

DEGRADASI STOK KARBON (C) AKIBAT ALIH GUNA LAHAN HUTAN MENJADI LAHAN KAKAO DI DAS NOPU, SULAWESI TENGAH

Carbon Stock Degradation (C) As Affected by Forest Conversion to Cocoa Land Use In Nopu Watershed, Central Sulawesi.

Anthon Monde¹⁾

¹⁾ Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Tadulako, Jl. Soekarno Hatta KM 5. Palu 94118, Sulawesi Tengah. Telp./Fax: 0451 – 429738. E-mail: anthonmonde@yahoo.com

ABSTRACT

Forest conversion has caused carbon stock to decrease, both in vegetation/crop and in soil. This research aimed to determine the impact of forest conversion to cocoa land use on vegetation and soil carbon stock in Nopu watershed Central Sulawesi. Results of the research showed that the forest conversion to cocoa land use has led to carbon stock decrease both in vegetation and in soil. The carbon stock has yet to fully recover in the 12 years old cacao plantation under agro-forestry system.

Key words: Cocoa land use, carbon stock, forest conversion

PENDAHULUAN

Alih guna lahan hutan menjadi lahan pertanian mengakibatkan berkurangnya jasa lingkungan, hal ini terjadi karena rendahnya kerapatan dan keragaman tanaman baik pada skala lahan usahatani maupun pada skala lansekap (Daerah Aliran Sungai, DAS) dan global. Jasa lingkungan ditingkat lahan antara lain mempertahankan kandungan bahan organik tanah dan hara, sedangkan jasa lingkungan ditingkat lansekap dan global diantaranya terjadinya keseimbangan fungsi hidrologi, mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) dan mempertahankan jumlah karbon tersimpan daratan (stok karbon) serta mempertahankan keanekaragaman hayati. Berkurangnya tingkat layanan lingkungan lahan pertanian berkaitan dengan pengelolaannya terutama berkenaan dengan pemilihan jenis dan sistem pengelolaannya.

Menurut IPCC (2001) dalam Hairiah *et al.*, (2007) dalam kurun waktu 150 tahun konsentrasi CO₂ di atmosfer telah meningkat

sekitar 28% sehingga menyebabkan penghambatan gelombang panas yang dipantulkan bumi ke angkasa, akibatnya suhu atmosfer meningkat 0,5 °C dibanding suhu pada jaman pra-industri. Oleh sebab itu, upaya menurunkan konsentrasi CO₂ di atmosfer melalui perbaikan pengelolaan lahan-lahan pertanian menjadi agenda kegiatan prioritas utama saat ini. Sistem pengelolaan usahatani yang intensif dengan sistem monokultur perlu diubah dengan menganekaragamkan jenis tanaman untuk meredam dampak negatif terhadap pemanasan global. Strategi pengelolaan lahan pertanian harus diubah, karena munculnya masalah pemanasan global yang berdampak luas terhadap kehidupan.

Pengurangan CO₂ di udara oleh tanaman hidup tersebut dinamakan proses sekuestrasi (*C-sequestration*). Proses sekuestrasi C ini terjadi untuk kelangsungan hidup tumbuhan, dimana diperlukan sinar matahari, gas asam arang (CO₂) yang diserap dari udara serta air dan hara yang diserap dari dalam tanah. Melalui proses fotosintesis,

CO₂ diudara diserap oleh tanaman dan diubah menjadi karbohidrat, selajutnya disebarkan ke seluruh tubuh tanaman dan akhirnya ditimbun diseluruh bagian tubuh tanaman. Dengan demikian mengukur jumlah C yang disimpan dalam tubuh tanaman hidup (biomassa) pada suatu lahan dapat menggambarkan banyaknya CO₂ di atmosfer yang diserap oleh tanaman. Sedangkan pengukuran C yang masih tersimpan dalam bagian tumbuhan yang telah mati (nekromasa) secara tidak langsung menggambarkan CO₂ yang tidak dilepaskan ke udara lewat pembakaran. Oleh karena itu untuk mengetahui peran lahan dalam mengurangi gas CO₂ di atmosfer, dapat dilakukan dengan jalan mengukur jumlah C yang tersimpan dalam biomassa pohon dan tumbuhan bawah, C dalam lapisan organik dan C di dalam tanah (Hairiah *et al.*, 2001_b), karena pengukuran tersebut relatif lebih sederhana dan mudah dilakukan.

Hutan alami merupakan penyimpanan C tertinggi bila dibandingkan dengan lahan pertanian. Hairiah dan Rahayu (2007) melaporkan bahwa konversi hutan alami di Jambi menjadi hutan sekunder menyebabkan kehilangan C sekitar 200 Mg ha⁻¹, dimana kehilangan terbesar terjadi di atas permukaan tanah karena banyak pohon yang dibakar. Sedang di dalam tanah kehilangan C hanya terjadi dalam jumlah yang relatif kecil. Bila hutan sekunder dikoversi menjadi lahan pertanian intensif (tanaman semusim monokultur), maka kehilangan C diatas permukaan tanah bertambah lagi sekitar 400 Mg C ha⁻¹ dan di dalam tanah kehilangan sekitar 25 Mg C ha⁻¹. Dalam jangka waktu sekitar 25 tahun, jumlah C yang diserap dan diakumulasikan dalam biomassa pohon dan tanaman lainnya hanya sekitar 5-60 Mg C ha⁻¹ (Tomich *et al.*, 1998). Namun demikian, untuk mosaik sistem penggunaan lahan (SPL) disuatu bentang lahan, tingkat penyimpanan C suatu lahan ditentukan pula oleh rata-rata penyimpanan C per siklus tanam (*Time-*

averaged C stock), sehingga pohon yang pertumbuhannya cepat dapat menyimpan C lebih cepat, tetapi resiko emisi CO₂ akan meningkat pula melalui pembakaran dan peningkatan laju dekomposisi. Kakaonisasi merupakan fenomena ekonomi yang sangat penting di Indonesia sejak terjadinya krisis ekonomi nasional yang terjadi pertengahan 1997. Akibatnya pembukaan lahan hutan terjadi dimana-mana. Sunderlin *et al.* (2000) melaporkan bahwa dalam rentang waktu 1997–1999, pembukaan lahan hutan terbesar terjadi di Kalimantan Barat dan Timur, Riau, Jambi, dan Lampung. Di daerah Sulawesi Tengah juga telah terjadi alih guna lahan hutan, baik pada Taman Nasional Lore Lindu (TNLL) maupun kawasan lindung lainnya. Kondisi ini akan sangat mengganggu keseimbangan lingkungan bila tidak segera ditangani. Masalah pemanasan global, erosi dan banjir serta kekeringan sangat terkait dengan kelestarian hutan.

Agroforestri kakao yang sudah berkembang dapat menjadi sarana konservasi tanah dengan peranan mengintersepsi air hujan dan mengurangi tenaga terpaan (energi kinetik) air hujan. Selain itu, juga dapat membentuk lapisan serasah di permukaan tanah. Agroforestri kakao pada umumnya menggunakan tanaman naungan (*shade tree*), menyebabkan terbentuknya tajuk tanaman yang bertingkat (*sistem multistrata*), dengan sistem ini, kebun kakao dapat menyerupai hutan. Meskipun demikian, terdapat masa kritis dalam sistem usahatani kakao khususnya pada saat tingkat penutupan lahan oleh tanaman kakao dan serasah yang dihasilkannya masih relatif rendah. Kondisi tersebut menjadi sangat beresiko karena kakao banyak ditanam pada lahan berlereng curam, seperti yang terjadi di DAS Nopu. Dengan curah hujan tahunan yang tergolong tinggi (>2500 mm/tahun), memberikan peluang terjadinya degradasi bahan organik yang disebabkan oleh kehilangan melalui erosi.

Penelitian ini akan mengkaji perubahan stok C yang terjadi sehubungan dengan perubahan penggunaan hutan menjadi lahan pertanian khususnya kakao. Menghitung seberapa besar sumbangan lahan kakao terhadap daya serap karbon dari atmosfer dan dampak terhadap karbon dalam tanah. maka dalam tulisan ini disajikan hasil pengukuran jumlah C tersimpan dalam berbagai tingkat keragaman umur lahan berbasis kakao dibandingkan dengan hasil pengukuran di hutan alami.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan mulai bulan Januari sampai dengan Maret 2006. Lokasi penelitian di DAS Nopu dengan luas areal sekitar 260 ha. Daerah ini merupakan salah satu sub DAS dari DAS Gumbasa yang berada dalam wilayah administrasi Kecamatan Palolo, Kabupaten Sigi, Sulawesi Tengah. Letak geografi lokasi penelitian sekitar S: 01° 11' 50,7" dan E: 120° 185' 10,5". Analisis stok karbon dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah UNTAD, Palu.

Pelaksanaan Penelitian

Penentuan plot penelitian didasarkan pada peta penggunaan lahan DAS Nopu dimana pada bagian hilir merupakan daerah yang telah ditanami kakao dengan umur lebih dari 12 tahun dan telah berproduksi, pada bagian tengah DAS tersebut telah ditumbuhi kakao umur antara 3 hingga 8 tahun dan berbagai tanaman semusim seperti jagung kacang tanah, bagian hulunya masih berupa hutan. Sistem pembukaan lahan hutan untuk dialihkan menjadi lahan pertanian yang pada

awalnya ditanami tanaman pangan semusim kemudian secara berangsur-angsur diikuti oleh tanaman perkebunan dan atau disertai tanaman pelindung/tanaman kayu, dimana sistem demikian dapat dikategorikan sebagai agroforestri sederhana (de Foresta dan Michon, 2001).

Data yang akan dikumpulkan dan metode pengumpulannya secara ringkas disajikan dalam Tabel 1.

Untuk Pengukuran biomasa dilakukan pada tiga tahap yakni tegakan pohon (diatas permukaan tanah) serasah (di permukaan tanah) dan akar yang ada dalam tanah (0-5 cm), semuanya dilakukan dalam petak contoh.

Untuk mengukur biomasa vegetasi di atas permukaan tanah dapat dilakukan dengan dua tahap yakni: metode pendugaan dengan menggunakan persamaan allometrik $W = aD^b$ terutama pada pohon yang berdiameter > 5 cm dengan petak contoh berukuran 10 x 10 m. Total biomasa vegetasi dan karbon (C) dalam suatu areal agroforestri dapat dihitung melalui persamaan pendugaan biomasa pohon dan karbon (Tabel 2) sebagai berikut:

Tabel 2. Persamaan Alometrik Untuk Mengetahui Biomasa Pohon-Pohon di Hutan dan di Lahan Pertanian (Brown 1997; Hairiah *et al*, 2007)

Jenis Pohon	Persamaan Alometrik
Pohon umumnya di hutan	$BK = 0,118D^{2,53}$ $BK = 0,11\rho D^{2,62}$
Kopi	$BK = 0,281 D^{2,06}$
Sengon	$BK = 0,0272D^{2,831}$
Bambu	$BK = 0,1312D^{2,2784}$
Pisang	$BK = 0,030D^{2,13}$

Keterangan: BK = Berat kering (kg/pohon)
D = Diameter pohon atau dbh (1,3 m)
 ρ = Berat jenis kayu (g/cm^3)

Tabel 1. Parameter Pengamatan dan Metode Analisis (Hairiah *et al*, 2001_a)

No	Pengamatan Stok Karbon	Metode Analisis
1	Biomasa dan C organik vegetasi (t/ha)	Pengukuran dilapang dan laboratorium
2	Total masa dan karbon serasah/tan penutup tanah (t/ha)	Plot Kuadrat
3	Total karbon tanah pada kedalaman 0-10 cm (t/ha)	Walkey dan Black

Estimasi jumlah C tersimpan dalam pohon/vegetasi per petak atau per hektar dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Jumlah C tersimpan (t/ha)} = N_{\text{pohon}} \times W_{\text{pohon}} \times C_{\text{pohon}}$$

dimana :

N = jumlah pohon per ha

W = Total biomasa pohon (kg/pohon)

D = diameter batang pohon setinggi dada orang dewasa (dbh = 1,3 m)

C = kadar karbon pohon (kg/pohon) rata-rata 0,46-0,50

Untuk estimasi biomasa pohon kakao dipilih persamaan alometrik tanaman kopi karena kemiripan struktur pohon kedua jenis tanaman tersebut. Persamaan yang digunakan untuk estimasi biomasa berat kering (BK) tanaman kakao dengan diameter >5 cm adalah $BK = 0,281 D^{2,06}$. Ukuran plot yang digunakan untuk pengamatan biomasa tanaman kakao 20 m x 100 m.

Selanjutnya untuk pengukuran biomasa tumbuhan bawah atau rerumputan dilakukan dengan petak contoh ukuran 2 x 2 m, dimana masing-masing jenis yang ada dalam petak contoh diambil dengan bobot yang sama misalnya 200 g. Contoh tersebut dikering dalam oven dengan suhu 70° C selama 2 kali 24 jam (Hairiah *et al.*, 2002).

Pengukuran biomasa serasah baik yang halus maupun yang kasar dilakukan dengan metode kuadrat berukuran 0,5 x 0,5 m. Selain mengumpulkan semua serasah yang ada diatas tanah juga dikumpulkan serasah halus yang ada pada kedalaman 3 cm dari permukaan tanah yang berupa akar-akar halus yang telah lapuk yang lolos ayakan 2 mm.

Sedangkan yang dikategorikan dengan serasah kasar adalah semua sisa tanaman yang belum terdekomposisi termasuk pohon mati berdiameter < 5 cm dan pajang < 5 m, dan ranting serta daun yang tidak terbakar (Hairiah *et al.*, 2001_b). Selanjutnya contoh serasah yang telah dikumpulkan tersebut dikering udarakan beberapa hari lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 70° C selama 2 kali 24 jam.

Pengukuran biomasa akar dilakukan dengan metode blok tanah (Brady, 1996) dengan ukuran 10 x 10 x 10 cm pada kedalaman 0 – 30 cm dengan prosedur sebagai berikut: 1) Tanah dan akar dipisahkan dengan melakukan pengayakan basah, 2) akar halus (fine root) berdiameter < 2mm dan akar kasar (coarse root) dengan diameter >2 mm dipisahkan dan dicuci, 3) Akar hidup dan mati dipisahkan berdasarkan penampakan visual dan sifat teksturnya

Sampel akar dengan bobot 100 g pada masing-masing kategori dikeringkan dalam oven selama 2 kali 24 jam pada suhu konstan 70° C, kemudian ditimbang untuk menentukan bobot biomasa akar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karbon Pohon dan Tanaman

Hasil pengamatan rata-rata total karbon pada masing-masing penggunaan lahan disajikan pada Tabel 3. Melalui hasil analisis diketahui bahwa lahan hutan memiliki total karbon lebih tinggi dan berbeda nyata dibanding dengan total karbon pada penggunaan lahan kakao pada berbagai tingkatan umur.

Tabel 3. Total Biomasa dan Stok Karbon Lahan Hutan dan Lahan Kakao Pada Berbagai Tingkatan Umur

Penggunaan Lahan	Total Biomasa kering tegakan (t/ha)	Total Karbon (C) tegakan (t/ha)
Hutan	604.98 a	278.29
Kakao ≤3 thn	11.06 b	5.09
Kakao 7 thn	25.54 bc	11.75
Kakao-Agroforestri 7 thn	35.16 bc	16.17
Kakao > 12 thn	60.22 cd	27.70
Kakao-Agroforestri > 12 thn	68.86 d	31.68

Keterangan : Nilai rata-rata yang diikuti oleh huruf yang sama, tidak berbeda nyata menurut uji jarak berganda Duncan α 0.05

Mencermati data hasil pengamatan dan analisis dapat dipastikan bahwa hutan memiliki kapasitas serapan karbon yang jauh lebih besar dibanding dengan sistem pertanian. Hal ini disebabkan oleh kerapatan pohon/vegetasi lahan hutan sangat tinggi. Sebaliknya pada sistem pertanaman kakao yang biasanya dibarengi dengan tanaman pelindung, umumnya ditanam dengan jarak tanam 3 m x 3 m kapasitas pengikatan karbonnya relatif lebih rendah. Namun demikian semakin besar tanaman kakao biomasa semakin meningkat dan daya tampung karbon menjadi semakin tinggi.

Sesuai dengan hasil uji jarak berganda Duncan diketahui bahwa lahan hutan memiliki total karbon lebih tinggi dan berbeda nyata dibanding total karbon pada semua penggunaan lahan untuk lahan kakao. Sistem pertanaman Kakao agroforestri yang telah berumur lebih dari 10 tahun juga memiliki total karbon lebih tinggi dan berbeda nyata dibandingkan dengan lahan pertanaman kakao lainnya. Pada lahan kakao monokultur yang telah berumur >10 tahun memiliki total karbon berbeda nyata dibanding dengan tegakan kakao umur ≤3 tahun, tetapi tidak berbeda nyata dengan kakao umur 6-7 tahun baik monokultur maupun kakao agroforestri. Total karbon tegakan kakao umur 6-7 baik monokultur maupun sistem agroforestri dan kakao umur ≤3 tahun masing-masing tidak berbeda nyata.

Meskipun pertanaman kakao telah berumur lebih dari 12 tahun dan ditanam dengan sistem agroforestri, nampaknya dalam hal serapan karbon belum dapat mendekati serapan karbon hutan, terlebih lagi bila pohon pelindung yang digunakan adalah pohon yang pertumbuhannya tidak besar seperti dadap, glisideae (gamal) ataupun pohon buah-buahan dan lainnya.

Karbon Serasah

Hasil pengamatan dan analisis biomasa dan karbon serasah pada lahan hutan dan berbagai tingkat umur tanaman kakao disajikan pada Tabel 4. Total karbon serasah pada lantai lahan hutan jauh lebih banyak dan berbeda nyata dibandingkan dengan lahan yang ditanami kakao. Total serasah pada setiap tingkatan umur kakao tidak berbeda nyata satu dengan lainnya. Meskipun demikian terjadi peningkatan jumlah serasah dengan bertambah besarnya tanaman kakao, terutama bila ditanam dengan sistem agroforestri. Jumlah serasah pada permukaan tanah sangat mempengaruhi penutupan permukaan lahan pada masing-masing penggunaan lahan. Ada korelasi positif antara jumlah serasah persatuan luas dengan tingkat penutupan lahan, artinya semakin bertambahnya jumlah serasah yang ada dipermukaan lahan akan mengakibatkan meningkatnya prosentase penutupan permukaan tanah (Monde *et al.*, 2008).

Tabel 4. Total Biomasa dan Stok Karbon Serasah dan Rerumputan Lantai Lahan Hutan dan Lahan Kakao pada Berbagai Tingkatan Umur

Penggunaan Lahan	Total Biomasa kering (t/ha)	Stok Karbon (t/ha)
Hutan	32,05 b	16,03b
Kakao ≤3 thn	0,89 a	0,45 a
Kakao 7 thn	2,46 a	1,23 a
Kakao -Agroforestri 7 thn	3,46 a	1,73 a
Kakao > 12 thn	4,16 a	2,08 a
Kakao-Agroforestri > 12 thn	6.74 a	3,37a

Keterangan : Nilai rata-rata yang diikuti oleh huruf yang sama, tidak berbeda nyata menurut uji jarak berganda Duncan α 0.05

Karbon Organik Tanah

Secara umum nampak bahwa alih guna lahan hutan menjadi lahan kakao menyebabkan terjadinya penurunan kadar C organik (Tabel 5). Kondisi ini terjadi karena sebagian telah terangkut oleh erosi, aliran permukaan, hilang dalam bentuk gas dan diperparah lagi oleh tidak adanya usaha pemupukan organik untuk mensuplai karbon ke dalam tanah. Status karbon organik tersebut dalam tanah yang ditanami kakao rendah hingga sedang. Kandungan C organik lahan hutan relatif lebih tinggi dan berbeda nyata dibanding dengan kakao umur 6-7 tahun dan >10 tahun baik monokultur maupun agroforestri, tetapi tidak berbeda nyata dibanding dengan kakao umur <3 tahun.

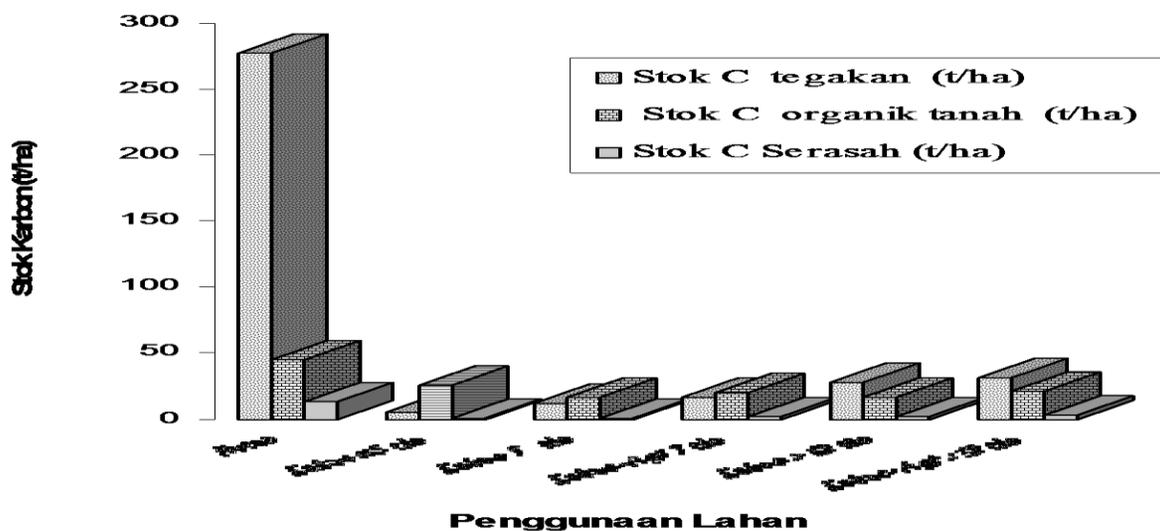
Stok karbon pada lahan hutan umumnya sangat tinggi baik dalam tubuh vegetasi, dalam tanah ataupun dalam bentuk serasah, dibandingkan dengan lahan kakao. Ini berarti bahwa lahan hutan sangat efektif menyerap dan menyimpan karbon dibandingkan lahan pertanian.

Secara umum dinamika stok karbon vegetasi, serasah dan karbon dalam tanah disajikan pada Gambar 1. Stok karbon yang berada pada tubuh tanaman yakni dalam batang, ranting, daun, bunga dan buah. Sementara stok karbon yang tersimpan dalam tanah dalam bentuk bahan organik relatif tinggi dalam lahan hutan sementara pada lahan kakao relative rendah yakni sekitar 16- 25 t/ha (1,61 %- 2,56%).

Tabel 5. Perubahan Stok Karbon dalam Tanah pada Lahan Hutan dan Lahan Kakao pada Berbagai Tingkatan Umur

Penggunaan Lahan	Kadar C Organik (%) Tanah	Total C Organik (t/ha) Tanah pada Kedalaman 0-10 cm
Hutan	4,52 a	45,2 a
Kakao ≤3 thn	2,56ab	25,6ab
Kakao 7 thn	1,61 b	16,1 b
Kakao-Agroforestri 7 thn	1,97 b	19,7 b
Kakao > 12 thn	1,64 b	16,4 b
Kakao-Agroforestri >12 thn	2,14 b	21,4 b

Ket : Nilai yang diikuti oleh huruf yang sama dalam satu kolom, tidak berbeda nyata menurut uji jarak berganda Duncan α 0.05

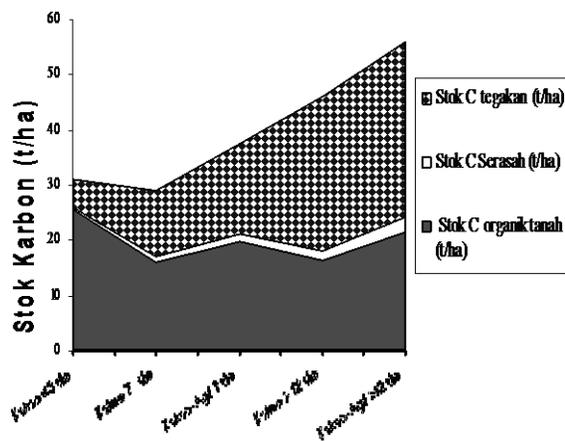


Gambar 1. Stok Karbon Tegakan, Serasah dan Bahan Organik Tanah pada Berbagai Penggunaan Lahan

Rendahnya kandungan bahan organik pada lahan pertanian karena adanya pengelolaan yang dilakukan manusia (Sanchez, 1993; Sinukaban, 2007). Sementara stok karbon yang berada di atas permukaan tanah dalam bentuk serasah (daun, batang/ranting, bunga dan buah) yang telah mati dan rerumpunan umumnya lebih tinggi pada lahan hutan dibanding dengan yang terdapat pada lahan kakao.

Menurut Amelia (2006) hutan dapat menghasilkan serasah sebanyak 32,05 t/ha/tahun. Terjadinya akumulasi karbon/bahan organik dalam kurun waktu lama dan tingginya kerapatan vegetasi memungkinkan lahan hutan memiliki kandungan karbon serasah lebih tinggi dibanding dengan lahan pertanian. Sementara pada lahan kakao keberadaan serasah sangat dinamis karena adanya pengelolaan oleh pemilik lahan pertanian, dengan demikian proses pelapukan serasah berlangsung lebih cepat. Kondisi tersebut mengakibatkan karbon organik mudah hilang dari lahan akibat penguapan maupun kehilangan melalui erosi.

Apabila dilihat dari penggunaan lahan menurut tingkatan umur tanaman kakao (Gambar 2), nampak bahwa stok karbon tanaman kakao dan serasah yang dihasilkan berbanding lurus dengan semakin besarnya tanaman kakao. Sebaliknya kandungan karbon organik tanah terus menurun dengan semakin bertambahnya umur kakao, baik yang ditanam dengan monokultur maupun yang ditanam dengan system agroforestr. Hal ini terjadi karena adanya pengelolaan oleh petani sehingga kandungan bahan organik tanah semakin menurun, dimana aliran permukaan dan erosi yang terus terjadi dalam lahan pertanian dan laju dekomposisi yang tinggi akibat berubahnya mikro iklim.



Berbagai Umur Kakao

Gambar 2. Stok Karbon Tegakan, Serasah dan Bahan Organik Tanah Pada Berbagai Umur Kakao

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Biomasa dan stok karbon vegetasi berkurang drastis setelah lahan hutan dialihkan menjadi lahan kakao.

Bertambahnya umur tanaman kakao diikuti dengan semakin meningkatnya biomasa dan stok karbon, meskipun hingga umur 12 tahun belum menyamai biomasa dan stok karbon hutan.

Biomasa dan stok karbon serasah berkurang drastis setelah lahan hutan dialihkan menjadi lahan kakao.

Kandungan dan total bahan organik tanah menurun hingga 50% setelah lahan hutan dialihkan menjadi lahan kakao.

Saran

Untuk meningkatkan stok karbon pada lahan kakao sebaiknya dilakukan dengan sistem agroforestri

Untuk meningkatkan kandungan bahan organik tanah maka perlu dilakukan pengolahan serasah yang dihasilkan tanaman kakao menjadi sumber pupuk organik, dimana selama ini serasah tersebut dibuang dari lahan atau dibakar.

DAFTAR PUSTAKA

- Amelia T. 2006. *Pendugaan Produktivitas Serasah Selama Musim Hujan pada Tegakan Hopea Bancana dan Shorea Balangeran di Hutan Penelitian Darmaga Bogor. Jawa Barat*. Skripsi Dept. Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.
- Brady MA. 1996. *Effect of Vegetation Changes on Organic Matter Dynamics in Three Control Peat Deposits in Sumatera, Indonesia*. In: Rirely JO and SE Page (eds). Proceedings of the International Symposium on Biodiversity Environmental Importance and Sustainability of Tropical Peat and Peatland Held in Palangkaraya, Central Kalimantan, 4-8 September 1995.
- Brown S. 1997. *Estimating Biomass Change of Tropical Forest*. A Forest Resources Assessment Publication. FAO Forestry Paper 134. Roma.
- de Foresta H dan G Michon. 2001. *Creation and Management of Rural Agro-Forests in Indonesia: Potential Applications in Africa*. in: AM Hadik (Ed). Tropical forest, people and food. Bio-cultural Interaction and Application to Development. UNESCO MAB Series, No 13, UNESCO and Parthenon Publishing Group.
- Hairiah K., SM Sitompul, M Van Noordwijk, C Palm. 2001a. *Carbon Stocks of Tropical Land Use System as Part of The Global C Balance; Effects of Forest Conversion and Option For Clean Development Activities*. ASB Lecture Note 4A. ICRAF, Bogor, 49pp.
- Hairiah K., SM Sitompul, M van Noordwijk, C Palm. 2001b. *Method For Sampling Carbon Stocks Above and Below Ground*. ASB Lecture Note 4B. ICRAF, Bogor, 23 pp.
- Hairiah K, Widiyanto, SR Utami dan B Lusiana. 2002. *Wanulcas Model Simulasi untuk Sistem Agroforestri*. ICRAF. Southeast Asia Regional Research Program, Bogor.
- Hairiah K., S Rahayu . 2007. *Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan*. World Agroforestry Centre-ICRAF, SEA Regional Office, University of Brawijaya, Indonesia 77p.
- Hairiah K., S Rahayu, Berlian dan M van Noordwijk. 2007. *Mitigasi Emisi Karbon ke Atmosfir Menggunakan Agroforestry*. Dalam: K Murti Laksono, F Agus, SD Tarigan, Ai Dariah, NL Nurida., H Santoso, N Sinukaban dan AN Gintings, Prosiding Seminar dan Kongres Nasional MKTI VI. Cisarua-Bogor, pp 357-370
- Monde A, N Sinukaban, K Murti Laksono dan N H Pandjaitan, 2008. *Dinamika Kualitas Tanah, Erosi dan Pendapatan Petani Akibat Alih Guna Lahan Hutan menjadi Lahan Kakao di DAS Nopu, Sulawesi Tengah*. J. Forum Pascasarjana IPB. Sekolah Pascasarjana IPB, Bogor, pp. 215-225.
- Sanchez PA. 1993. *Sifat dan Pengelolaan Tanah Tropika*. Penerbit ITB Bandung. Terjemahan: *Properties and Management of Soils in The Tropics*. John Wiley & Sons, Inc.
- Sinukaban N., 2007. *Pengaruh Penutupan Mulsa Jerami Terhadap Aliran Permukaan, Erosi dan Selektivitas Erosi*. Dalam: Sinukaban N. *Konservasi Tanah dan Air Kunci Pembangunan Berkelanjutan*. Direktorat Jenderal RLPS, Dept. Kehutanan RI. Pp46-60
- Sunderlin WD, IAP Resosudarmo, E Rianto, and A Angelsen. 2000. *The Effect of Indonesia's Economic Crisis on Small Farmers and Natural Forest Cover in Outer Island*. MacArthur Foundation. Central International Forest Organization Research (CIFOR), Bogor.
- Tomich TP, M van Noordwijk, S Budisudarsono, A Gillison, T Kusumanto, D Murdiyarso, F Stolle and AM Fagi, 1998. *Alternative to Slash and Burn in Indonesia: Summary Report and Synthesis of Phase II*. ICRAF South East Asia, Bogor.
- Verstraete W. 1989. *Soil Microbial Ecology*. State University of Ghent.