

**LAYANAN LINGKUNGAN AGROFORESTRI BERBASIS KOPI: Cadangan karbon dalam biomasa pohon dan bahan organik tanah (studi kasus dari Sumberjaya, Lampung Barat)**

*(ENVIRONMENTAL SERVICES OF COFFEE- BASED AGROFORESTRY SYSTEM: Carbon Stock in Tree Biomass and Soil Organic Matter (Case Study from Sumberjaya, West Lampung) )*

Kurniatun Hairiah<sup>1)</sup>, Subekti Rahayu<sup>2)</sup>, dan Berlian<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Universitas Brawijaya, Fakultas Pertanian, Jurusan Tanah, Malang 65145 ; <sup>2)</sup> World Agroforestry Centre, ICRAF S.E. Asia, Bogor P.O.Box 161, Bogor 16001; <sup>3)</sup> Alumni Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang

**ABSTRACT**

Loss of carbon (C) stocks from terrestrial ecosystems continues to be a significant contributor to the increasing concentrations of greenhouse gases in the atmosphere. Forest conversion to intensive agricultural systems leads to a reduction of ecosystem C stocks, mainly due to removal aboveground biomass as harvest and loss of C as CO<sub>2</sub> through farm activity such as burning and decomposition of organic materials. We estimated the C sequestered by vegetation derived initially by complete land clearing, based on C stored in the biomass, necromass and in the soil as soil organic matter (SOM). This research was conducted in 1998 and 2001/2002 in agroforestry gardens in Sumberjaya (West Lampung). The purpose of this research was (1) to estimate the C stock in agroforestry coffee based system, (2) to measure the C stock of shade trees in coffee based agroforestry systems, (3) To measure the soil C stock. The measurements were done along Way Besai catchment covering five type of land uses i.e. Remnant forest, coffee based agroforestry system (multistrata coffee system), shaded- coffee system, and monoculture (sun) coffee system. Agroforestry systems in Sumberjaya maintain above-ground C stocks of about 18 – 21 Mg ha<sup>-1</sup> compared to 10 Mg ha<sup>-1</sup> for sun coffee, and 195 Mg ha<sup>-1</sup> for remnant forest. The soil C stock in the agricultural system was 50% lower than that in the forest (64 Mg ha<sup>-1</sup>). The annual C accumulation rate of the coffee-based systems was about 0.9 Mg C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, and 0.6 Mg ha<sup>-1</sup> for shaded coffee systems. As a part of Clean Development Mechanism,

further activity on identification of tree diversity and C stock of different of agroforestry types in Indonesia is still needed.

Keywords: Carbon Stocks, Coffee based Agroforestry Systems, Shaded coffee

**ABSTRAK**

Pengurangan cadangan karbon (C) pada ekosistem daratan menyebabkan konsentrasi gas-gas rumah kaca (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) meningkat. Alih guna lahan hutan menjadi lahan pertanian menyebabkan penurunan cadangan C dalam ekosistem, terutama disebabkan oleh adanya pemanenan biomasa pohon, hilang sebagai gas CO<sub>2</sub> melalui kegiatan pertanian misalnya lewat pembakaran dan dekomposisi bahan organik. Pengurangan CO<sub>2</sub> di atmosfer oleh vegetasi biasanya diestimasi melalui pengukuran cadangan karbon (C) yang ada dalam biomasa tanaman, nekromasa dan di dalam tanah sebagai bahan organik tanah (BOT). Penelitian ini dilaksanakan di Sumberjaya (Lampung Barat) dalam 2 tahap yaitu pada tahun 1998 dan 2001/2002. Tujuan dari penelitian ini adalah (1) Mengestimasi cadangan C dalam sistem agroforestri berbasis kopi; (2) Mengestimasi besarnya cadangan C dari pohon penayang dalam sistem agroforestri berbasis kopi; (3) Mengetahui besarnya sumbangan BOT terhadap cadangan C dalam sistem agroforestri. Pengukuran dilakukan pada lima sistem penggunaan lahan (SPL) yaitu hutan alami, semak belukar, agroforestri kopi dengan berbagai jenis pohon penayang (kopi multistrata),

agroforestri kopi dengan penaung *Gliricidia* (kopi naungan) dan kopi monokultur (tanpa pohon penaung). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa agroforestri berbasis kopi di Sumberjaya cukup berpotensi dalam mempertahankan cadangan C, walaupun besarnya cadangan C yang diperoleh pada sistem tersebut masih jauh lebih rendah dari pada yang dicapai di hutan alami. Besarnya cadangan C di atas tanah pada SPL hutan sekitar  $195 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Cadangan C pada SPL yang kompleks yang diwakili oleh SPL semak belukar dan SPL kopi multistrata rata-rata sekitar 18 hingga  $21 \text{ Mg ha}^{-1}$ , sedang pada agroforestri sederhana (SPL kopi naungan dan SPL kopi monokultur) hanya berkisar antara ( $10 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Cadangan C dalam tanah antar SPL tidak berbeda nyata, namun cadangan C pada tanah lapisan atas di hutan dua kali lebih tinggi ( $64 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) dari pada tanah-tanah di SPL lainnya (rata-rata  $30 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Pohon naungan pada agroforestri kopi multistrata memberikan sumbangan terhadap cadangan C antara 40 - 45 % dari total cadangan C per SPL. Peningkatan cadangan C per tahun untuk SPL multistrata diestimasikan sekitar  $0.9 \text{ Mg ha}^{-1}$ , dan SPL kopi naungan sekitar  $0.6 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Estimasi besarnya cadangan C pada sistem agroforestri di Indonesia masih membutuhkan pengukuran luasan agroforestri yang ada dan identifikasi komponen penyusunnya.

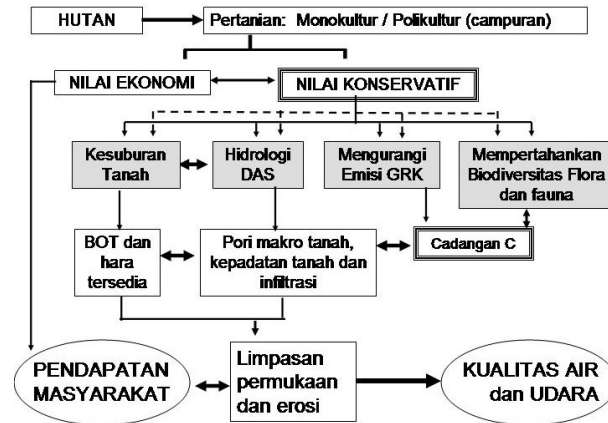
Kata kunci : Cadangan C, Agroforestri berbasis kopi, pohon naungan kopi

## PENDAHULUAN

Bisnis di Indonesia akhir-akhir ini tidak hanya berorientasi pada nilai ekonomi saja tetapi juga lebih berorientasi kepada kelestarian lingkungan melalui *Mekanisma Pembangunan Bersih*, (MPB) atau *Clean Development Mechanism* (CDM). Suatu program yang disepakati bersama untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) yang disertifikasi. Negara-negara maju/industri bersedia untuk membayar insentif kepada negara-negara berkembang yang

mempertahankan fungsi hutan sebagai penyerap  $\text{CO}_2$  di atmosfer. Mekanisma ini memberikan peluang kepada Indonesia untuk meningkatkan devisa negara melalui peningkatan penanaman pepohonan pada lahan-lahan pertanian dan lahan-lahan terdegradasi yang telah diterlantarkan.

Adanya alih guna lahan hutan menjadi lahan pertanian dengan biodiversitas tanaman yang lebih rendah, menyebabkan berkurangnya tingkat layanan lingkungan baik pada skala plot (lahan) maupun pada skala lansekap (Daerah Aliran Sungai, DAS) dan global. Layanan lingkungan tersebut antara lain mempertahankan kesuburan tanah yaitu menjaga kandungan bahan organik tanah dan hara (di tingkat lahan). Layanan lingkungan pada skala lansekap dan global antara lain menjaga keseimbangan fungsi hidrologi, mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) dan mempertahankan cadangan karbon (C) serta keanekaragaman hayati (Gambar 1). Berkurangnya tingkat layanan lingkungan lahan pertanian biasanya dikaitkan dengan jenis dan tingkat keragaman tanaman yang ditanam serta pengelolaannya. Di masa lalu, pengelolaan lahan pertanian selalu difokuskan pada peningkatan nilai ekonomi saja. Namun akhir-akhir ini strategi pengelolaan lahan berubah tidak hanya difokuskan kepada nilai ekonomi saja tetapi juga difokuskan kepada nilai konservatifnya, karena masalah lingkungan banyak bermunculan. Menurut laporan dari IPCC (2001), dalam kurun waktu 150 tahun konsentrasi  $\text{CO}_2$  di atmosfer telah meningkat sekitar 28 %, sehingga suhu atmosfer bumi sekarang menjadi  $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  lebih panas dibanding suhu pada jaman pra-industri. Untuk itu upaya menurunkan konsentrasi  $\text{CO}_2$  di atmosfer terus dilakukan melalui berbagai cara, salah satunya adalah menanam berbagai jenis tanaman pada lahan pertanian secara permanen. Pengukuran peran lahan dalam mengurangi gas  $\text{CO}_2$  di atmosfer, biasanya dilakukan dengan jalan mengukur cadangan karbon (C) yang disimpan dalam biomasa pohon dan tumbuhan bawah, C dalam lapisan organik dan C di dalam tanah (Hairiah *et al.*, 2001a; Montagnini dan Nair, 2004), karena pengukuran tersebut relatif lebih sederhana dan mudah dilakukan.



Gambar 1. Skema dampak alih guna lahan terhadap nilai konservatif lahan

Figure 1. Schematic presentation of impact of land use change on the conservation value

Hutan alami merupakan gudang (cadangan) C tertinggi bila dibandingkan dengan lahan pertanian. Hairiah *et al.* (1997), melaporkan bahwa konversi hutan alami di Jambi menjadi hutan sekunder menyebabkan kehilangan C sekitar  $200 \text{ Mg ha}^{-1}$ , 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 dikonversi menjadi lahan pertanian intensif (tanaman semusim monokultur), maka kehilangan C di atas permukaan tanah bertambah lagi menjadi sekitar  $400 \text{ Mg C ha}^{-1}$  dan di dalam tanah kehilangan sekitar  $25 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . Dalam jangka waktu sekitar 25 tahun, jumlah C yang diserap dan diakumulasikan dalam biomasa pohon dan tanaman lainnya hanya sekitar  $5\text{-}60 \text{ Mg C ha}^{-1}$  (Tomich *et al.*, 1998). Jadi, untuk memulihkan kembali cadangan C seperti yang ditemui semula di hutan membutuhkan pengelolaan yang cermat dan waktu yang lama.

Kecamatan Sumberjaya (Lampung Barat) dengan luas 54,200 ha, merupakan salah satu contoh daerah yang mengalami perubahan penutupan lahan secara cepat selama tiga dasa warsa terakhir. Hutan yang semula luasnya mencapai 60 % dari total luasan yang ada telah berubah menjadi sistem agroforestri berbasis kopi, persawahan dan pemukiman, sehingga hutan yang tersisa hanya tinggal 12% saja (Verbist *e al.*, 2004). Bila ditinjau dari segi ekonomi, sistem agroforestri berbasis kopi atau

system kopi multistrata lebih menarik bagi masyarakat karena dapat meningkatkan pendapatan petani dan menciptakan lapangan pekerjaan (Budidarsono dan Wijaya, 2004; Buana *et al.*, 2005), namun perannya terhadap pengurangan  $\text{CO}_2$  di atmosfer masih belum banyak dilaporkan. Untuk itu kuantifikasi cadangan C pada sistem agroforestri berbasis kopi perlu dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah (1) Mengestimasi cadangan C dalam sistem agroforestri berbasis kopi; (2) Mengestimasi besarnya cadangan C dari pohon penayang dalam sistem agroforestri berbasis kopi; (3) Mengetahui besarnya sumbangan BOT terhadap cadangan C dalam sistem agroforestri.

## BAHAN DAN METODE

Pengukuran cadangan C dilakukan pada berbagai tipe kebun kopi milik masyarakat di Desa Cipta Waras, Trimulyo, Bodong Jaya dan Simpang Sari, Kecamatan Sumberjaya, Lampung Barat. Secara geografis lokasi survei terletak pada  $5^{\circ}01'29,88''$  -  $5^{\circ}08'54''$  LS dan  $104^{\circ}25'46,50''$  -  $104^{\circ}28'854''$  BT. Curah hujan rata-rata tahunan 2614 mm/tahun, suhu udara rata-rata harian sekitar  $21.2^{\circ} \text{ C}$  (Agus *et al.*, 2002). Jenis tanah di lokasi penelitian ini diklasifikasikan sebagai Inceptisol (Dariah *et al.*, 2004), dengan pH agak masam (pH 5.0) dan kandungan bahan organik tanah yang rendah ( $< 2\%$ ) (Hairiah *et al.*, 2004)

Pengukuran cadangan C dilakukan dalam dua tahap: Tahap 1 dilakukan pada bulan September 1998 yang meliputi Desa Cipta Waras, Trimulyo dan Bodong Jaya. Tahap 2 dilakukan bulan November 2001- Juli 2002 di Bodong Jaya dan Simpang sari.

*Tahap 1.* Pengukuran cadangan C dilakukan pada beberapa sistem penggunaan lahan (SPL) yang ditemukan di lokasi survey antara lain: (1) hutan alami, semak belukar umur 1 tahun dan 20 tahun, kopi multistrata yang berumur antara 8 – 21 tahun, kopi naungan umur 2 tahun dan 30 tahun, kopi monokultur berumur antara 1-20 tahun. Pengukuran pada setiap petak minimal dilakukan 2 kali. Kriteria yang dipakai untuk membedakan sistem kopi multistrata dan sistem kopi naungan adalah berdasarkan jumlah jenis tanaman penabung (<5 spesies) dan relatif basal area pohon kopi ( $\leq 80\%$ ) (Hairiah *et al.*, 2004).

*Tahap 2.* Seperti halnya pada tahap 1, pengukuran cadangan C hanya difokuskan pada: (a) hutan alami, (b) kopi multistrata, (c) kopi naungan dan (d) kopi monokultur. Lahan agroforestri yang dipilih adalah lahan kopi yang

telah lama diusahakan (minimal 7 tahun). Untuk mengestimasi peningkatan cadangan C per tahunnya, pengukuran dilakukan pada berbagai umur pohon kopi yang baru dibuka (kurang dari 7 tahun). Pengukuran dilakukan 3 kali.

#### *Estimasi cadangan C di atas tanah*

Cadangan C di atas tanah meliputi C yang disimpan dalam biomasa pohon, tumbuhan bawah (gulma) dan seresah yang ada di permukaan tanah yang telah sebagian mengalami pelapukan maupun yang masih utuh (belum mengalami pelapukan). Pengukuran diawali dengan membuat petak berukuran 40 m x 5 m sesuai dengan protokol Tropical Soil Biology and Fertility (Hairiah *et al.*, 2001b). Petak tersebut dipakai untuk semua pengukuran komponen penyusun lahan (tumbuhan bawah, seresah permukaan, tanah). Biomasa pohon diestimasi menggunakan persamaan alometrik yang telah dikembangkan (Tabel 1). Semua pohon yang ada pada petak pengamatan diukur *dbh*-nya (diameter setinggi dada atau diameter pada 1.3 m dari permukaan tanah).

Tabel 1. Persamaan alometrik untuk mengestimasi biomasa pohon-pohon di hutan dan di dalam agroforestri berbasis kopi

(Table 1. Allometric equation used for estimating tree biomass in natural forest and in the coffee based agroforestry systems)

Jenis pohon	Persamaan Alometrik	Sumber
Pohon umumnya di hutan	$BK = 0.11\rho D^{2.62}$	Kettering, 2001
Kopi	$BK = 0.281 D^{2.06}$	Arifin, 2001
Sengon	$BK = 0.0272 D^{2.831}$	Sugiarto, 2002
Bambu	$BK = 0.1312 D^{2.2784}$	Priyadarsini, 1999
Pisang	$BK = 0.030 D^{2.13}$	Arifin, 2001

#### **Keterangan:**

BK = berat kering (kg/pohon)

D = dbh atau diameter pada 1.3 m (cm)

H = tinggi tanaman (m)

$\rho$  = berat jenis kayu ( $\text{g cm}^{-3}$ ). Database berat jenis kayu ( $\text{kg m}^{-3}$ ) diperoleh dari ICRAF website <http://www.worldagroforestry.org/sea/index.asp>.

Estimasi cadangan C per petak dilakukan melalui perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Cadangan C (Mg ha}^{-1}\text{)} = N_{\text{pohon}} \times Y_{\text{pohon}} \times C_{\text{pohon}}$$

Dimana,

$N_{\text{pohon}}$  = Jumlah pohon per ha

$Y_{\text{pohon}}$  = biomasa pohon,  $\text{kg ha}^{-1}$

$C_{\text{pohon}}$  = Kandungan C pohon rata-rata umumnya 0.46

Tumbuhan bawah (gulma) adalah semua tumbuhan yang diameternya kurang dari 5 cm dan panjangnya kurang dari 50 cm. Biomasa diambil dari 10 titik berukuran 0.5 x 0.5 m<sup>2</sup>. Gulma yang masih hidup dipotong rata dengan permukaan tanah, dijemur, dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 48 jam, dan ditimbang berat keringnya.

Contoh seresah pada permukaan tanah diambil dari 10 titik berukuran 0.5 x 0.5 m<sup>2</sup> pada petak yang sama dengan petak pengukuran pohon. Seresah dicuci dalam air mengalir untuk memisahkannya dengan tanah, dijemur, dioven pada suhu 80°C selama 48 jam, dan ditimbang berat keringnya. Berat kering oven seresah dikoreksi dengan berat tanah yang tersisa setelah pengabuan seresah dalam *muffle furnish* pada suhu 650°C selama 48 jam.

#### *Estimasi cadangan C dalam tanah*

Cadangan C dalam tanah adalah C yang disimpan dalam tanah sebagai bahan organik tanah. Contoh tanah diambil dari 10 titik pengambilan untuk tumbuhan bawah dan seresah. Contoh tanah diambil pada dua kedalaman 0-5 cm dan 5-15 cm. Contoh tanah yang diambil dari semua titik pengambilan per lahan dicampur rata, dihancurkan, diayak dengan mata ayakan 2 mm. Tanah yang lolos ayakan, dianalisis pH<sub>H2O</sub>, pH<sub>KCl</sub>, total C (Walkey dan Black) dan tekstur tanahnya (metoda pipet).

#### *Analisis data*

Semua data yang diperoleh dari pengukuran di lapangan dan di laboratorium diuji keragamannya menggunakan program Genstat 8. Bila ada perbedaan nyata dengan peluang 0.05, analisis dilanjutkan dengan uji t.

## HASIL

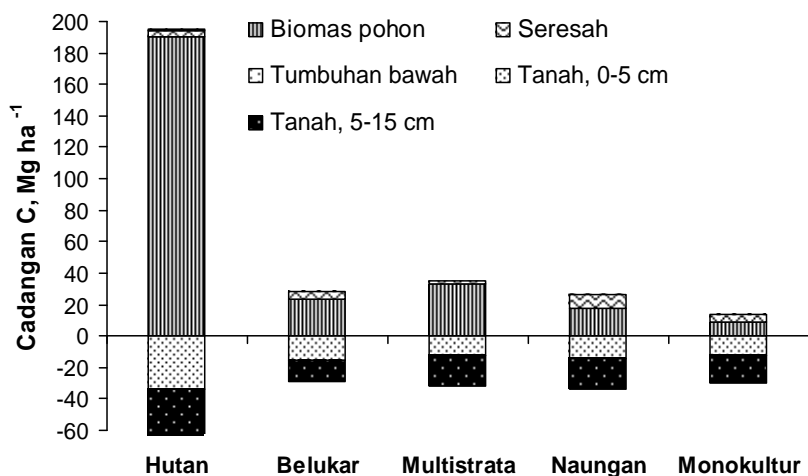
### *Cadangan C*

Total cadangan C yang diukur adalah cadangan C di atas permukaan tanah (pohon, nekromasa, tumbuhan bawah) dan cadangan C di dalam tanah (akar dan bahan organik tanah). Hasil pengukuran total cadangan C pada berbagai SPL tua (umur pohon >15 tahun) di Sumberjaya disajikan pada Gambar 2.

Hutan alami memiliki cadangan C di atas permukaan tanah tertinggi (195 Mg ha<sup>-1</sup>)

dibandingkan dengan SPL yang diuji lainnya. Dari hasil analisis keragaman diketahui bahwa SPL yang berbeda, berpengaruh nyata ( $p < 0.05$ ) terhadap cadangan C di atas permukaan tanah. Cadangan C di atas permukaan tanah pada sistem yang lebih kompleks (SPL semak belukar dan kopi multistrata) lebih tinggi secara nyata ( $p < 0.05$ ) dari pada SPL yang lebih sederhana (kopi naungan dan kopi monokultur). Cadangan C di atas permukaan tanah pada SPL yang lebih kompleks rata-rata sekitar 18 21 Mg ha<sup>-1</sup> (semak belukar) hingga 21 Mg ha<sup>-1</sup> (agroforestri kopi multistrata), sedang pada SPL yang sederhana hanya berkisar antara (10 Mg ha<sup>-1</sup>). Tidak ada perbedaan yang nyata antara cadangan C pada SPL semak belukar dengan SPL kopi multistrata atau antara SPL kopi naungan dengan SPL kopi monokultur. Cadangan C di dalam tanah (kedalaman 0-5 dan 5-15 cm) antar SPL tidak berbeda nyata ( $p > 0.05$ ), meskipun cadangan C pada tanah lapisan atas di hutan dua kali lebih tinggi (64 Mg ha<sup>-1</sup>) dari pada tanah-tanah di SPL lainnya (rata-rata 30 Mg ha<sup>-1</sup>). Mutuo *et al.* (2005) melaporkan bahwa sistem agroforestri di daerah tropika basah berpotensi menyerap CO<sub>2</sub> di atmosfer sekitar 70 Mg C ha<sup>-1</sup> yang diakumulasikan pada biomasa bagian tanaman di atas tanah, dan sekitar 25 Mg C ha<sup>-1</sup> diakumulasikan pada lapisan tanah atas (kedalaman 20 cm).

Jumlah cadangan C pada SPL kopi multistrata yang diperoleh dari penelitian ini lebih rendah bila dibandingkan dengan cadangan C pada SPL kopi multistrata dengan umur yang sama di Ngantang (Kabupaten Malang, Jawa Timur) yaitu sekitar 49 Mg ha<sup>-1</sup> untuk bagian tanaman di atas tanah, dan sekitar 18.5 Mg ha<sup>-1</sup> dari dalam tanah (Arifin, 2001). Namun hasil pengukuran cadangan C agroforestri kopi di Ngantang tersebut masih 30-50 % lebih rendah bila dibandingkan dengan hasil pengukuran di Brasil. Cadangan C pada kopi monokultur (7 tahun) dan agroforestri multistrata berbasis kopi (12 tahun) di Brasil masing-masing sekitar 15 Mg ha<sup>-1</sup> dan 90 Mg ha<sup>-1</sup> (Woomer *et al.*, 2000). Perbedaan tersebut mungkin disebabkan oleh adanya perbedaan struktur, komponen penyusun dan kerapatan populasi pohon pada lahan (Mutuo *et al.*, 2004).



Gambar 2. Cadangan C pada hutan alami, semak belukar, kopi multistrata, kopi naungan, dan kopi monokultur

(Figure 2. Carbon stock in natural forest, bush fallow, multistrata coffee, shaded coffee and monoculture coffee system)

#### **Kontribusi pohon penayang terhadap cadangan C pada agroforestri berbasis kopi**

Cadangan C pada SPL kopi multistrata secara nyata ( $p < 0.05$ ) lebih tinggi dari pada cadangan C pada SPL kopi naungan. Perbedaan tersebut terutama disebabkan oleh jenis dan kerapatan populasi pohon yang ditanam. Pada SPL kopi multistrata, biasanya pohon naungan yang ditanam selain pohon leguminosa seperti dadap (*Erythrina sububrams*) atau kayu hujan (*Gliricidia sepium*) atau lamtoro (*Leucaena leucocephala*), juga ditanam pohon lain yang memiliki fungsi komersial. Selain sebagai penayang, jenis-jenis legume juga memiliki fungsi ekologi yang lain yaitu memfiksasi N dari udara bebas dengan jalan bersimbiosis dengan *rhizobium* (Mutuo *et al.*, 2005). Meskipun tanaman jenis legume ini dapat meningkatkan kesuburan tanah, tetapi petani masih belum mendapatkan keuntungan ekonomi yang memadai. Oleh karena itu secara bertahap petani menanam pohon penayang bernilai ekonomi tinggi lainnya yaitu pohon buah-buahan dan kayu-kayuan (Buana *et al.*, 2005). Pohon buah-buahan yang umum ditanam (dengan frekuensi temuan  $>40\%$ ), antara lain: cempedak

(*Artocarpus integer*), rambutan (*Nephelium lappaceum*), alpukat (*Persea americana*), mangga (*Mangifera indica*), jambu biji (*Psidium guajava*), jengkol (*Archidendron jiringa*), petai (*Parkia speciosa*), belinjo (*Gnetum gnemon*), kayu manis (*Cinnamomum sp.*), cengkeh (*Syzygium aromaticum*), kayu afrika (*Maesopsis eminii*), serta tanaman berumur pendek seperti pepaya (*Carica papaya*) dan pisang (*Musa sp.*) dan lain sebagainya (Budidarsono dan Wijaya, 2004). Jenis-jenis pohon penayang yang ditanam pada suatu SPL kopi tersebut akan mempengaruhi jumlah cadangan C. Semakin tinggi berat jenis kayu pohon yang ditanam maka semakin banyak C yang disimpan dalam biomasa pohon. Berat jenis kayu pohon naungan dari leguminose sekitar ( $0.3 \text{ g cm}^{-3}$ ) lebih ringan dari pada pohon buah-buahan  $0.61 \text{ g cm}^{-3}$  dan kayu-kayuan berkisar antara  $0.65 \text{ g cm}^{-3}$ . Sementara berat jenis kayu pohon komersial  $0.43 \text{ g cm}^{-3}$  (<http://www.worldagroforestry.org/sea/index.asp>)

Kerapatan populasi pohon yang ditanam pada SPL kopi multistrata 40 % lebih tinggi dari pada SPL kopi naungan ( $140 \text{ pohon ha}^{-1}$ ) (Tabel 2). Pada SPL kopi multistrata, sekitar 83 % dari total pohon adalah pohon kopi dan sisanya

adalah pohon non kopi (legume, kayu-kayuan dan buah-buahan). Sedangkan pada SPL kopi naungan 88 % dari total pohon adalah pohon kopi dan sisanya adalah pohon leguminosa saja (umumnya *Gliricidia sepium*). Namun di dalam prakteknya pada SPL kopi naungan juga sering ditanam pohon kayu-kayuan sebagai pagar dan buah-buahan walaupun dalam prosentasi yang relatif lebih kecil dari pada SPL multistrata; hasil yang diperoleh hanya dipakai untuk memenuhi kebutuhan keluarganya sendiri (Wulan, 2002). Besarnya kontribusi pohon kopi dan pohon naungan terhadap cadangan C sistem agroforestri cukup bervariasi dari waktu ke waktu (Gambar 3), karena adanya perbedaan dalam pengelolaan lahan. Pada agroforestri kopi (baik multistrata maupun naungan), perawatan utama yang dilakukan petani adalah pemangkasan cabang pohon (baik pohon naungan maupun pohon kopi), tetapi pemangkasan lebih sering dilakukan pada pohon naungan leguminosa dari pada pohon buah-buahan atau pohon kayu-kayuan (Budidarsono dan Wijaya, 2004). Akibatnya, besarnya biomasa per lahan dan waktu pengamatan cukup bervariasi. Proporsi besarnya kontribusi pohon naungan terhadap cadangan C adalah sekitar 40 % hingga 45 % dari total cadangan C, baik pada SPL kopi multistrata maupun SPL kopi naungan.

#### ***Peningkatan cadangan C pada sistem agroforestri berbasis kopi***

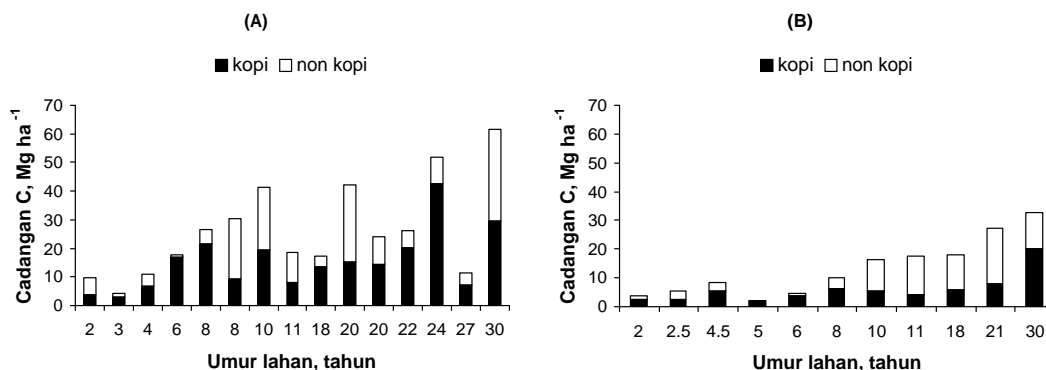
Cadangan C pada SPL kopi multistrata dan SPL kopi naungan meningkat dengan meningkatnya umur lahan setelah konversi hutan menjadi kebun kopi (Gambar 4). Peningkatan umur pohon pada kopi multistrata diikuti oleh peningkatan cadangan C dengan persamaan:  $Y = 2.2276 X^{0.7868}$  ( $R^2 = 0.52$ ),

untuk SPL kopi naungan adalah  $Y = 0.5891X + 0.3934$  ( $R^2 = 0.6891$ ). Dimana Y = peningkatan cadangan C ( $Mg\ ha^{-1}$ ), X = umur pohon kopi (tahun). Berdasarkan persamaan yang diperoleh tersebut di atas, maka dapat diestimasi jumlah peningkatan C per tahun untuk SPL multistrata sekitar  $0.9\ Mg\ ha^{-1}$  dan SPL kopi naungan sekitar  $0.6\ Mg\ ha^{-1}$ . Masa produktif kopi umumnya berkisar 5 tahun hingga 25 tahun, bila pohon tidak terlalu produktif lagi biasanya petani memangkas pohon kopi untuk memperoleh tunas tanaman baru. Akibatnya terjadi fluktuasi rata-rata peningkatan cadangan C per tahunnya. Bila peningkatan cadangan C pada SPL kopi multistrata per tahunnya sekitar  $1.0\ Mg\ ha^{-1}$  maka untuk satu periode hidup kopi (25 tahun) cadangan C diperkirakan sekitar  $25\ Mg\ ha^{-1}$ . Bila dibandingkan dengan kebun karet di Jambi, kebun kopi memiliki cadangan C per siklus hidup yang lebih rendah. Dalam kurun waktu 40 tahun kebun karet memiliki cadangan C sekitar  $116\ Mg\ ha^{-1}$ , dengan jumlah peningkatan C sekitar  $3.5\ Mg\ ha^{-1}\ th^{-1}$ .

Guna meningkatkan cadangan C dalam kebun kopi dan dapat bertahan lama, maka perlu dilakukan penanaman berbagai macam pepohonan yang berumur lebih panjang diantara pohon kopi sehingga pengurangan jumlah  $CO_2$  di atmosfer semakin besar. Namun demikian pemilihan jenis pohon naungan yang cocok bagi pohon kopi memerlukan perhatian yang serius agar tidak terlalu merugikan pohon kopi, yaitu dengan menekan pengaruh negatif sekecil mungkin dan meningkatkan pengaruh positif semaksimal mungkin (Van Noordwijk dan Hairiah, 2001).

Tabel 2. Kerapatan populasi pohon naungan pada SPL kopi multistrata dan kopi naungan  
(Table 2. Population density of shade trees in multistrata coffee and shaded coffee system)

SPL	Total populasi, pohon/ha	Legume		Kayu-kayuan		Buah-buahan	
		Total pohon/ha	%	Total pohon/ha	%	Total pohon/ha	%
Multistrata	228	98	43	18	8	112	49
Naungan	140	120	86	2	1	18	13



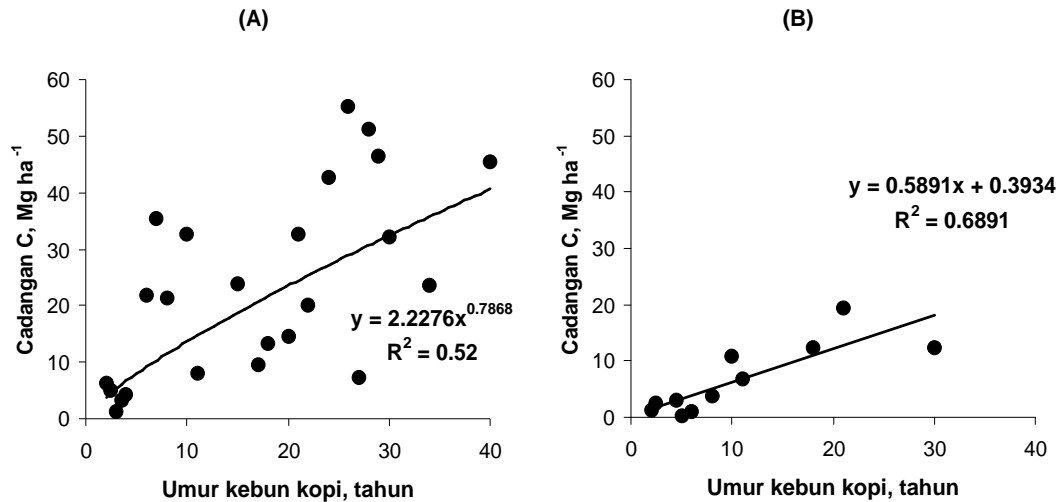
Gambar 3. Cadangan C yang berasal dari pohon kopi dan pohon naungan (non-kopi) pada SPL kopi multistrata (A) dan SPL kopi naungan (B)  
 (Figure 3. Carbon stock in tree biomass of coffee and non-coffee in multistrata coffee system (A) and in shaded-coffee system (B))

### PEMBAHASAN

Agroforestri merupakan salah satu teknik yang bisa ditawarkan untuk mengurangi konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara, karena potensinya yang cukup tinggi dalam menyimpan C, baik dalam biomasa dari berbagai komponen penyusunnya, dan sebagai fraksi stabil dalam bahan organik tanah, serta dalam produksi kayu yang dihasilkan. Sistem ini sangat sesuai untuk diimplementasikan pada daerah-daerah pertanian dan daerah-daerah terdegradasi yang harus dihutankan

kembali. Jumlah rata-rata C yang disimpan dalam sistem agroforestri umumnya adalah sekitar 9, 21, 50, dan 63 Mg C ha<sup>-1</sup> untuk daerah semiarid, subhumid, humid, dan daerah temperate (Montagnini dan Nair, 2004). Untuk agroforestri pada tingkat petani kecil di daerah tropika, penyerapan potensial C adalah sekitar 1.5 hingga 3.5 Mg C ha<sup>-1</sup> th<sup>-1</sup>. Dengan demikian, dalam waktu 20 tahun cadangan C menjadi 70 Mg ha<sup>-1</sup>.





Gambar 4. Peningkatan cadangan C (Mg ha<sup>-1</sup>) pada SPL kopi multistrata (A) dan SPL kopi naungan (B)  
 Figure 4. Increment of biomass C stock in multistrata coffee system (A) and shaded- coffee system (B)

Namun, pada kondisi Sumberjaya cadangan C di atas permukaan tanah pada SPL agroforestri kompleks (kopi multistrata) rata-rata hanya sekitar 18 hingga 21 Mg ha<sup>-1</sup>, sedang pada agroforestri sederhana (SPL kopi naungan) hanya sekitar 10 hingga 12 Mg ha<sup>-1</sup>.

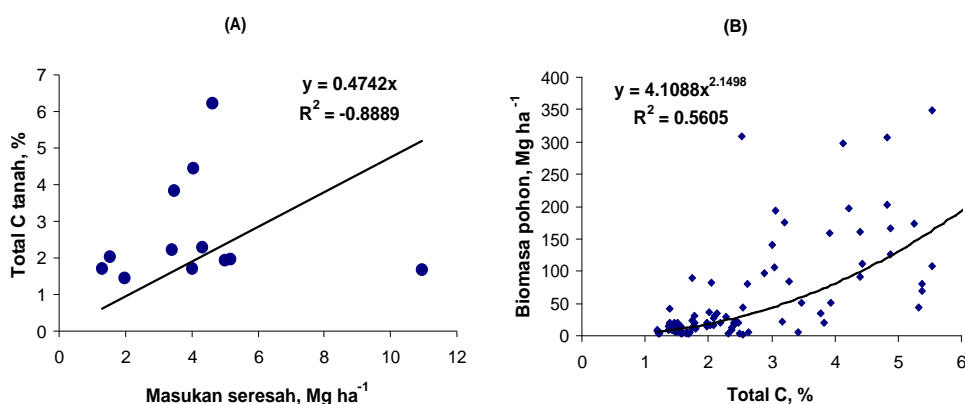
Besarnya cadangan C di atas tanah ditentukan oleh besarnya cadangan C dalam tanah, melalui peran bahan organik tanah dalam mempertahankan kimia tanah (ketersediaan hara), kondisi fisik tanah (mempertahankan berat isi dan aerasi tanah), dan biologi tanah (mempertahankan populasi simbiosis, mengurangi serangan hama dan penyakit) (Mutuo *et al.*, 2005). Hairiah *et al.* (2004) melaporkan bahwa alih guna lahan hutan menjadi SPL agroforestri berbasis kopi di Sumberjaya menurunkan kandungan BOT ( $C_{org}/C_{ref}$ ) di hutan dari 0.7 menurun hingga 0.25, bila lahan dikonversikan ke sistem kopi multistrata. Tetapi bila lahan hutan dikonversikan ke sistem kopi monokultur maka  $C_{org}/C_{ref}$  menjadi sekitar 0.1. Hal ini berarti tanah hutan telah kehilangan C sebesar

1.37 % atau sekitar 37 Mg ha<sup>-1</sup>. Untuk itu peningkatan cadangan C tanah perlu dilakukan.

Upaya pemulihan kembali cadangan C tanah secara permanen dalam sistem agroforestri, sangat dipengaruhi oleh jumlah dan kualitas masukan seresah (Mutuo *et al.*, 2004). Pada kondisi Sumberjaya, masukan seresah setiap tahunnya sekitar 11 Mg ha<sup>-1</sup> untuk hutan alami, sekitar 9.5 Mg ha<sup>-1</sup> untuk SPL kopi multistrata, 6 Mg ha<sup>-1</sup> untuk SPL kopi naungan dan sekitar 4 Mg ha<sup>-1</sup> untuk kopi monokultur (Hairiah *et al.*, 2005; Purwanto *et al.*, 2005). Namun demikian, tingkat dekomposisi di daerah tropika berlangsung lebih cepat dari pada daerah beriklim sedang maka konsentrasi C yang diperoleh tidak terlalu tinggi, hanya berkisar 4 % di hutan dan sekitar 2.5 % untuk SPL berbasis kopi (Gambar 5A). Pencapaian target konsentrasi C tanah tersebut memerlukan masukan seresah secara kontinyu dengan dosis cukup tinggi sekitar 8 hingga 9 Mg ha<sup>-1</sup> (Hairiah *et al.*, 2002) dan waktu yang lama. Pada percobaan ini peningkatan konsentrasi C tanah dari 2 % menjadi 3 % diestimasi akan

meningkatkan biomasa pohon dari 18 Mg ha<sup>-1</sup> menjadi 43 Mg ha<sup>-1</sup> atau hanya meningkatkan cadangan C dari 8 Mg ha<sup>-1</sup> menjadi 20 Mg ha<sup>-1</sup> saja (Gambar 5B). Oleh karena itu untuk mempercepat peningkatan serapan CO<sub>2</sub> dari atmosfer oleh agroforestry, tidak cukup hanya dari peningkatan kandungan C tanah tetapi masih diperlukan peningkatan pertumbuhan pohon melalui perbaikan pengelolaannya; antara lain melalui pemupukan secukupnya (baik secara biologi maupun kimia), pengaturan pola

tanam dan penyiapan tanaman leguminosa baik pada strata atas maupun bawah (Cadisch *et al.*, 1998). Pemilihan pohon Leguminosa (seperti *Gliricidia sepium*) sebagai pohon naungan dalam sistem agroforestri berbasis kopi dapat menambah N ke dalam tanah sekitar 20 kg ha<sup>-1</sup> th<sup>-1</sup> (Hairiah *et al.*, 2004), sehingga akan meningkatkan pertumbuhan pohon yang berarti pula akan meningkatkan serapan CO<sub>2</sub> dari udara Mutuo *et al.* (2005).



Gambar 5. Pengaruh masukan seresah tahunan terhadap total C tanah (A) dan pengaruh total C tanah terhadap biomasa pohon (B) (sumber data masukan seresah Purwanto, 2004)

(Figure 5. Effect of annual litter input on soil C content (A) and effect of soil C on tree biomass (B))

Dari hasil studi ini dapat disimpulkan bahwa Agroforestri umumnya cukup berpeluang dalam meningkatkan devisa negara melalui program CDM, dan sekaligus memberikan layanan lingkungan pada tingkat global. Terlepas dari perdagangan C tersebut diatas, mempertahankan diversitas pepohonan lewat agroforestri pada tingkat lokal dan kawasan memberikan manfaat yang besar dalam mempertahankan pendapatan petani (Budidarsono dan Wijaya, 2004; Suyamto *et al.*, 2006), mempertahankan fungsi hidrologi suatu kawasan (Van Noordwijk *et al.*, 2004) dan mempertahankan biodiversitas baik di atas tanah maupun di dalam tanah (Swift *et al.*, 2004) serta mengurangi terjadinya longsor melalui sebaran perakarannya (Ziemer, 1981). Untuk itu pengukuran jumlah luasan agroforestri dan

identifikasi komponen penyusunnya sangat perlu dilakukan di Indonesia.

## KESIMPULAN

Agroforestri multistrata berbasis kopi di Sumberjaya tidak saja berpotensi untuk konservasi tanah dan air, tetapi juga berpotensi dalam mempertahankan cadangan C, walaupun besarnya cadangan C yang diperoleh pada sistem tersebut masih lebih rendah dari pada yang dicapai di hutan.

Besarnya cadangan C di atas tanah pada SPL hutan sekitar 195 Mg ha<sup>-1</sup>. Cadangan C pada SPL agroforestri kompleks (SPL semak belukar dan SPL kopi mutistrata) rata-rata sekitar 18 hingga 21 Mg ha<sup>-1</sup>, sedang pada

agroforestri sederhana (SPL kopi naungan dan SPL kopi monokultur) hanya berkisar antara ( $10 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Cadangan C di dalam tanah tidak berbeda nyata, namun cadangan C pada tanah lapisan atas di hutan dua kali lebih tinggi ( $64 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) dari pada tanah-tanah di SPL lainnya (rata-rata  $30 \text{ Mg ha}^{-1}$ ).

Pohon naungan pada SPL kopi multistrata memberikan sumbangan terhadap cadangan C antara 40 - 45 % dari total cadangan C per SPL. Peningkatan cadangan C per tahun untuk SPL multistrata diestimasikan sekitar  $0.9 \text{ Mg ha}^{-1}$ , dan SPL kopi naungan sekitar  $0.6 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Estimasi besarnya cadangan C pada sistem agroforestri di Indonesia masih membutuhkan pengukuran luasan agroforestri yang ada dan identifikasi komponen penyusunnya.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Kegiatan Penelitian ini dapat terlaksana berkat dukungan financial dari Alternatives to Slash and Burn, Phase 2 dan ACIAR-ASB3 (Penelitian Tahap 2).

#### DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, J., 2001. Estimasi cadangan karbon pada berbagai sistem penggunaan lahan di Kecamatan Ngantang, Malang, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang, 61pp.
- Buana R Y, Suyanto S, Hairiah K, 2005. Kebun Lindung: Kajian ekologi dan sosio-ekonomi di Lampung Barat. *AGRIVITA*, 27(3): 170-181.
- Budidarsono, S. dan Wijaya, K. 2004. Praktek Konservasi dalam Budidaya Kopi Robusta dan Keuntungan Petani. *AGRIVITA* 26 (1):107-117.
- Hairiah, K., Sitompul, S.M., Van Noordwijk, M. and Palm, C., 2001a. Carbon Stocks of tropical landuse systems 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., Sitompul, S.M., Van Noordwijk, M. and Palm, C., 2001b. Methods for sampling carbon stocks above and below ground. ASB Lecture Note 4B. ICRAF, Bogor, 23pp.
- Hairiah, K., Suprayogo, D., Widiyanto, Berlian, Suhara, E. , Mardiasuning, A., Widodo, R.H., Prayogo, C. dan Rahayu, S., 2004. Alih guna Lahan hutan menjadi lahan agroforestri berbasis kopi: ketebalan seresah, populasi cacing tanah dan makroporositas tanah. *Agrivita* 26(1): 68-80.
- Hairiah, K., Arifin, J., Prayogo, C., Widiyanto dan Sunaryo, 2002. Prospek Agroforestry berbasis kopi sebagai cadangan karbon. *Agroteksos*, 12 (2): 145-150.
- Ketterings, Q.M., Coe, R., Van Noordwijk, M., Ambagau, Y. and Palm, C.A., 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management* 146: 199-209.
- Montagnini, F. dan Nair, P.K.R., 2004. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry systems* 61: 281-295.
- Mutuo, P.K., Cadisch, G., Albrecht, A., Palm, C.A. and Verchot, L., 2005. Potential agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics. *Nutrient cycling in Agroecosystems* 71(1): 43-54.
- Priyadarsini, R. 1999. Estimasi modal C (Karbon-stock), masukan bahan organik dan hubungannya dengan populasi cacing tanah pada sistem wanatani. Program Pascasarjana, Universitas Brawijaya, Malang, 76pp.
- Purnomosidhi, P., Sugiarto, C., Rahayu, S., 2004. Adaptasi berbagai jenis tanaman kayu di lahan petani. ICRAF Research report.

- Sugiarto, C. 2002. Kajian Aluminium sebagai Faktor Pembatas Pertumbuhan Akar Sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nielsen), Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang, 64pp.
- Suyamto DA, van Noordwijk M, Lusiana B and Eka Dinata A. 2006. Way Tenong and Sidrap: Tree Planting and Poverty Alleviation, Indonesia. In: Murdiyarso D and Skutsch M, eds. Community Forest Management as a Carbon Mitigation Option: Case studies. Bogor, Indonesia. Center for International Forestry Research (CIFOR). P. 74-84.
- Tomich, T.P., M. van Noordwijk, S. Budidarsono, A. Gillison, T. Kusumanto, D. Murdiyarso, F. Stolle and A.M. Fagi. 1998. Alternatives to Slash-and-Burn in Indonesia: Summary Report and Synthesis of Phase II. ICRAF South East Asia, Bogor, 139pp.
- Van Noordwijk M and K Hairiah, 2000. Tree-soil-crop interactions. Lecture Note 3, ICRAF, Bogor (<http://www.worldagroforestry.org/sea/publication.asp>)
- Van Noordwijk, M., Rahayu, S., Hairiah, K., Wulan, Y.C., Farida, Verbist B, 2002. Carbon stock assessment for a forest-to-coffee conversion landscape in Sumber-Jaya (Lampung, Indonesia): from allometric equations to land use change analysis. J. Sc. China (special issue on Impacts of land use change on the terrestrial carbon cycle in the Asia Pacific region). Vol 45 (C): 75-86.
- Van Noordwijk, M., Fahmudin, A., Suprayogo, D., Hairiah, K., Pasya, G., Verbist, B. dan Farida, 2004. Role of agroforestry in maintenance of hydrological in water catchment areas. (*In*: Fahmudin, A., Farida, Van Noordwijk, M. (eds.). Hydrological impacts of forest, agroforestry and upland cropping as a basis for rewarding environmental service providers in Indonesia). Proceeding of a workshop in Padang/Singkarak, West Sumatra, Indonesia, 25-28 February 2004. pp 21-35.
- Woomer PL, Palm CA, Alegre J, Castilla C, Cordeiro DG, Hairiah K, Kotto-Same J, Moukam A, Ricse A, Rodrigues V and van Noordwijk M. 2000. Slash-and-Burn Effects on Carbon Stocks in the Humid Tropics. In: R Lal, JM Kimble and BA Stewart (eds.) Global Climate Change and Tropical Ecosystems. Advances in Soil Science. CRC Press, Inc. Boca Raton, FL. USA. pp. 99-115.
- Ziemer R R, 1981. Roots and the stability of forested slopes. Erosion and sediment transport in Pasific Rim steeplands. IAHS Publ no 132.