulistiono (2000) mengkaji dampak proses oksidasi-reduksi pada suhu terkontrol (20°C dan 30°C) serta pemberian kation Fe³⁺ terhadap emisi gas CO₂ dan CH₄. Estimasi laju pelepasan CO₂ dan CH₄ dari tanah gambut, menurut Sabiham dan Sulistiyono (2000), kehilangan C tertinggi adalah dalam bentuk CO₂ yang terjadi melalui proses oksidasi ketika suhu mencapai 30°C yaitu sebesar 3,62 kg C/ton C dan terendah pada kondisi reduksi pada suhu 20°C dengan nilai 2,47 kgC/ton C. Hal ini menunjukkan bahwa ketika terjadi penurunan muka air dan mengakibatkan peningkatan suhu maka pelepasan C akan makin meningkat. Pada kondisi lingkungan tersebut mikroba aerob terpacu untuk melakukan mineralisasi karena suhu optimum bagi aktivitas mikroba aerob tersebut adalah berkisar 30-35°C (Handayani, 2001).

Pelepasan CO₂ tertinggi terjadi pada inkubasi aerob pada suhu 30°C. Hal ini disebabkan karena pada kondisi aerob, mikroba pelaku mineralisasi lebih aktif dibandingkan suasana anaerob. Dengan demikian hasil mineralisasi yaitu CO₂ jadi lebih tinggi (Magnuson, 1993). Sebaliknya tingginya CH₄ pada kondisi anaerob disebabkan tidak tersedianya oksigen dalam lingkungan tersebut sehingga hanya golongan bakteri anaerob yang aktif, seperti bakteri penghasil methane/*methanogen*. Bakteri tersebut dapat bekerja secara aktif pada kondisi anaerob dengan redoks potensial -200 mV. (Tsutsuki & Ponnampurna, 1987 dalam Handayani *et al.*, 2008).

Sabiham dan Sulistiyono (2000) berpendapat bahwa kandungan basa-basa polivalen dalam tanah gambut ikut menentukan laju pelepasan gas rumah kaca. Menurut Sabiham dan Sulistiyono (2000), kation Fe³⁺ mempunyai urutan kekuatan ikatan kation dan kestabilan kompleks logam-organik yang paling tinggi daripada kation logam lainnya. Pemberian Fe³⁺ pada gambut saprik asal Jambi sebanyak 2,5% dan 5% dari serapan maksimum, terbukti mampu mengatasi masalah toksisitas asam fenolat pada gambut dengan membentuk senyawa kompleks. Selanjutnya, pemberian kation tersebut dianggap paling efektif untuk reklamasi gambut khususnya dalam rangka mengupayakan stabilisasi gambut melalui *decomposition prevention*, sehingga pelepasan gas CO₂ dan CH₄ dapat ditekan (Sabiham, 1997).

Tabel (Table) 3. Pengaruh pemberian kation Fe³⁺ terhadap laju pelepasan gas CO₂ dan CH₄ pada tanah gambut asal Jambi (*Impact on Fe³⁺ enrichment on CO₂ and CH₄ emission rate from peatland in Jambi*)

Dosis (<i>Dosage</i>) Fe ³⁺	Emisi (<i>Emission</i>) (ton/ha/hari) (<i>ton/ha/day</i>)		Total emisi (<i>Total emission</i>) (ton/ha/hari) (<i>ton/ha/day</i>)
	CO ₂	CH ₄	
Tanpa perlakuan	1,076	0,530	1,607
25 g/kg	0,973	0,479	1,453
50 g/kg	0,829	0,408	1,238
75 g/kg	0,767	0,397	1,165

Sumber data (*source*): Modifikasi dari Sabiham dan Sulistiyono (2000) (*Modification of Sabiham and Sulistiyono (2000)*)

Data pada Tabel 3 menggambarkan pengaruh kation Fe³⁺ terhadap penurunan emisi gas CO₂ dan CH₄. Pemberian kation Fe³⁺ dalam bentuk senyawa FeCl₃.6H₂O dengan dosis 25 sampai 75 g/kg telah menurunkan pelepasan C sebesar 10-27%. Menurut Sabiham dan Sulistiyono (2000) penurunan ini diduga karena telah terjadi ikatan kompleks yang stabil antara kation Fe³⁺ dengan ligan-ligan organik pada tanah gambut. Stevenson (1994) mengungkapkan bahwa kompleks yang terbentuk ini merupakan ikatan kovalen yang lebih kuat dan cenderung stabil, sehingga lebih sulit untuk diputuskan atau dipertukarkan. Adanya pembentukan kompleks tersebut dapat menyebabkan gambut lebih tahan terhadap proses dekomposisi, yang akhirnya dapat turut menekan pelepasan gas CO₂ dan CH₄ ke atmosfer. Oleh karena

itu, dari segi manfaat praktis bahan-bahan ameliorasi berbasis kation Fe^{3+} dapat dijadikan alternatif untuk mengurangi produksi gas CO_2 dan CH_4 , dengan dosis anjuran sekitar 50 g/kg.

V. PENGELOLAAN LAHAN GAMBUT UNTUK BUDIDAYA PERTANIAN, GANGGUAN SIKLUS HARA DAN PENINGKATAN EMISI

Tuntutan penyediaan pangan bagi penduduk yang populasinya makin meningkat memaksa pemerintah untuk memperluas areal budidaya pertanian. Lahan gambut yang merupakan lahan marginal pun menjadi sasaran untuk melakukan budidaya tanaman pangan. Namun karena sifat-sifat kimia tanah gambut yang memiliki banyak keterbatasan untuk melakukan budidaya tanaman pangan, ameliorasi harus dilakukan untuk memperbaiki properti tanah.

Perubahan pola penggunaan lahan gambut di Bengkulu dari lahan hutan ke non-hutan memberikan dampak khusus terhadap siklus hara nitrogen, terutama transformasi internal N dan laju mineralisasi (Handayani, 2008). Kandungan N total pada tanah-tanah gambut umumnya tinggi tetapi ketersediaan N rendah (Tie dan Lim, 1992). Hal ini karena N masih berada dalam kondisi belum terurai tetapi masih tersimpan dalam jaringan gambut. Penelitian Suhardi (2000) di Bengkulu menunjukkan bahwa terjadi penurunan potensi mineralisasi N akibat peralihan lahan gambut menjadi lahan pertanian. Potensi mineralisasi N tertinggi terjadi pada lahan hutan, yaitu 44,094 me $NO_3/100g$ dan terendah pada lahan kelapa sawit (8,967 me $NO_3/100g$) dan pertanian tanaman semusim (sayur-mayur) (8,394 me $NO_3/100g$).

Data juga menggambarkan bahwa proses drainase dan pengolahan lahan gambut telah menurunkan jumlah N-labil hingga 19-60% apabila lahan terkonversi menjadi kebun kelapa sawit dan sebesar 21-43% apabila lahan diusahakan sebagai kebun sayur-mayur. Sementara itu, adanya proses pengeringan-pembasahan secara berulang-ulang sepanjang 10 tahun telah menurunkan potensi mineralisasi N sebesar 28-67% bila lahan dijadikan sawah. Hasil penelitian ini menyiratkan fakta adanya penurunan cadangan N yang dapat termineralisasi akibat proses aerobiosis yang senantiasa terjadi pada saat lahan diolah atau terkonversi. Percobaan di laboratorium juga membuktikan bahwa peralihan fungsi lahan gambut dari lahan hutan ke bentuk lahan pertanian menurunkan waktu penyediaan N serta memacu aktivitas mineralisasi N. Peningkatan aktivitas mineralisasi N berkaitan erat dengan proses drainase (konsentrasi oksigen), perbaikan ketersediaan hara melalui pemupukan serta perbaikan kemasaman tanah karena pengapuran (Handayani, 2008).

Salah satu upaya peningkatan ketersediaan N dalam tanah gambut adalah melalui pemupukan. Namun pemupukan N diduga kuat dapat memacu meningkatnya emisi GRK dari lahan gambut. Hal ini karena pemupukan N akan menurunkan rasio C/N sehingga akan memacu terjadinya dekomposisi gambut yang akan melepaskan emisi CO_2 .

VI. PENUTUP

Dengan pengelolaan yang tepat lahan gambut dapat dimanfaatkan untuk budidaya pertanian, perkebunan dan HTI. Namun demikian, kegiatan drainase selain dapat menyebabkan subsiden juga dapat meningkatkan emisi GRK. Meningkatnya emisi ini karena tingginya cadangan karbon yang tersimpan pada lahan gambut dan mudahnya karbon tersebut teremisi ketika dilakukan drainase dan *land clearing*.

Setiap tahap konversi lahan gambut menjadi lahan budidaya dapat melepaskan emisi GRK. Mulai kegiatan penebangan dapat meningkatkan emisi akibat meningkatnya penetrasi cahaya matahari yang dapat memacu mikroba dekomposer mendekomposisi gambut. Kegiatan drainase dapat meningkatkan kondisi aerob sehingga memacu kerja mikroba dekomposer yang juga berujung pada pelepasan emisi. *Land clearing* yang umumnya dilakukan dengan pembakaran, sudah pasti melepaskan emisi. Kegiatan pemupukan juga dapat memacu emisi. Oleh karena itu pengelolaan lahan gambut untuk kegiatan tersebut harus dilakukan dengan sangat bijaksana. Konversi lahan yang memerlukan drainase lebih besar akan meningkatkan emisi oleh karena itu pemanfaatan lahan pada gambut tebal untuk kegiatan budidaya harus betul-betul dilarang.

Emisi GRK disinyalir mengakibatkan dampak pemanasan global yang dapat mengakibatkan terjadinya perubahan iklim, sehingga emisi GRK ini bukan hanya merupakan masalah Indonesia, namun

sangat berpengaruh terhadap berbagai aspek kehidupan di muka bumi. Oleh sebab itu langkah yang paling mudah dan bijaksana adalah karbon pada lahan gambut harus dikonservasi dengan mencegah semaksimal mungkin konversi lahan gambut agar tidak menambah konsentrasi GRK di atmosfer.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F. 2008. Panduan Metode Pengukuran Karbon Tersimpan di Lahan Gambut. Panduan untuk Bahan Berdiskusi. (www.bpphp17.web.id/.../carbon%20trade/Metode%20Pengukuran%20Carbon%20di%20lahan%20Gambut.pdf)
- Agus, F. dan I.G. M. Subiksa. 2008. Lahan Gambut: Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan. Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre (ICRAF), Bogor, Indonesia.
- Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian (BBP2SLP). 2008. Pemanfaatan dan Konservasi Ekosistem Lahan Rawa Gambut di Kalimantan. Pengembangan Inovasi Pertanian 1(2), 2008: 149-156
- Chotimah, H.E.N.C. 2002. Pemanfaatan Lahan Gambut untuk Tanaman Pertanian. Makalah Pengantar Falsafah Sains. Program Pascasarjana IPB. Bogor. (Tidak diterbitkan)
- The Climate Change Forest and Peatlands Indonesia (CCFPI). 2009. Mengenal Perilaku Lahan Gambut. www.ccfpi.org
- Direktorat Pengelolaan Lahan Deptan. 2008. Pedoman Teknis Optimasi dan Reklamasi Lahan Pertanian di Kawasan Pengembangan Lahan Gambut Kalimantan Tengah Tahun 2008. Departemen Pertanian. Jakarta.
- Flaig, W., B.Nagar, H.Sochtig and C.Tientjen. 1977. *Organic Materials and Soil Productivity*. D.O.A. Soil Bull. 35:1-63.
- Hadi, A., M. Haridi, K. Inubushi, E. Purnomo, F. Razie and H. Tsuruta. 2001. *Effects of Land-Use Change on Tropical Peat Soil on The Microbial Population and Emission of Greenhouse Gases*. Microbes and Environments 16: 79-86.
- Handayani, I.P. 2008. Studi Pemanfaatan Gambut Asal sumatra: Tinjauan Fungsi Gambut sebagai Bahan Ekstraktif, Media Budidaya dan Peranannya dalam Retensi Karbon. Tersedia di: www.wetlandsinternational.org. [diunduh: 10 Desember 2009].
- Handayani, I.P., P. Prawito dan P. Lestari. 2001. Daya Suplai Nitrogen dan Fraksionasi Pool C-N Labil pada Lahan Kritis. Laporan akhir Riset Unggulan Terpadu (RUT VII). Kementerian Riset dan Teknologi-LIPI Lembaga Penelitian Universitas Bengkulu.
- Hatano, R., M. Tomoaki, D. Untung, S.H. Limin and A. Syaiful. 2004. *Impact of Agriculture and Wild Fire on CO₂, CH₄ and N₂O Emissions from Tropical Peat Soil in Central Kalimantan, Indonesia, Necessity of Establishment of Inventory on Carbon Cycling in Tropical Peatland Ecosystems for Sustainable Agroproduction and Environmental Conservation*, Report number 13574012. Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University, Sapporo, pp. 11-14.
- Hooijer, A., M. Silvius, H. Wösten and S. Page. 2006. *PEAT-CO₂, Assessment of CO₂ Emissions from Drained Peatlands in SE Asia*, Delft Hydraulics report Q3943.
- Jauhiainen, J., H. Vasander, A. Jaya, I. Takashi, J. Heikkinen and P. Martikinen. 2004. *Carbon Balance in Managed Tropical Peat in Central Kalimantan, Indonesia*. In Wise Use of Peatlands - Proceedings of the 12th International Peat Congress, 06.-11.06.2004, Tampere, volume 1, Päivänen, J. (ed.), International Peat Society, Jyväskylä, pp. 653-659.
- Magnuson, T. 1993. *Carbon Dioxide and Methane Formation in Forest Mineral and Peat Soils During Aerobic and Anaerobic Incubations*. Soil Biol. Biochem. 25(7):877-883.

- NoorGINAYuwati, A.Rafiq, R. Yanti, M. Alwi dan A.Jumberi. 2006. Penggalian Kearifan Lokal Petani untuk Pengembangan Lahan Gambut di Kalimantan. Laporan Hasil Penelitian Balittra (tidak dipublikasikan). Dapat diakses di www.balittra.go.id
- Page, S.E., F. Siegert, J.O. Rieley, H-D.V. Boehm, A. Jaya and S.H. Limin. 2002. *The Amount of Carbon Released from Peat and Forest Fires in Indonesia during 1997*, Nature, 420, 61-65.
- Parish, F., A. Sirin, D. Charman, H. Joosten, T. Minayeva, M. Silvius, and L. Stringer (Eds.). 2007. *Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change: Main Report*. Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen.
- Peraturan Menteri Pertanian No. 14 Tahun 2009 tentang Pedoman Pemanfaatan Lahan Gambut untuk Budidaya Kelapa Sawit. Dapat diakses di: www.ditjenbun.deptan.go.id.
- Rahayu, S., B. Lusiana, dan M. van Noordwijk. 2005. *Above Ground Carbon Stock Assessment for Various land Use Systems in Nunukan, East Kalimantan*. pp. 21-34. In: Lusiana, B., van Noordwijk, M., and Rahayu, S. (eds.) *Carbon Stock Monitoring in Nunukan, East Kalimantan: A Spatial and Modelling Approach*. World Agroforestry Centre, SE Asia, Bogor, Indonesia tersedia di: www.cgiar.org
- Rina, Y., NoorGINAYuwati dan M. Noor, 2008. Persepsi Petani Tentang Lahan Gambut dan Pengeloaannya. Tersedia di: balittra.litbang.deptan.go.id/lokalKearifan-8%20Yanti.pdf [diunduh: 5 Desember 2009]
- Sabiham, S. dan Sulistyiono. 2000. Kajian Beberapa Sifat Inheren dan Perilaku Gambut: Kehilangan Karbondioksida dan Metana melalui Proses Reduksi-Oksidasi. *J. Tanah Tropika* 5(10)127-136.
- Sabiham, S. 2007. Pengembangan Lahan secara Berkelanjutan sebagai Dasar dalam Pengelolaan Gambut di Indonesia. Makalah Utama disimpulkan pada Seminar Nasional Pertanian Lahan Rawa di Kapuas, 3-4 juli, 2007 (<http://balittra.litbang.deptan.go.id/lahanberkelanjutan/sabiham.pdf>).
- Stevenson, F.J. 1994. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction*. 2nd ed. John Willey and Son. New york.
- Suhardi. 2000. Pola Perubahan Laju Mineralisasi Nitrogen pada Peralihan Fungsi Lahan Gambut menjadi Lahan Pertanian. Kumpulan Artikel Penelitian Berbagai Bidang Ilmu (BBI). Lembaga Penelitian UNIB. (<http://unib.ac.id/content.items/documents/Suhardi.pdf>).
- Tie, Y.L., dan J.S. Lim. 1992. *Characteristics and Clasification of Organic Soils in Malaysia*. Dalam: Tropical Peat, Proceedings of the International Symposium on Tropical Peatland, Kuching, Malaysia. h. 107-113.
- Vijarnsorn, P. 1996. *Peatlands in Southeast Asia : a Regional Perspective*. Dalam: Tropical Lowland Peatlands of Southeast Asia (E.Maltby et al., Eds), IUCN. Gland Switzerland. h. 75-92.
- Wahyunto, H. Subagjo, S. Ritung, and H. Bakti. 2007. *Map of Peatland Distribution Area and Carbon Content in Papua*. Wetland International-Indonesia Program and Wildlife Habitat Canada (WHC).
- Wösten, J.H.M., A.B. Ismail dan A.L.M. van Wijk. 1997. *Peat Subsidence and Its Practical Implications: a Case Study in Malaysia*. *Geoderma* 78:25-36.