

**DINAMIKA KARBON DAN KONSUMSI METANA (CH₄)
PADA SISTEM TEBANG BAKAR DI LAMPUNG UTARA:
ALTERNATIF UNTUK KONSERVASI SUMBER DAYA HUTAN DAN LAHAN**

Kurniatun Hairiah¹, Daniel Murdyarso², Yahya A Husin³, Meine van Noordwijk⁴

1. Fak. Pertanian, Univ. Brawijaya, Jl. Veteran, Malang 65145;
2. BIOTROP-GCTE Southeast Asian Impacts Centre, Bogor;
3. Jurusan Konservasi Sumber Daya Hutan, Fakultas IPB, Bogor
4. ICRAF S.E. Asia Program, Jl. Gn Batu 5, Bogor 16001

ABSTRACT

Although traditional 'slash-and-burn' farming systems, based on long fallow rotations have become rare in the humid tropics of Indonesia, slash-and-burn is still the most commonly used technique for land clearing where (degraded) forests are converted into other lands uses. Estimates of how much forest carbon is lost to the atmosphere due to such land use change depend on the C stocks of the previous forest vegetation, the decline of soil C Stocks after conversion and the build up of new stocks in the new land use system.

In the context of the global Alternatives to Slash and Burn (ASB) project, we studied C dynamics and methane consumption in the major current and 'best bet' land use systems in N. Lampung. Aim of this study was (1) to quantify C-stock of different land use types, extrapolated over the life-span of that system, (2) to quantify the SOM status with emphasis on the light fraction (labile) SOM after converting forest to agricultural land, as it may indicate current soil fertility, (3) to quantify methane consumption.

The comparisons included natural (or the best locally remaining) forest, old agroforests (> 30 years old), early stages of tree-based "best bet" land use systems, cassava fields (prolonged food crop production), and *Imperata* grassland fallow. Forest C-stock was estimated by measuring tree (locally updated allometric equation), understorey, litter, (surface) root biomass and soil-C in three 200 m² quadrats.

A forest fire reduced total C from tree biomass by about 50 % and about 97 % if unburnt trees trunk

are removed from the plot and changes in soil C were relatively small. Under 'organic matter maintaining' practices (without burning or removing of plant residues from the plot e.g. jungle rubber) the sum of Ludox fraction (g kg⁻¹) in the top 5 cm of soil may still decrease by about 20-30 % from forest level, even when the light fraction increased by about 40 %. Under degrading situations, the data suggested that 8-10 years after opening the forest, the sum of the Ludox fraction decreased by 70-80 %. In the 5-15 cm depth layer, however, the converted forest sites exceeded the forest. Total content of the Ludox fractions (in g kg⁻¹ of soil) for this second layer is only 20-50 % of that in the top 5 cm. In the 5-15 cm soil layer the heavy fraction in dry weight and also in C content.

Methane was consumed by all land use types in upland soils which ranged between (0.12 mg m⁻² hr⁻¹). The more intensive the cultivation, the less methane was consumed. Soil under converted forest, secondary forest and jungle rubber are among the highest consuming ecosystems.

This information may help small farmers to maintain soil productivity and its environment.

PENDAHULUAN

Bahan organik mempunyai fungsi yang sangat penting dalam mempertahankan keberlanjutan produksi tanaman, terutama berkenaan dengan fungsinya sebagai penyedia hara (kimia), mempertahankan sifat fisik dan biologi tanah. Tingginya curah hujan dan temperatur akan mempercepat proses dekomposisi bahan organik.

dan ditambah lagi dengan pengangkutan sisa panen keluar plot serta pembakaran sisa panen di lapang akan menambah semakin tidak seimbang C dalam tanah.

Penyediaan lahan pertanian secara tradisional di daerah Lampung pada umumnya adalah dengan sistim tebang bakar dari hutan (baik primer maupun sekunder). Namun setelah kurang lebih 3-4 tahun lahan ditanami dengan tanaman pangan produksi tanaman pangan tersebut telah mengalami penurunan. Salah satu penyebab dari penurunan tersebut adalah berkurangnya ketersediaan bahan organik tanah (BOT). Pengetahuan akan dinamika BOT sangat dibutuhkan dalam perbaikan strategi pengelolaan BOT di daerah tropis.

Bila lahan diusahakan menjadi perkebunan tebu (dengan pembakaran sisa panen) atau padang rumput, C-tanah asal hutan hilang sekitar 50 % pada 8-9 tahun setelah pembakaran, (Hairiah *et.al*, 1995). Hasil penelitian di Brazil (Cerri *et.al.*, 1985) menunjukkan bahwa setelah 50 tahun lahan diusahakan sebagai lahan tebu (tanpa pembakaran residu tanaman), tebu hanya mampu menyumbang C sekitar 29 % dari total C tanah. Pengetahuan tentang pool C yang berhubungan dengan fungsinya sebagai penyubur tanah ini (baik fisik, kimia maupun biologi) merupakan kunci bagi penentuan sistim pengelolaan tanah yang berkelanjutan.

Perubahan hutan menjadi lahan pertanian tidak hanya berpengaruh terhadap keseimbangan C tanah, tetapi juga berpengaruh terhadap konsentrasi gas rumah kaca (GRK) seperti metana (CH₄). Metana merupakan GRK penting yang menduduki urutan kedua setelah CO₂. Setiap tahunnya emisi gas metana sekitar 515 Tg (Houghton *et.al.*, 1992), dimana sekitar 70 % dari jumlah tersebut adalah berasal dari sumber antropogenic. Sekitar 205 Tg (40 % dari 70 %) CH₄ berasal dari usaha pertanian, seperti hasil pembakaran, kotoran hewan, pengusahaan lahan sawah. Sekitar 1 % dari total C di atmosphere adalah berasal dari aktivitas pembakaran vegetasi yang dilepaskan sebagai CH₄ (metana), dan konsentrasi CH₄ yang dilepaskan semakin tinggi bila proses pembakaran berlangsung lebih lama. Pada makalah ini pengukuran konsumsi CH₄ hanya difokuskan pada lahan kering saja.

Penelitian ini dilakukan dalam rangka mencari alternatif terbaik (dengan mengkaji neraca C) bagi pertanian dengan sistim tebang bakar. Selain daripada itu penelitian ini juga bertujuan untuk mencari alternatif bagi peningkatan kemampuan ekosistem dalam menyerap kelebihan C atmosfer dan pada saat yang bersamaan mengurangi emisi C dari ekosistem yang sama.

Salah satu aspek yang dipelajari adalah melihat kemampuan ekosistem daratan dalam mengkonsumsi CH₄ sehubungan dengan variasi intensitas penggunaan lahan.

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat berguna bagi petani pemilik lahan yang relatif sempit dalam mempertahankan produktivitas lahannya, sementara kelestarian lingkungan (tanah) tetap terjaga.

BAHAN DAN METODA

Penelitian ini dilakukan dalam rangka mencari alternatif bagi pertanian dengan sistim tebang bakar (*Alternatives to Slash and Burn*) yang merupakan kerjasama antara ICRAF (Bogor), Puslitbangtan (Bogor), IPB (Bogor) dan Unibraw (Malang). Kegiatannya selama ini dipusatkan di Lampung Utara pada lokasi penelitian Proyek BMSF (Unibraw) dan di Jambi yang mewakili berbagai tipe penggunaan lahan di daerah dataran rendah di Sumatera.

Tiga kelompok sistim penggunaan lahan yang diambil contohnya adalah:

1. hutan: primer dan sekunder,
2. lahan terkelola: lahan berbasis pohon, lahan pertanian tanpa melibatkan pembakaran,
3. lahan terdegradasi: lahan alang-alang dengan aktivitas pembakaran.

Selain daripada itu pengambilan contoh tanah juga dilakukan pada berbagai "umur" lahan tebu yaitu berdasarkan lamanya lahan diusahakan setelah pembukaan hutan yaitu 0 (hutan), 2, 4, 6, dan 10 tahun.

Untuk hutan atau lahan berbasis pohon, kehilangan C dari bagian atas tanaman selama pembakaran dapat diestimasi dengan menetapkan terlebih dahulu produksi biomas (*undestructive*). Biomass pohon diestimasi dengan menggunakan perhitungan allometric yaitu dengan jalan mengukur diameter batang pohon pada ketinggian 1.3 m (*dbh = diameter at breast height*) pada transect dengan luasan 50 x 4 m. Persamaan allometric yang digunakan adalah:

$$Y = 0.030 \times D^{2.87} \quad (\text{Ketterings } et al., \text{ in prep.})$$

dimana,

Y = biomass pohon, kg/pohon

D = *dbh* = diameter pohon, cm

Vegetasi bawah (*understorey*) dan seresah yang belum terdekomposisi diestimasi dengan mengambil

beberapa contoh biomass secara acak masing-masing pada luasan 0.5 x 0.5 m. Biomass hijau vegetasi bawah dan seresah dipisahkan. Contoh tanaman dikeringkan dalam oven pada suhu 70°C selama 48 jam, kemudian ditentukan total C-nya menurut Walkey and Black.

Contoh tanah diambil pada setiap lokasi pada posisi yang sama dengan pengambilan seresah, pada kedalaman 0-5 dan 5-15 cm. Fraksionasi BOT yang dipilih adalah fraksionasi fisik yaitu berdasarkan ukuran partikel ($150\ \mu\text{m} < \text{diameter} < 2\ \text{mm}$) dan berat jenis partikel dalam suspensi silikat, LUDOX ($\text{BJ} < 1.1\ \text{g cm}^{-3}$ = fraksi ringan dan $\text{BJ} > 1.3\ \text{g cm}^{-3}$ = fraksi berat) (Meijboom *et al.*, 1995; Hairiah *et al.*, 1996) dan total C ditetapkan dengan metode oksidasi dari Walkey dan Black.

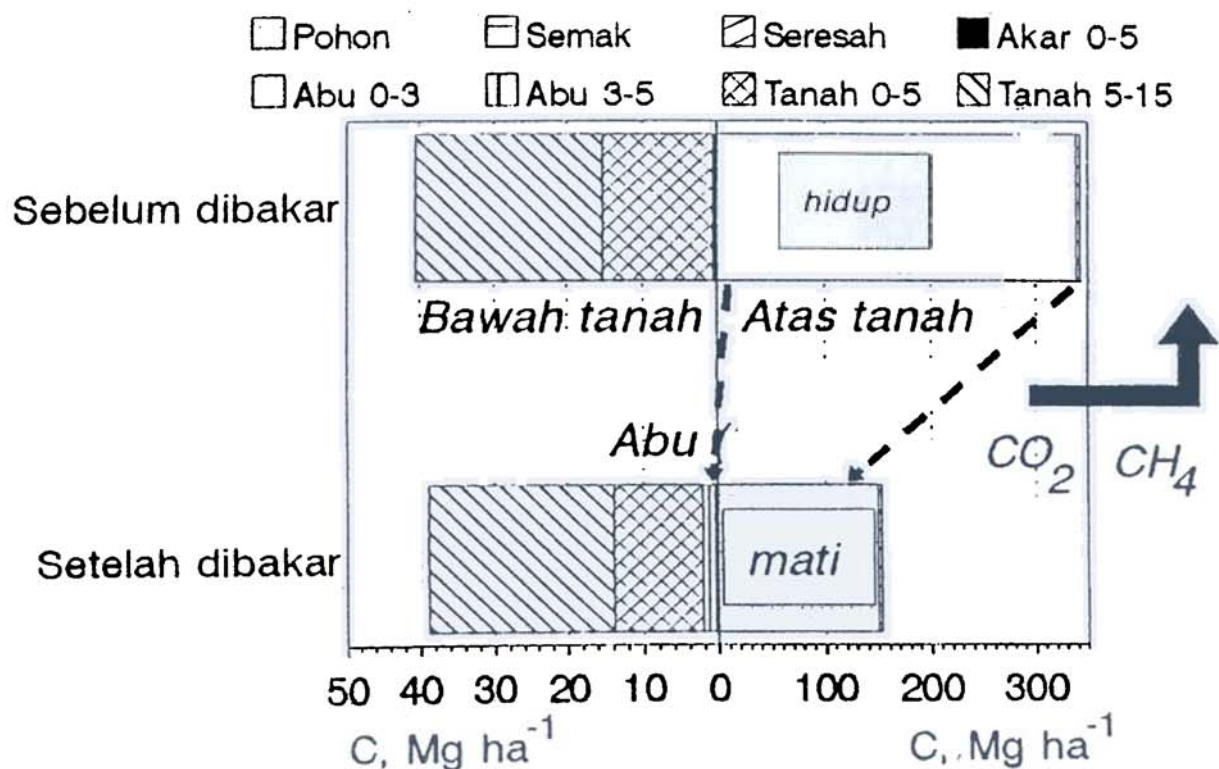
Pada lokasi yang sama contoh udara diambil dengan menggunakan sungkup (berdiameter 20 cm) tertutup dengan interval waktu 10 menit (Murdyarso *et al.*, 1997). Konsentrasi CH₄ yang ada dalam contoh udara gas ditentukan dengan menggunakan gas Khromatografi di laboratorium IPB, Bogor, untuk selanjutnya digunakan dalam penentuan fluks CH₄.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh pembakaran terhadap stok C dan status hara lainnya

Pembakaran hutan sekunder di Lampung Utara, telah mengakibatkan kehilangan stok C asal biomass vegetasi hutan sekitar 50 % dari stok C semula (sekitar 350 Mg ha⁻¹) bahkan hilang sekitar 70-80 % bila ada pengangkutan kayu keluar plot (Gambar 1). Tambahan C ke tanah melalui abu sisa pembakaran hanya berkisar 3 % dari total C tajuk. Stok C dalam tanah tidak dipengaruhi oleh adanya kegiatan pembakaran di atas tanah. Kehilangan stok C yang cukup besar ini akan mengurangi diversitas biota. Brown *et al.* (1998) menunjukkan bahwa konversi hutan menjadi lahan pertanian di beberapa daerah di Afrika telah menurunkan diversitas dan kerapatan biota dari > 16 ordo 9 g m⁻² menjadi < 7 ordo dan 5 g m⁻². Pengurangan diversitas biota ini akan lebih berarti apabila dikaitkan dengan fungsinya dalam mempertahankan produktivitas tanah.

Pembakaran juga berpengaruh terhadap status hara tanah, N dan S hampir seluruhnya hilang ke atmosphere namun pH tanah meningkat sekitar 2 unit dikarenakan adanya peningkatan konsentrasi total kation dapat diper-tukar Ca, Mg dan K meningkat (Van Noordwijk *et al.*, 1998).



Gambar 1. Pengaruh pembakaran hutan terhadap stok C di daerah Lampung utara.

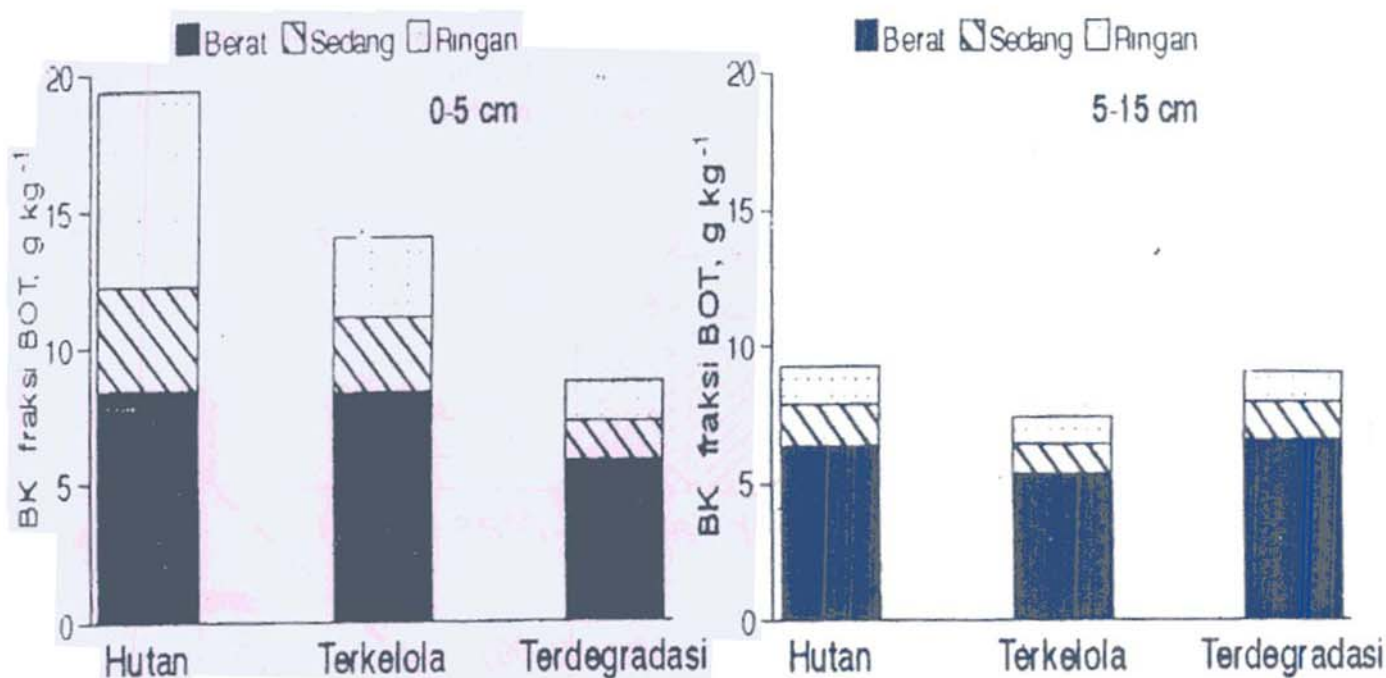
Fraksi ringan bahan organik pada berbagai sistim penggunaan lahan

Hasil fraksinasi BOT menunjukkan bahwa konversi hutan menjadi lahan pertanian menurunkan berat kering fraksi bahan organik tanah (BOT) pada lapisan 0-5 cm, sedang pada lapisan 5-15 cm kurang banyak dipengaruhi oleh perubahan sistim penggunaan lahan (Gambar 2).

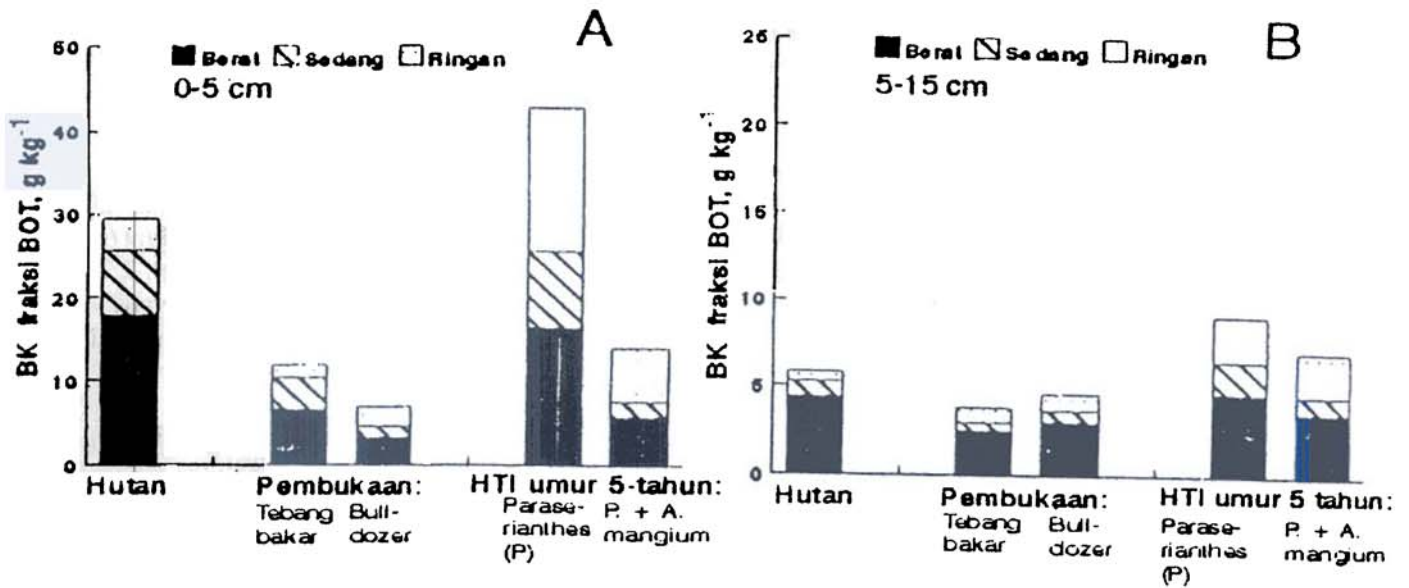
Pengelolaan lahan pertanian dengan benar, yaitu pengelolaan tanpa melibatkan kegiatan pembakaran atau pengangkutan biomass keluar lahan menurunkan berat kering total fraksi BOT sekitar 20-30 % walaupun fraksi ringannya meningkat sekitar 40 % dibandingkan dengan kondisi semula (hutan) pada kedalaman 0-5 cm. Pada kondisi terdegradasi (*Imperata* yang melibatkan aktivitas pembakaran) dimana lahan tersebut dibuka sekitar 8-10 tahun yang lalu (dari hutan sekunder) total berat kering fraksi BOT turun 70-80 %.

Pada lapisan 5-15 cm total berat kering fraksi BOT lebih tinggi daripada yang dijumpai di hutan, hal ini disebabkan oleh peningkatan berat kering fraksi berat BOT. Lebih tingginya berat kering fraksi berat dari lahan terdegradasi daripada hutan, kemungkinan disebabkan oleh adanya kontaminasi dengan mineral tanah pada saat dekantasi.

Teknik pembukaan hutan juga memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap status BOT, terutama terhadap berat kering fraksi ringan pada kedalaman 0-5 cm. Dari gambar 3 dapat dilihat bahwa pembukaan hutan dengan jalan tebang bakar menurunkan berat kering total fraksi sekitar 50 % dari kondisi semula. Penurunan ini kemungkinan disebabkan oleh adanya aliran permukaan atau erosi yang terjadi setelah lahan terbuka. Pembukaan lahan dengan menggunakan buldozer menurunkan total fraksi BOT sekitar 70 %. Penggunaan alat-alat mekanisasi dalam pengolahan tanah telah banyak dibuktikan akan meningkatkan proses dekomposisi BOT (Nye dan Greenland, 1960), dengan demikian status BOT akan cepat menurun. Penanaman pohon sengon (*Paraserianthes falcataria*) meningkatkan berat kering total fraksi BOT pada kedalaman 0-5 cm terutama disebabkan oleh peningkatan berat kering fraksi ringan dan sedang. Namun kombinasi antara *P. falcataria* dengan *Acacia mangium* menurunkan berat kering total fraksi BOT sekitar 50 % dari kondisi hutan (30 g kg⁻¹), hal ini dikarenakan adanya penurunan fraksi berat dan fraksi sedang walaupun fraksi ringannya mengalami peningkatan dari kondisi semula (hutan).

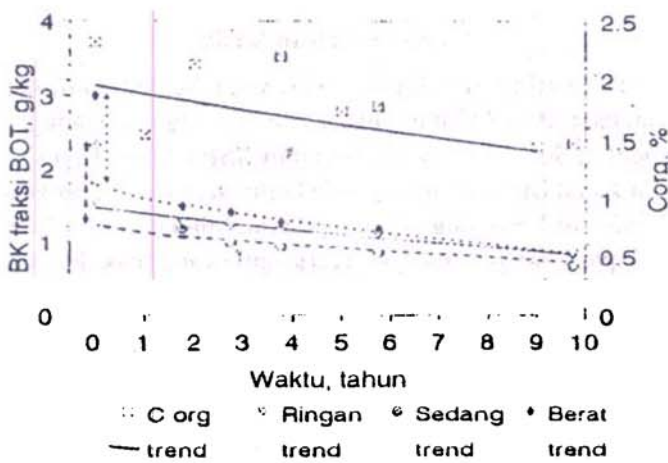


Gambar 2: Berat kering fraksi bahan organik tanah pada kedalaman 0-5 cm dan 5-15 cm dari 3 kelompok sistim penggunaan lahan di daerah Lampung utara.



Gambar 3. Berat kering fraksi BOT (Ludox) dari lahan dengan berbagai tehnik pembukaan lahan.

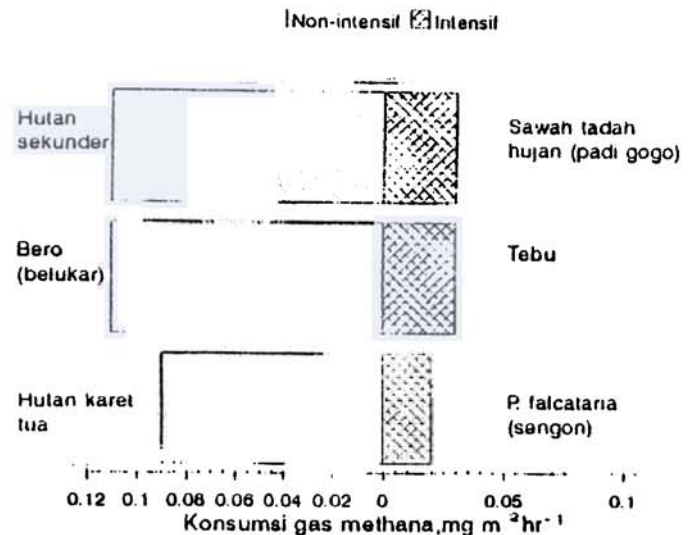
Perubahan hutan menjadi lahan perkebunan tebu juga diamati pada percobaan ini, hasilnya menunjukkan bahwa setelah 10 tahun lahan diusahakan total C tanah penurunan dari kondisi semula (gambar 4). Hasil pengukuran total C tanah tersebut masih menunjukkan variasi yang cukup besar. Hasil pengukuran fraksi BOT dalam Ludox menunjukkan penurunan berat kering ketiga fraksi BOT sangat nyata ($P < 0.001$) yang terjadi pada tahun pertama setelah pembukaan lahan. Hasil ini membuktikan bahwa pengukuran total C sebagai parameter dalam mempelajari dinamika C dalam tanah tidak memberikan informasi yang memuaskan, fraksionasi BOT secara fisik penting untuk dilaksanakan.



Gambar 4. Total C tanah dan berat kering fraksi BOT pada berbagai 'umur' lahan tebu (lamanya diusahakan sebagai lahan tebu dari waktu awal hutan ditebang).

Konsumsi CH₄

Hasil analisis di laboratorium menunjukkan bahwa semua jenis penggunaan lahan yang diamati berperan sebagai pengkonsumsi gas metana; yang berarti bahwa semua lahan tersebut berperan sebagai *sink* metana.



Gambar 5. Hubungan antara tingkat konsumsi gas metana dengan tingkat intensifikasi penggunaan lahan.

Gambar 5 menunjukkan besarnya konsumsi methane oleh beberapa tipe lahan. Nampaknya besar kecilnya tingkat konsumsi metana ini dipengaruhi oleh intensifikasi penggunaan lahan atau tinggi rendahnya po-

pulasi. Selang yang diperoleh dari pengukuran pada 11 tipe penggunaan lahan menunjukkan variasi antara 0.01-0.12 mg m⁻² jam⁻¹. Semakin tinggi tingkat intensifikasi penggunaan lahan, maka semakin rendah tingkat konsumsi metannya hingga mencapai 0.01 mg m⁻² jam⁻¹ (perkebunan kayu manis). Hal ini kemungkinan dapat dijelaskan bahwa lahan yang tidak begitu intensif dipergunakan (misalnya belukar, hutan sekunder, hutan karet, dsb.) dimana kandungan bahan organik tanah dikelola dengan baik, memiliki biodiversitas tanah (bakteri pengoksidasi metana dsb.) yang lebih tinggi daripada lahan yang diusahakan secara intensif. Namun demikian penelitian lebih jauh tentang besarnya populasi bakteri pengoksidasi metana pada berbagai lahan penting untuk dilakukan.

KESIMPULAN

Pembukaan lahan pertanian dengan jalan membakar hutan menyebabkan kehilangan C asal biomas pohon sebanyak 50 % dan meningkat menjadi 72 % bila sisa pohon yang tidak terbakar diangkut keluar pot. Pada lahan pertanian berbasis pohon (misalnya hutan karet rakyat), total fraksi BOT pada kedalaman 0-5 cm hanya terjadi penurunan 20-30% bila dibandingkan dengan kondisi hutan; pada kondisi terdegradasi (padang alang-alang, 8-9 tahun setelah konversi hutan) penurunannya menjadi 70-80 %. Pada kedalaman tanah 5-15 cm, tidak ada perubahan yang jelas fraksi BOT di antara ketiga jenis tipe penggunaan lahan. Total berat kering fraksi BOT pada lapisan 5-15 cm ini hanya sekitar 20-50 lebih rendah dari jumlah yang diperoleh pada lapisan 0-5 cm.

Semakin intensif penggunaan lahan dan makin rendah kemampuan lahan tersebut dalam mengoksidasi atau mengkonsumsi CH₄, sekitar 80-90 % lebih rendah bila dibandingkan dengan kondisi hutan. Sebaliknya jika penggunaan lahan tidak begitu intensif (misalnya hutan karet rakyat) penurunannya hanya terjadi sekitar 25 %.

Informasi ini sangat berguna sebagai dasar dalam menentukan kebijakan dalam sistim penggunaan lahan yang tepat guna agar keberlanjutan produktivitas tanah dapat terjaga.

DAFTAR PUSTAKA

- Brown G, Moller J, Moreno H J, Martinsen H J and Lavelle P, 1998. Land use, soil macrofauna, soil properties and greenhouse gas emissions in selected sites of four SE African countries. Abs. of The earth changing land/ GCTE-LUCC Open Sci. Conf. Barcelona, Spain. March 14-18, 1998.
- Cerri CC, Balesdent J, Feller C, Victoria R and Plencassagne A, 1985. Application du tracage istripique naturel en ¹³C a l'etude de la dynamique de la matiere organique dans les sols.
- Comted Rendus de l'Acad. des Sci. de Paris., T. 300, Serie II 9, 423-428.
- Hairiah, K., G. Cadisch, M. van Noordwijk, A.R.Latief, G Mahabrata, Syekhfani, 1995. Size-density and isotopic fractionation of soil organic matter after forest conversion. In: A.Schulte and D. Ruhiyat (eds.) *Proc. Balikpapan Conf. on Forest Soils* Vol. 2:70-87
- Hairiah K, A R Latif, I G Mahabratha, M van Noordwijk, 1996. Soil organic matter fractionation under different land use types in N. Lampung. *AGRIVITA*, 19 (4): 146-149.
- Houghton JT, Jenkins GT and Ephraums, 1990. Climate change. The IPCC Scientific Assessment. Cambridge Univ. Press. Cambridge.
- Meijboom FW, Hassink J and Van Noordwijk M, 1995. Density fractionation of soil macroorganic matter using silica suspensions. *Soil Biol. Biochem.* 27 (8):1109-1111.
- Murdiyarso D, Hairiah K, Husin Y and Wasrin R, 1997. Greenhouse gasses emission and carbon balance in slash and burn practices. Proc. Regional Workshop for Alternatives to Slash and Burn, Bogor 6-9 June 1995.
- Nye P H and Greenland D J, 1960 The soil under shifting cultivation. Technical communication No 51. Commonwealth Bureau of Soils Harpenden, England. 156 pp.
- Van Noordwijk M, Murdiyarso D, Hairiah K, Wasrin U R, Rachman A, Tomich T P, 1998. Forest soils under alternatives to slash-and-burn agriculture in Sumatera, Indonesia. In: Schulte A and Ruhiyat D (eds.) *Soils of tropical forest Ecosystems*. Springer-Germany. ISBN 3-540-63607-2. pp. 175-185

Ucapan terima kasih

Penelitian ini dapat terlaksana berkat bantuan finansial dari EC melalui BMSF (Biological Management of Soil Fertility) Project dan ASB (Alternatives to Slash and Burn) Project. Kerja keras staff lapang proyek BMSF di Lampung selama pengambilan contoh tanah di lapang sangat dihargai. Kerjasama yang baik dengan alumnus UNIBRAW Ir. Arif Rokhman Latif dan Ir. Gede Mahabratha, MS diucapkan banyak terima kasih.