

MITIGASI PERUBAHAN IKLIM

Agroforestri kopi untuk mempertahankan cadangan karbon lanskap

CLIMATE CHANGE MITIGATION.

Coffee-based agroforestri for maintaining landscape carbon stocks

Kurniatun Hairiah¹ dan Subekti Rahayu²

¹Universitas Brawijaya, Fakultas Pertanian, Malang, ²World Agroforestri Centre,
ICRAF Southeast Asia, Bogor, Indonesia

Email: k.hairiah@cgiar.org atau kurniatunhairiah@gmail.com

RINGKASAN

Tujuan makalah ini untuk mengestimasi: (1) kontribusi agroforestri kopi dalam mempertahankan cadangan karbon di tingkat lanskap, (2) besarnya *time-averaged C stock* agroforestri kopi di Indonesia. Estimasi perubahan cadangan karbon di sub-DAS Kali Konto (Malang, Jatim) dilakukan dengan mengukur cadangan karbon di hutan alami, agroforestri kopi, perkebunan dan tanaman semusim menggunakan metode RaCSA (Rapid Carbon Stock Appraisal), pada Juni-Desember 2008. *Time-averaged C stock* agroforestri kopi multistrata, agroforestri sederhana kopi dan kopi monokultur diestimasi dari pengukuran di Malang, Jember, Lombok Barat, Lampung Barat.

Alih guna hutan menjadi lahan pertanian di sub-DAS Kali Konto (23810.13 ha) selama 15 tahun, menyebabkan kehilangan karbon 25924 Mg th⁻¹ atau setara 1.48 Mg ha⁻¹. Kehilangan karbon tersebut dari hutan alami 1.09 Mg ha⁻¹ th⁻¹, perkebunan 0.25 Mg ha⁻¹ th⁻¹, dan agroforestri berbasis kopi 0.05 Mg ha⁻¹ th⁻¹. Meningkatnya luasan tanaman semusim terjadi perolehan (sequestrasi) karbon hanya 0.03 Mg ha⁻¹ th⁻¹ (3% dari total karbon yang hilang dari hutan), sehingga jumlah perolehan tersebut belum dapat menggantikan kehilangan karbon dari alih guna hutan.

Pengelolaan lahan yang benar sangat menentukan besarnya cadangan karbon. Untuk Indonesia, laju pertumbuhan cadangan karbon pada agroforestri multistrata kopi 0.9–1.86 Mg ha⁻¹ th⁻¹ dan agroforestri sederhana (umumnya milik masyarakat) 0.6–0.97 Mg ha⁻¹ th⁻¹ dan 2.8 Mg ha⁻¹ th⁻¹ di kebun percobaan. Sedang pada kopi monokultur hanya 0.5 Mg ha⁻¹ th⁻¹. Dengan demikian *time-averaged C stock* agroforestri kopi di Indonesia (umur kopi 15 tahun) sekitar 41 Mg ha⁻¹, dan lahan kopi monokultur (12.5 Mg ha⁻¹) sekitar 30 Mg ha⁻¹ lebih rendah.

Kata kunci: Agroforestri kopi, cadangan karbon, hutan alami, *time-averaged carbon stock*

Summary

Aim of this study was to assess: (1) contribution of coffee-based agroforestry system to maintenance of landscape carbon stocks, (2) time-averaged C stock of coffee-based agroforestry system in Indonesia. Carbon stock change in the Kalikonto sub-watershed (Malang regency, East Java) was estimated using RaCSA (Rapid Carbon Stock Appraisal). Plot-level components of carbon stock were measured in June–December 2008 for: 1) degraded natural forest, 2) coffee-based agroforestry system, 3) various plantation types, 4) annual cropping systems. Time-averaged C stock of multistrata agroforestry, simple agroforestry and monoculture coffee systems was assessed for Malang, Jember, West Lombok and West Lampung. Conversion of natural forest to agriculture across the Kalikonto watershed (23810 ha) led to a yearly C loss of 1.17 Mg ha⁻¹ during a 15 years. Carbon lost from natural forest was about 1.09 Mg ha⁻¹ yr⁻¹, tree plantations lost 0.25 Mg ha⁻¹ yr⁻¹. Carbon lost through simplification of coffee-based agroforestry systems was relatively small, about 0.05 Mg ha⁻¹ yr⁻¹. Good land management can improve carbon stocks. In Indonesia, the growth rate of carbon stocks in coffee-based agroforestry multistrata ranged from 0.9 to 1.86 Mg ha⁻¹ yr⁻¹; for simple-shaded coffee agroforestry (mostly owned by smallholder) it ranged from 0.6–0.97 Mg ha⁻¹ yr⁻¹, while for coffee monoculture systems it was about 0.5 Mg ha⁻¹ yr⁻¹. The time-averaged C stock for agroforestry system is around 41 Mg ha⁻¹ (with median age of coffee of 15 years) and for monoculture system about 12.5 Mg ha⁻¹, a difference of nearly 30 Mg ha⁻¹.

Keywords: coffee-based Agroforestry, cadangan stock, natural forest, time-averaged carbon stock

1. PENDAHULUAN

Kopi merupakan salah satu komoditas penting di Indonesia sebagai sumber devisa negara maupun penunjang perekonomian rakyat. Menurut Kustiari (2007) bahwa pada tahun 2004 luas areal perkebunan kopi di Indonesia mencapai 1.3 juta ha yang tersebar di berbagai kepulauan antara lain Sumut dan Sumsel, Bengkulu, Aceh, Lampung, NTT, Sulawesi dan Jawa. Sekitar 80-95% dari total luasan tersebut adalah perkebunan rakyat (Tondok 1999), sehingga perkebunan kopi rakyat juga mempunyai kontribusi penting dalam mempertahankan produksi kopi di Indonesia.

Secara biologi tanaman kopi butuh naungan, sehingga umumnya kopi ditanam dalam sistem campuran (agroforestri) mulai dari sistem campuran sederhana hingga yang kompleks (multistrata) yang menyerupai hutan. Dalam sistem agroforestri sederhana, penanang yang umum ditanam adalah pohon leguminosa seperti dadap (*Erythrina sububrams*), gamal (*Gliricidia sepium*) dan lamtoro (*Leucaena glauca*) yang bermanfaat untuk pakan dan sebagai penyubur tanah sehingga penggunaan pupuk kimia berkurang. Namun banyak pula petani menanam pohon penanang kopi selain leguminose juga non leguminose seperti pohon buah-buahan, timber dan MPTS dengan alasan manfaat ekonomi dan konservasi tanah dan air. Dari hasil penelitian di Sumberjaya (Lampung Barat), sistem agroforestri kopi kompleks berperan penting sebagai daerah penyangga biodiversitas atas tanah seperti burung (*O'Conor et al.*, 2005), mempertahankan biodiversitas bawah tanah seperti cacing tanah dan rayap (Dewi, 2006; Aini, 2006) dan pengendali hama nematoda (Swibawa, 2009).

Tingkat diversitas jenis pohon penanang kopi yang tinggi dan kerapatan populasi yang tinggi pula, serta umur pohon yang beragam maka sistem agroforestri kopi

kompleks berpotensi besar sebagai penyerap karbon diudara (melalui proses fotosintesis) dan penyimpan (cadangan) karbon dalam waktu yang cukup lama (Hairiah dan Rahayu, 2007; Dossa *et al.*, 2007).

Tingkat penyimpanan karbon antar lahan berbeda-beda, tergantung pada keragaman jenis dan kerapatan tumbuhan yang ada, jenis tanahnya serta pengelolaannya (Hairiah *et al.*, 2010). Karbon hilang dari system agroforestri kopi melalui pembakaran dan dekomposisi (IPCC, 2006), atau melalui peniadaan atau pengurangan jumlah penabung kopi (Hairiah *et al.*, 2006). Peningkatan cadangan karbon di suatu lanskap dapat dilakukan dengan mengalih fungsikan lahan berot atau lahan tanaman semusim (misalnya rumput-rumputan, sayuran dsb) menjadi system pertanian berbasis pepohonan (Mutuo *et al.*, 2005) termasuk didalamnya adalah agroforestri kopi. Dossa *et al.* (2008) melaporkan hasil penelitiannya di Togo bahwa besarnya cadangan karbon pada system kopi naungan (Kopi- *Albizia*) hampir empat kali lipat (81 Mg ha^{-1}) dari pada system kopi monokultur yang lebih terbuka kanopinya (23 Mg ha^{-1}). Namun demikian cadangan karbon (dalam biomasa pohon) system agroforestri kopi multistrata di Sumberjaya, Lampung Barat lebih rendah dari pada di Togo, kopi umur 10-15 tahun cadangan karbon hanya 34 Mg ha^{-1} , pada agroforestri sederhana (kopi- *Gliricidia*) terdapat 23 Mg ha^{-1} dan hanya 7 Mg ha^{-1} pada system kopi monokultur (Van Noordwijk *et al.*, 2002). Sedang cadangan karbon di hutan alami sekitar 195 Mg ha^{-1} . Besarnya variasi cadangan karbon dalam system agroforestri kopi tersebut maka pengukuran yang lebih banyak pada kondisi yang berbeda masih diperlukan. Dengan demikian ekstrapolasi cadangan karbon di tingkat lahan ke tingkat bentang lahan atau ke tingkat sub-nasional masih belum bisa dilakukan saat ini karena ketersediaan informasi penyimpanan karbon dalam

sistem agroforestri kopi di Indonesia masih terbatas. Tujuan dari penulisan makalah ini adalah untuk menjawab dua pertanyaan utama yaitu: Seberapa besar kontribusi agroforestri kopi dalam mempertahankan cadangan karbon di tingkat lanskap? Dan seberapa besar rata-rata cadangan karbon agroforestri kopi diseluruh Indonesia? Informasi ini bermanfaat untuk mengestimasi besarnya cadangan karbon kebun kopi di tingkat nasional.

2. METODA

Untuk mencapai tujuan dari penelitian ini ada 2 tahap kegiatan, yaitu (1) Estimasi cadangan karbon di tingkat lahan dan estimasi perubahan cadangan karbon di tingkat lanskap, dan (2) Estimasi cadangan karbon rata-rata dalam agroforestri kopi di berbagai tempat di Indonesia.

2.1. Tahap 1. Seberapa besar kontribusi agroforestri kopi dalam mempertahankan cadangan karbon di tingkat lanskap?

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni hingga Desember 2008, di sub-DAS Kali Konto hulu yang mencakup Kecamatan Pujon dan Ngantang, Kabupaten Malang. Analisis perubahan tutupan lahan dilakukan dengan menggunakan metoda *Post Classification Comparison*. Data perubahan tutupan lahan yang digunakan dalam metode tersebut berupa data dari peta tutupan lahan tahun dari citra satelit Landsat 7TM tahun 1990 dan Landsat 7ETM+ tahun 2005. Ada 8 sistem penggunaan lahan (SPL_n) yang umum dijumpai di daerah tersebut dipilih untuk pengukuran yaitu: hutan terdegradasi, hutan bambu, hutan tanaman atau perkebunan pinus (*Pinus mercurii*), mahoni (*Swietenia mahogany*) dan damar (*Agatis philippensis*); Agroforestri kopi

multistrata (pohon penaung selain *Gliricidia sepium* ditambah dengan pohon buah-buahan dan timber); dan agroforestri kopi sederhana dengan penaung hanya *Gliricidia* atau dadap (*Erythrina* sp); dibandingkan dengan tanaman semusim (sayur-sayuran dan tanaman pangan) dan rumput (pakan). Pengukuran cadangan karbon dilakukan menurut metoda RaCSA (Rapid Carbon Stock Assessment) yang dikembangkan oleh ICRAF (Hairiah *et al.*, 2010).

Kriteria pengklasifikasian kebun kopi di lapangan adalah berdasarkan nilai relatif basal area (BA) pohon kopi terhadap total BA pohon ($BA_{kopi} + BA_{penaung}$) dan jumlah jenis pohon penaungnya (Hairiah *et al.*, 2006). Kebun kopi disebut mokultur (sun-coffee) bila BA relatif pohon kopi >80%. Bila BA relatif pohon kopi <80% maka kebun kopi tersebut diklasifikasikan sebagai agroforestri kopi. Agroforestri kopi dibedakan lagi menjadi agroforestri multistrata bila jumlah jenis pohon penaung > 5 jenis, dan agroforestri sederhana bila jumlah jenis pohon penaung < 5 jenis.

Basal area pohon kopi relatif adalah proporsi luasan yang diduduki oleh pohon kopi: $\sum \pi D_{kopi}^2 / (\sum \pi D_{kopi}^2 + \sum \pi D_{penaung}^2)$, dimana D = diameter pohon (cm) dan faktor π dapat dihapus dari persamaan.

2.1.1. Pengukuran cadangan karbon menurut RaCSA

Sebagai dasar perhitungan karbon per unit area adalah berdasarkan pada persamaan perubahan cadangan karbon yang digambarkan dalam persamaan matematis sebagai berikut:

$$\Delta C_{t \rightarrow t+1} = A_t \left(\sum_{i=1}^n (a_{i,t} (C_{i,t+1} - C_{i,t}) + (a_{i,t+1} - a_{i,t}) C_{i,t}) \right)$$

- ΔC = perubahan cadangan karbon per tahun di bentang lahan, Mg th⁻¹ atau ton th⁻¹
 A = total luasan seluruh bentang lahan, ha
 a = kelas tutupan lahan sebagai fraksi terhadap seluruh luasan bentang lahan
 C = rata-rata cadangan karbon per siklus tanam, Mg ha⁻¹

Dimana kerapatan cadangan karbon merupakan jumlah karbon dari biomasa di atas dan dalam tanah, nekromasa (bagian mati tanaman) yang ada di atas tanah, dan bahan organik tanah. Total perubahan cadangan karbon tahunan pada suatu bentang lahan, merupakan hasil perkalian antara jumlah luasan dari setiap perubahan system penggunaan lahan (SPL_n) dengan total perubahan cadangan karbon per unit area, dibagi dengan periode waktu yang diamati. Nilai perubahan cadangan karbon yang diperoleh berupa perubahan netto yang merupakan selisih antara jumlah perolehan dan kehilangan. Perolehan karbon dihitung dari pertumbuhan vegetasi, sedangkan kehilangan karbon diperhitungkan dari panen, adanya gangguan, dekomposisi, pembakaran, pemupukan dan drainasi.

Bila perhitungan karbon akan diaplikasikan untuk skala yang lebih luas dan dalam jangka waktu yang lama, maka nilai cadangan karbon yang digunakan adalah nilai cadangan karbon rata-rata per siklus tanam (*time-averaged C stock*) yang merupakan

Makalah dipresentasikan pada Seminar Kopi 2010. Bali, 4-5 Oktober 2010. Page 7

neraca karbon dari jumlah perolehan dikurangi dengan kehilangan yang terjadi dari tahun ke tahun selama satu siklus hidup.

2.1.1.1. Pengukuran Karbon di tingkat lahan

Pada ekosistem daratan, penyimpanan C disimpan dalam 3 komponen pokok, yaitu biomasa (tajuk dan akar), nekromasa (bagian pohon yang telah mati), dan bahan organik tanah. Pengukuran dilakukan pada plot contoh berukuran 40 m x 5 m untuk pohon yang berdiameter antara 5-30 cm, bila ada pohon besar berdiameter > 30 cm maka ukuran plot diperbesar menjadi 100 m x 20 m. Semua pohon yang ada di dalam plot diukur diameter setinggi dada (dbh) dan diidentifikasi nama spesiesnya serta dicari berat jenis (BJ) kayunya dari <http://www.worldagroforestrycentre.org/sea>. Dengan demikian biomasa masing-masing pohon dapat diestimasi menggunakan persamaan alometrik yang telah dikembangkan sebelumnya (Tabel 1).

Tabel 1. Persamaan allometrik yang digunakan untuk menghitung biomassa pohon

No	Jenis pohon	Persamaan allometrik	Sumber
1	Pohon bercabang	$Y=0.11 \rho D^{2.62}$	Kettering <i>et al.</i> , 2001
2	Pohon tidak bercabang	$Y=(\pi/40) \rho H D^2$	Hairiah <i>et al.</i> , 2002
3	Kopi	$Y=0.2811 D^{2.0635}$	Arifin, 2001; Van Noordwijk 2002
4	Pisang	$Y=0.0303 D^{2.1345}$	Arifin, 2001; Van Noordwijk 2002
5	Sengon	$Y=0.0272 D^{2.831}$	Sugiarto, 2001; Van Noordwijk 2002
6	Bambu	$Y=0.1312 D^{2.2784}$	Priyadarsini;1998
7	Pinus	$Y=0.0417 D^{2.6576}$	Waterloo; 1995

Catatan: Y= Biomasa kering, kg/pohon; H=tinggi tanaman, cm; D= diameter batang (cm) setinggi 1.3 m; ρ =BJ kayu, $Mg m^{-3}$ atau $kg dm^{-3}$, atau $g cm^{-3}$

Selanjutnya cadangan karbon per pohon dapat diestimasi dengan mengalikan biomasa dengan kandungan karbon tanaman (0.46). Cara pengukuran masing-masing komponen karbon di atas dapat dilihat pada manual pengukuran karbon (Hairiah dan Rahayu, 2007).

2.1.1.2. Ekstrapolasi cadangan karbon di tingkat lahan ke tingkat lanskap.

Ekstrapolasi cadangan karbon pada sistem penggunaan lahan Agroforestri ke tingkat lanskap diperlukan satu tahap pengukuran lagi yaitu pengukuran karbon rata-rata per-siklus tanam (*time averaged-C stock*) karena di tingkat lanskap terdapat banyak macam agroforestri, baik ditinjau dari segi macam komponen penyusunnya maupun dari segi umurnya (IPCC, 2000). Dengan demikian data cadangan C yang dipakai untuk ekstrapolasi adalah data rata-rata C dari berbagai umur dan macam agroforestri BUKAN cadangan karbon yang diperoleh saat ini (*standing C stock*). Nilai tersebut harus mewakili secara spasial rata-rata karbon per sistem penggunaan lahan, dan juga bisa mewakili dalam satu siklus tanam. Pengukurannya dilakukan pada berbagai umur lahan (dihitung mulai dari saat hutan dikonversi menjadi agroforestri kopi) sehingga dapat diestimasi peningkatan cadangan karbon per tahunnya.

2.2. Tahap 2. Seberapa besar rata-rata cadangan karbon agroforestri kopi diseluruh Indonesia?

Pada tahap ke dua ini, dilakukan pengumpulan data sekunder yang merupakan hasil pengukuran karbon lahan kopi di berbagai tempat yang telah dilaporkan sebelumnya. Ada tiga tipe pengelolaan kebun kopi yang dibandingkan yaitu: (1) kopi monokultur, (2) agroforestri sederhana berbasis kopi, dan (3) agroforestri kompleks

berbasis kopi. Data cadangan karbon yang digunakan dalam analisis ini berasal dari empat lokasi yaitu:

1. Tipe pengelolaan agroforestri sederhana dan agroforestri multistrata di sub-DAS Kalikonto yang termasuk dalam wilayah Kecamatan Ngantang, dan Kecamatan Pujon, Kabupaten Malang; yang dilaporkan oleh peneliti dari Universitas Brawijaya (TULSEA, 2008).
2. Tipe pengelolaan agroforestri sederhana dari Daerah Jember yang dilaporkan oleh peneliti dari Pusat Penelitian Kopi dan Kakao (Project TULSEA, 2008);
3. Tipe pengelolaan monokultur, agroforestri sederhana dan agroforestri multistrata di DAS Way Besai, Sumberjaya, Lampung Barat yang telah dilaporkan oleh tim peneliti Universitas Brawijaya dan ICRAF (ASB tahun 1998 dan 2002, BASIS tahun 2005 dan BGBD tahun 2005).
4. Tipe pengelolaan agroforestri multistrata di Kawasan Peyangga Hutan Sesaot, Lombok Barat yang dilaporkan oleh tim peneliti ICRAF (Proyek Konsepsi tahun 2010).

3.HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

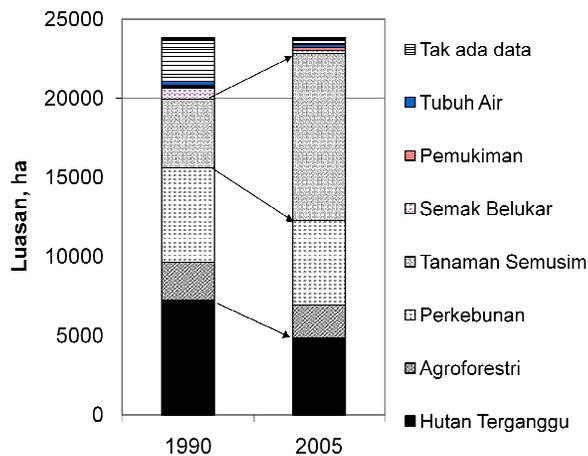
3.1.1. Tahap 1. Estimasi cadangan karbon di tingkat lahan dan lanskap

3.1.1.1. Perubahan tutupan lahan

Berdasarkan hasil analisis citra satelit tahun 1990 dan 2005, di Sub-DAS Kali Konto (23810.13 ha) telah terjadi penurunan luasan tutupan lahan (Gambar 1).

Penurunan luasan tutupan lahan terbesar terjadi pada lahan hutan terganggu yaitu sekitar

33% (2417.67 ha) dari total luasan hutan yang ada di tahun 1990, diikuti penurunan luasan perkebunan sekitar 10% (636.57 ha), semak belukar sekitar 76% (545.67 ha), dan agroforestri sekitar 12% (288.9 ha). Di sisi lain terjadi peningkatan luasan lahan tanaman semusim sebesar 45 % (6251.49 ha) dan pemukiman sebesar 18% (30.24 ha). Beberapa tutupan lahan berbasis pepohonan yang umum dijumpai di daerah tersebut adalah agroforestri berbasis kopi dan hutan tanaman industri berbasis pinus (*Pinus mercurii*) atau mahoni (*Swietenia mahogany*) atau damar (*Agatis philippensis*) yang berpeluang besar sebagai penyimpan karbon dalam waktu yang cukup lama.

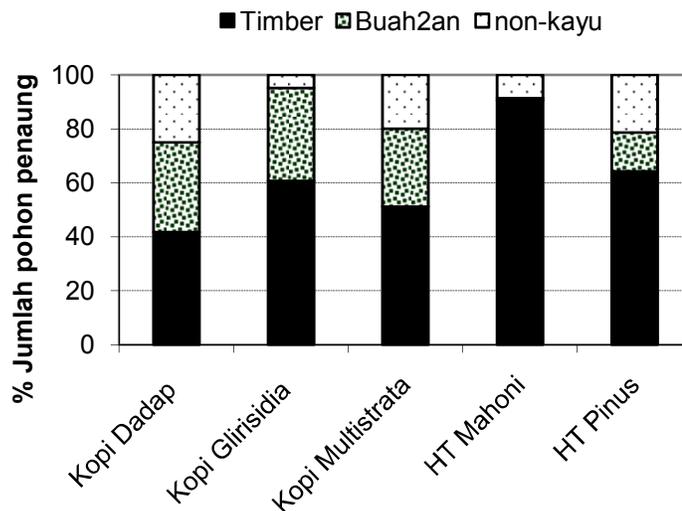


Gambar 1. Perubahan luas tutupan lahan di sub-DAS Kalikonto berdasarkan peta tutupan lahan 1990 dan 2005

3.1.1.2. Karakteristik lahan

Kopi naungan multistrata atau agroforestri multistrata atau agroforestri kompleks (nama local kebun campuran), adalah kebun kopi yang banyak dikembangkan oleh masyarakat, terutama di Kecamatan Ngantang. Sistem kebun campuran dicirikan dengan penutupan kanopi yang rapat dan pengelolaan lahan yang tidak intensif. Kebun campuran yang dikembangkan pada lahan milik masyarakat dengan tanaman utama

adalah kopi. Sebagai pohon penaung umumnya ditanam pohon leguminose gamal (*Gliricidia sepium*) atau dadap (*Erythrina* sp.) atau lamtoro (*Leucaena leucocephala*). Selain itu ditanam pula berbagai macam jenis pohon buah-buahan, seperti durian, alpukat duku, nangka, manggis dan rambutan. Beberapa MPTS yang sering ditanam adalah kelapa, petai. Tanaman kayu-kayuan lain yang ditanam oleh petani adalah Sengon (*Paraserianthes falcataria*), kayu Afrika (*Maesopsis eminii*) dan Surian (*Toona surenii*). Sedang tanaman non-pohon yang sering ditanam adalah pisang dan pepaya. Jenis pohon penaung yang ditanam cukup bervariasi antar tutupan lahan (Gambar 1). Sekitar 51% dari total pohon penaung agroforestri multistrata adalah jenis timber, 29% pohon buah-buahan dan sisanya adalah tanaman non kayu (pisang, pepaya).



Gambar 1. Persentasi jumlah pohon penaung dari berbagai tutupan lahan di sub-DAS Konto

Pada agroforestri sederhana seperti Kopi- glirisidia dan Kopi- dadap terdiri dari 40-61% timber, 34 % pohon buah-buahan dan sisanya pepaya dan pisang. Sedang hutan

tanaman mahoni dan pinus (milik PERHUTANI) lebih homogen (ditunjukkan dengan diversitas pohon yang rendah) terdiri dari 64-91% timber (mahoni dan pinus) dan sisanya pohon buah-buahan (1-14%) dan tanaman non kayu (9-21%).

Sebaran BJ kayu pada berbagai sistem penggunaan lahan di Ngantang ditunjukkan pada Tabel 1. Pada umumnya BJ kayu dari pohon yang pertumbuhannya lambat lebih besar dari pada pohon yang pertumbuhannya cepat. Semakin cepat pertumbuhan pohon, maka semakin banyak karbon yang ditimbun dalam biomasa atau semakin banyak karbon di udara yang diserap, namun semakin cepat pula karbon tersebut hilang dari lahan karena pemanenan. Pohon-pohon yang memiliki BJ kayu sangat berat paling banyak dijumpai di hutan terganggu (12.8 %) dan sudah tidak ditemukan lagi di lahan budidaya monokultur (perkebunan).

Tabel 1. Kerapatan jenis kayu dan sebarannya pada berbagai sistem penggunaan lahan di DAS Konto (Hairiah *et al.* 2010a)

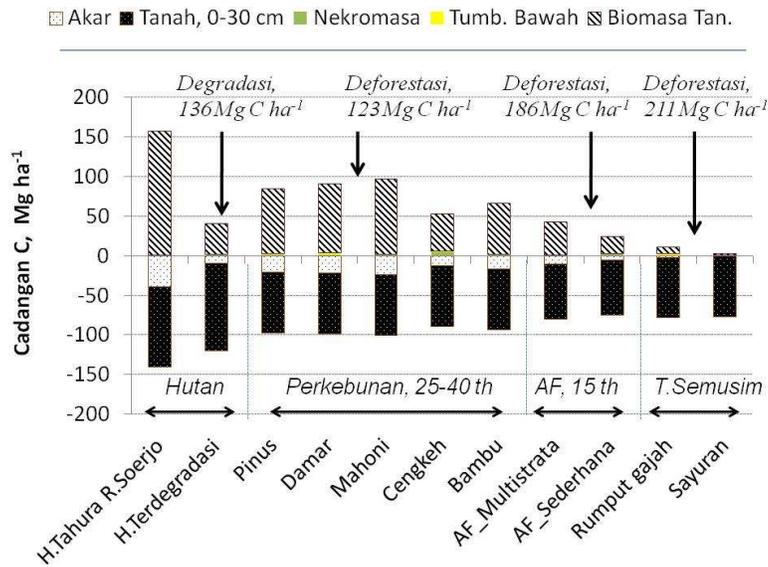
SPL	BJ ringan	BJ sedang	BJ berat	BJ sangat berat	BJ Kayu max	BJ Kayu min	BJ rata-rata
	-----% per SPL-----				-----kg dm ⁻³ -----		
Hutan terganggu	48.3	33.8	5.2	12.8	1.00	0.34	0.62
AF Multistrata	52.2	44.6	1.5	1.6	0.91	0.03	0.55
AF Sederhana	30.2	56.6	13.0	0.2	0.85	0.03	0.55
Perkebunan Bambu	99.9	0.1	0.0	0.0	0.61	0.34	0.55
Perkebunan mahoni	14.2	83.2	0.0	0.0	0.75	0.03	0.49
Perkebunan pinus	92.7	7.3	0.0	0.0	0.75	0.03	0.36
Perkebunan Coklat	3.7	96.3	0.0	0.0	0.74	0.58	0.66
Perkebunan Kopi	16.4	83.6	0.0	0.0	0.75	0.03	0.51
Perkebunan Cengkeh	0.0	6.1	93.9	0.0	0.85	0.75	0.80
Perkebunan Langsep	0.0	100	0.0	0.0	0.75	0.75	0.75

Hutan tanaman atau perkebunan didominasi oleh pohon-pohon dengan BJ kayu ringan sampai sedang, kecuali pada perkebunan langsep yang hanya terdiri dari pohon dengan BJ kayu sedang. Pada sistem agroforestri (multistrata dan sederhana) masih dapat dijumpai pohon dengan BJ tinggi. Rata-rata BJ kayu tergolong tinggi dijumpai pada perkebunan cengkeh (0.8 kg dm^{-3}), perkebunan coklat (0.66 kg dm^{-3}), dan hutan (0.62 kg dm^{-3}). Pada agroforestri dijumpai BJ kayu rata-rata 0.55 kg dm^{-3} , sedang BJ kayu terendah adalah di hutan tanaman mahoni dan pinus, masing-masing adalah 0.49 kg dm^{-3} dan 0.36 kg dm^{-3} .

3.1.1.3. Total cadangan karbon per penggunaan lahan

Total cadangan karbon di Agroforestri kopi di Ngantang berkisar antara 99 hingga 123 Mg ha^{-1} (Gambar 2 dan Tabel 2). Total cadangan karbon pada system agroforestri multistrata 20% lebih besar dari pada di system agroforestri sederhana (99 Mg ha^{-1}). Cadangan karbon terbesar terdapat di biomasa pohon (kopi dan penaungnya), dengan kerapatan populasi pohon di agroforestri multistrata lebih rendah dari pada di agroforestri sederhana, yaitu rata-rata 3970 pohon/ha dibanding 4018 pohon/ha. Kontribusi pohon penaung terhadap cadangan karbon rata-rata sekitar 83% dan sekitar 76% dari total cadangan karbon masing-masing untuk agroforestri multistrata dan agroforestri sederhana, sedang sisanya adalah dari pohon kopi.

Total cadangan karbon yang terdapat di tumbuhan bawah dan nekromasa di agroforestri multistrata lebih rendah dari pada di agroforestri kopi sederhana, hal ini mungkin dikarenakan tingkat penutupan kanopi yang lebih rapat sehingga kerapatan populasi tumbuhan bawah lebih rendah. Namun demikian, kontribusi tumbuhan bawah terhadap cadangan karbon suatu lahan sangat kecil sekali, sehingga bisa diabaikan.



Gambar 2. Total cadangan karbon dari berbagai sistem penggunaan lahan di Sub-DAS Kalikonto dibandingkan dengan kondisi di Tahura R Soerjo (Sumber data: Hairiah *et al.* 2010a dan Hairiah *et al.*, 2010b). Ket: AF=Agroforestri kopi

Kondisi hutan alami di sub-DAS Kalikonto hulu (di kecamatan Ngantang) sudah sangat terdegradasi, dengan total cadangan C hanya sekitar 161 Mg ha⁻¹ dimana sekitar 40-70% adalah berasal dari tanah (sebagian besar termasuk jenis andisol dan inceptisol) (NUFFIC-UB, 1984). Besarnya cadangan karbon di hutan Ngantang 50% lebih rendah dari pada cadangan karbon di Tahura R. Soerjo, Kabupaten Malang (297 Mg ha⁻¹). Bila kondisi hutan di Ngantang dulunya sama dengan kondisi hutan di Tahura R. Soerjo, berarti hutan di Ngantang telah kehilangan karbon sekitar 131 Mg ha⁻¹ (Gambar 2). Alih guna lahan hutan menjadi perkebunan (umur 25 - 40 tahun), terjadi kehilangan karbon sekitar 123 Mg ha⁻¹, dan kehilangan meningkat hingga 186 Mg ha⁻¹ dan 211 Mg ha⁻¹ bila hutan dialih-gunakan menjadi agroforestri kopi (umur 10-15 tahun) dan lahan tanaman semusim.

Total cadangan karbon dari biomasa (tajuk+akar) dan nekromasa di hutan terdegradasi sama dengan yang dijumpai di agroforestri multistrata yaitu sekitar 52 Mg ha⁻¹ (Tabel 2). Sedang cadangan karbon di perkebunan pinus, mahoni, dan damar (berumur antara 25-40 tahun) berkisar antara 159 hingga 198 Mg C ha⁻¹, dengan total cadangan karbon di biomasa (tajuk+akar) dan nekromasa sekitar 98 Mg C ha⁻¹.

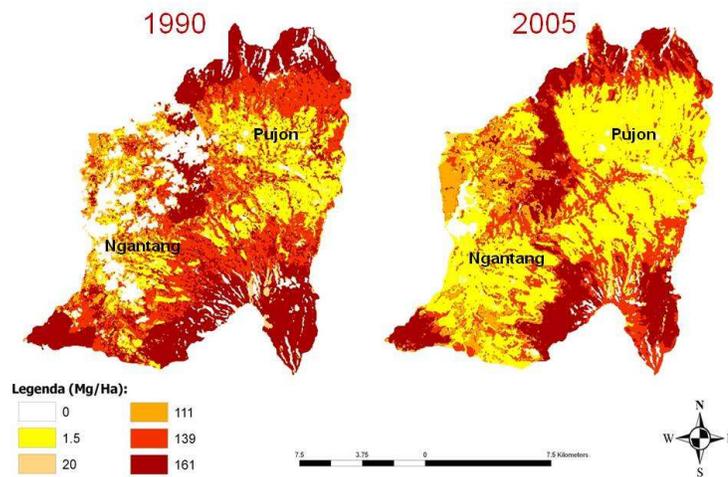
Tabel 2. Cadangan C dan *Time averaged-C stock* di berbagai tutupan lahan yang ada di Kecamatan Ngantang (Sumber data Hairiah *et al.* 2010a dan Hairiah *et al.* 2010b)

Tutupan lahan	SPL _n	Kerapatan per ha	Total cadangan C, Mg ha ⁻¹	Umur max., tahun	<i>Time-Averaged C Stock</i> , Mg ha ⁻¹
Hutan alami	Tahura R. Soerjo	962	297	70-80	297
Hutan alami	Hutan terdegradasi	2248	161	50	161
Agroforestri	AF_Mul-tistrata	3970	123	30	111
	AF_sederhana	4018	99	30	
Perkebunan	Pinus	795	183	30	144
	Damar		190	40	146
	Mahoni	963	198	50	212
	Cengkeh		142	35	70
Rumput	Bambu	3188	159	15	121
	Rumput gajah, 4 bulan	-	100	0.25	11
	Rumput gajah, 1 bulan	-	78	0.75	78
Tan. Semusim	Sayuran	-	79	0.25	1.5

Penghitungan cadangan karbon rata-rata per siklus tanam (*time-averaged C stock*) dilakukan untuk memperoleh gambaran tentang dinamika karbon di tingkat bentang lahan pada kondisi saat ini. Besarnya *time-averaged C stock* tersebut dipengaruhi oleh tingkat akumulasi karbon per tahunnya, besarnya cadangan karbon terendah dan tertinggi per system penggunaan lahan, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai cadangan karbon maksimum dan waktu rotasi (panen). *Time-averaged C stock* pada system perkebunan (pinus, mahogany, dan damar umur 25-40 tahun) sekitar 139 Mg ha⁻¹ (Table 2), system agroforestri sekitar 111 Mg ha⁻¹, sedang tanaman semusim hanya sekitar 1.5 Mg ha⁻¹.

3.1.1.4. Estimasi perubahan cadangan karbon di tingkat DAS

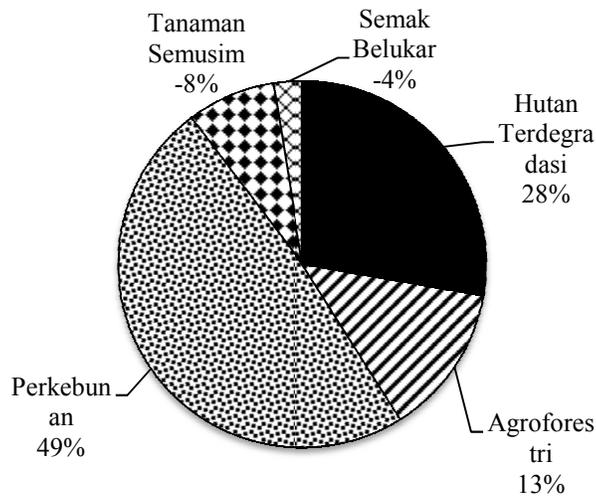
Distribusi geographic terjadinya konversi hutan alami dan penurunan karbon terutama terjadi di daerah puncak bukit di sebelah utara kecamatan Pujon yang meliputi desa Pandesari, Wiyurejo, Madiredo, Tawangsari dan Ngabab (Gambar 2).



Gambar 2. Distribusi cadangan karbon di sub-DAS Kali Konto menurut peta tutupan lahan tahun 1990 dan 2005 (Sumber: Hairiah *et al.*, 2010a)

Sedang di bagian selatan Kecamatan Pujon termasuk desa Pujon Kidul, Sukomulyo, dan Bendosari, dan 3 desa lainnya di Kecamatan Ngantang yaitu Purworejo, Sidodadi dan Banjarejo.

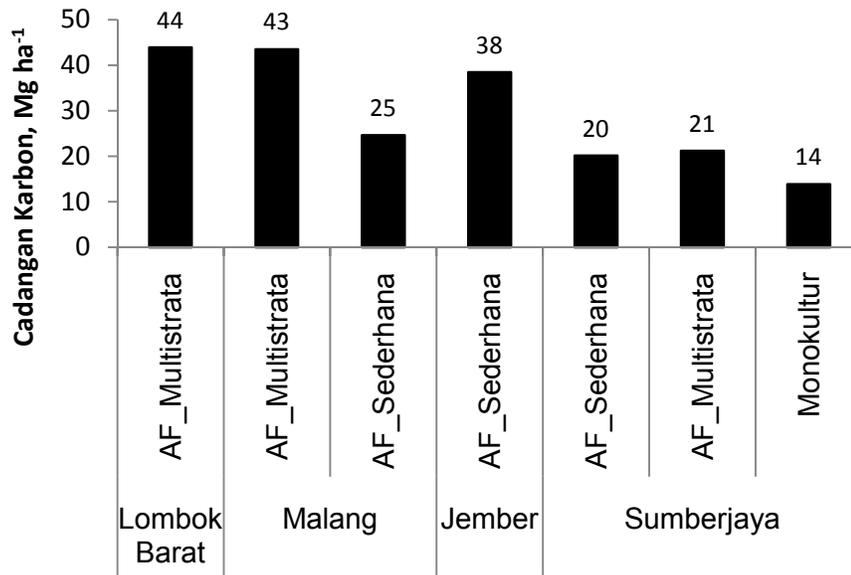
Untuk ekstrapolasi data cadangan karbon di tingkat lahan ke tingkat bentang lahan (DAS), dilakukan dengan jalan mengalikan besarnya luasan masing-masing tutupan lahan dengan data *time-averaged C stock* dari masing-masing tutupan lahan (Tabel 2). Estimasi emisi karbon di tingkat lanskap akibat perubahan tutupan lahan disajikan dalam Gambar 3. Dalam kurun waktu 15 tahun, di seluruh sub-DAS Kali Konto telah kehilangan karbon sekitar 25924 Mg th⁻¹ atau setara 1.48 Mg ha⁻¹. Karbon hilang dari hutan alami (yang telah terdegradasi) sekitar 1.09 Mg ha⁻¹ th⁻¹, perkebunan kehilangan karbon sekitar 0.25 Mg ha⁻¹ th⁻¹. Sedang kehilangan karbon di Agroforestri berbasis kopi relatif kecil, yaitu sekitar 0.05 Mg ha⁻¹ th⁻¹. Peningkatan luasan system penggunaan lahan tanaman semusim di tahun 2005 hanya meningkatkan perolehan karbon yang sangat kecil yaitu hanya sekitar 0.03 Mg ha⁻¹ th⁻¹, tetapi jumlah kehilangan karbon dari seluruh kawasan jauh lebih besar dari jumlah perolehan tersebut. Penanaman pohon damar, pinus, dan mahogani di sub-DAS Kali Konto melalui Program Penghutan Kembali yang dilakukan oleh PERHUTANI di tahun 1990-2005 tidak bisa mengurangi jumlah kehilangan karbon di kawasan. Guna menggantikan kehilangan karbon lewat alih guna hutan, maka perluasan dan peningkatan jumlah pepohonan dalam sistem agroforestri dan perkebunan sangat diperlukan. Kehilangan cadangan karbon di sub-DAS Kalikonto akan menjadi lebih besar bila data awal yang digunakan adalah data cadangan karbon hutan alami yang masih terkonservasi seperti di Tahura R. Soerjo.



Gambar 3. Estimasi emisi karbon di sub-DAS Kalikonto berdasarkan perubahan tutupan lahan yang terjadi pada tahun 1990-2005 (*Keterangan: tanda (-) berarti tidak ada emisi atau sequestrasi*)

3.1.2. Tahap 2. Cadangan karbon berbagai kebun kopi pada berbagai tempat di Indonesia

Besarnya cadangan karbon dari sistem agroforestri kopi sangat tergantung pada tipe pengelolaan yang dilakukan. Dari hasil pengukuran pada 1432 lahan dengan kisaran “umur kebun” kopi antara 1 sampai dengan 40 tahun setelah konversi hutan, menunjukkan bahwa agroforestri kopi multistrata memiliki cadangan karbon lebih tinggi bila dibandingkan dengan agroforestri kopi sederhana dan kopi monokultur (Gambar 4).



Gambar 4. Cadangan karbon pada berbagai tipe pengelolaan kebun kopi di Malang (sub-DAS Kalikonto) dibandingkan dengan di Jember, Sumberjaya (DAS Way Besai) dan Lombok Barat (Das Jongkok)

3.1.2.1. Agroforestri multistrata berbasis kopi

Agroforestri multistrata berbasis kopi yang diamati di Lombok Barat dan Malang memiliki nilai rata-rata cadangan karbon yang hampir sama yaitu $43.88 \pm 11.91 \text{ Mg ha}^{-1}$ dan $43.49 \pm 23.62 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Tabel 3). Komposisi spesies pohon penayang dan populasinya pada kedua lokasi tersebut hampir sama. Sedangkan pada sistem yang sama di Lampung Barat, cadangan karbonnya hampir sama dengan agroforestri sederhana, yaitu $21.18 \pm 21.86 \text{ Mg ha}^{-1}$. Variasi yang sangat tinggi antar plot pengamatan terjadi mungkin di karenakan besarnya variasi tingkat kerapatan populasi dan umur pohon penayang kopi. Di Malang, biomasa pohon penayang kopi menyumbang sekitar 70% dari total cadangan karbon (di atas tanah) lahan agroforestri multistrata. Sedangkan di

Lampung Barat, biomasa pohon penaung kopi hanya menyumbangkan sekitar 40% dari total cadangan karbon lahan agroforestri multistrata (Hairiah *et al.*, 2006).

Tabel 3. Cadangan karbon pada berbagai tipe pengelolaan kebun di beberapa lokasi pengamatan

Lokasi	Tipe pengelolaan	Cadangan			Umur Kebun, tahun
		karbon, Mg ha ⁻¹	Simpangan Baku	Jumlah plot	
Lombok Barat ¹	AF multistrata	43.88	11.91	6	10-40
Malang ²	AF multistrata	43.49	23.62	5	10-15
Malang ²	AF sederhana	24.60	13.65	53	10-15
Jember ³	AF sederhana	38.45	24.29	54	2-30
Lampung Barat ⁴	AF sederhana	20.11	30.01	1126	1-30
Lampung Barat ⁴	AF multistrata	21.15	21.86	96	1-40
Lampung Barat ⁴	Monokultur	13.80	14.09	92	1-30

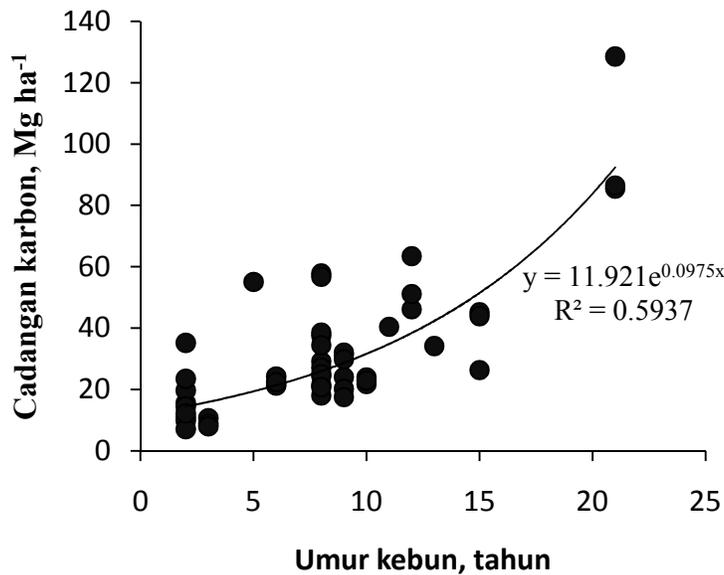
Keterangan: ¹)= ICRAF (2010); ²)= Hairiah *et al.*, 2010a; Hairiah *et al.*, 2006; ³)= ICRRRI (2008) dan; ⁴)= Van Noordwijk *et al.*, 2002; Hairiah *et al.*, 2006; Basis (2005)

Untuk daerah Lampung Barat, masyarakat yang mendapat ijin HKM diwajibkan menanam berbagai jenis pohon timber dan buah-buahan di dalam lahan kopinya sebanyak 60% dari total populasi pohon yang ada (Pender *et al.*, 2008). Ijin tersebut diberikan sekitar dua tahun sebelum pengamatan, sehingga pada saat pengamatan masih banyak pohon penaung kopi yang masih terlalu kecil untuk diperhitungkan. Kasus seperti ini, di masa yang akan datang dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam mendefinisikan suatu sistem tutupan lahan. Namun demikian, dari hasil penelitian sebelumnya diketahui bahwa laju pertumbuhan cadangan karbon pada agroforestri

multistrata berbasis kopi di Lampung Barat adalah berkisar antara $0.9 - 1.86 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ (Van Noordwijk *et al.*, 2002; Hairiah *et al.*, 2006).

3.1.2.2. Agroforestri sederhana

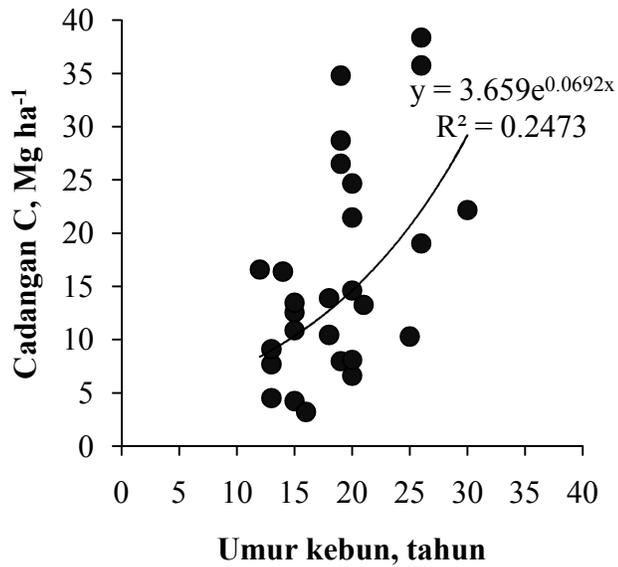
Rata-rata cadangan karbon pada agroforestri sederhana berbasis kopi di Lampung Barat dan Malang menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda yaitu $20.11 \pm 30.01 \text{ Mg ha}^{-1}$ dan $24.60 \pm 13.65 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Tabel 3). Agroforestri sederhana berbasis kopi di Lampung Barat dan di Malang yang berumur antara 1 sampai dengan 30 tahun memiliki variasi cadangan karbon yang sangat tinggi. Hasil pengamatan di Lampung Barat, menunjukkan bahwa laju pertumbuhan cadangan karbon pada agroforestri sederhana berbasis kopi (milik masyarakat) di Lampung Barat adalah $0.6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ (Hairiah *et al.*, 2006). Berbeda halnya dengan perkebunan kopi di lokasi penelitian Pusat Penelitian Kopi dan Kakao, Jember yang memiliki cadangan karbon rata-rata $38.45 \pm 24.29 \text{ Mg ha}^{-1}$ pada kisaran umur antara 2 sampai dengan 30 tahun. Variasi cadangan karbon pada system ini hanya dipengaruhi oleh umur kebun, karena jumlah populasi tanaman kopi dan tanaman penanungnya didominasi oleh lamtoro relatif sama. Faktor pengelolaan lahan yang lain seperti pemupukan (kimiawi maupun biologi) dan penyiangan memacu pertumbuhan tanaman juga akan sangat menentukan besarnya cadangan karbon (Mutuo *et al.*, 2005). Laju pertumbuhan cadangan karbon pada agroforestri sederhana berbasis kopi di kebun percobaan Pusat Penelitian Kopi dan Kakao rata-rata sekitar 2.8 Mg ha^{-1} (Gambar 5).



Gambar 5. Cadangan karbon pada berbagai umur kebun yang dikelola dengan sistem agroforestri sederhana di lokasi Penelitian Pusat Penelitian Kopi dan Kakao, Jember (Sumber: ICCRI, 2008)

3.1.2.3. Kopi monokultur

Cadangan karbon pada kopi monokultur (hanya terdapat di Lampung Barat), hanya bersumber dari tanaman kopi saja yaitu rata-rata $13.8 \pm 14.09 \text{ Mg ha}^{-1}$ pada kisaran umur lahan antara 1 sampai dengan 30 tahun (Tabel 3). Pengukuran yang dilakukan pada 92 lahan kopi monokultur tidak menunjukkan adanya hubungan yang erat antara cadangan karbon dengan umur kebun, namun demikian ada kecenderungan peningkatan cadangan karbon dengan meningkatnya umur lahan (Gambar 6). Peningkatan cadangan karbon rata-rata per tahun sangat kecil yaitu hanya sekitar 0.5 Mg ha^{-1} .



Gambar 6. Cadangan karbon pada kopi monokultur pada berbagai umur lahan setelah konversi hutan di Lampung Barat

Lahan kopi monokultur hanya terdapat di Lampung Barat merupakan kebun milik masyarakat, yang pengelolaannya (kerapatan populasi tanaman, pemupukan dan penyiangan) cukup beragam antar petani karena sangat dipengaruhi oleh ketersediaan modal dan sumber daya manusia. Dengan demikian terdapat variasi cadangan karbon yang cukup tinggi antar plot dan antar umur tanaman.

3.2. Pembahasan

Mitigasi perubahan iklim melalui peningkatan jumlah serapan CO₂ dari udara dan disimpannya dalam lahan (agroforestri) untuk waktu yang lama. Dengan demikian agroforestri sama pentingnya dengan manfaat vegetasi lainnya di hutan alami (Montagnini dan Nair, 2004), sementara produksi tanaman masih terus bisa berlangsung. Namun demikian jumlah karbon yang disimpan dalam agroforestri lebih terbatas dari

pada di hutan alami, karena adanya pemanenan dan pengurangan jenis pohon yang ditanam sehingga akan mengurangi kandungan bahan organik tanah (BOT), dimana BOT juga merupakan salah satu komponen penyusun cadangan karbon suatu lahan (Mutuo et al, 2005). Perawatan tanah melalui penambahan bahan organik penting untuk mempertahankan pertumbuhan (biomasa) tanaman yang akhirnya meningkatkan cadangan karbon di lahan. Pengelolaan kebun kopi yang holistic yang mencakup tanaman dan tanah akan sangat bermanfaat untuk mempertahankan produksi tanaman dan layanan lingkungan serta memperpanjang masa produktif kebun kopi. Dengan demikian *time-averaged C stock* kebun kopi juga akan meningkat.

Besarnya cadangan karbon pada kebun kopi sangat dipengaruhi oleh tipe pengelolaan kebun termasuk pemilihan jenis dan kerapatan pohon penayang, umur kebun, pemupukan dan penyiangan. Menurut Wrigley (1998), umur produktif pohon kopi rata-rata di Brazil adalah 20 tahun, pada umur 20 -30 tahun pohon kopi dianggap sudah tidak menguntungkan karena menurunnya tingkat kesuburan tanah, erosi dan masalah hama nematoda (terutama pada kebun monokultur). Berdasarkan informasi dari petani kopi di Lampung Barat dan Malang, penebangan pohon kopi biasanya dilakukan pada umur 25 tahun (informasi tidak dipublikasikan), walaupun secara biologi pohon kopi masih bisa hidup berpuluh-puluh tahun lagi. Dengan demikian umur tengah kopi di Indonesia adalah 25 tahun, maka rata-rata *time-averaged C stock* agroforestri kopi di Indonesia adalah sekitar 41 Mg ha⁻¹ (Tabel 4). Namun demikian mengestimasi *Time-averaged C stock* dalam system agroforestri kopi tidak mudah, karena dinamika pengelolaan pohon yang sangat beragam.

Tabel 4. Peningkatan cadangan karbon tahunan dan *Time-averaged C stock* berbagai tipe kebun kopi di Indonesia

Tipe kebun kopi	Peningkatan cadangan C per tahun, Mg ha ⁻¹	<i>Time-avg C stock</i> ¹⁾ ,	<i>Rata-rata time-avg C stock</i> ,	<i>Rata-rata time-avg C stock per tipe kebun kopi</i>
		----- Mg ha ⁻¹ -----		
Agroforestri multistrata	0.9 – 1.86	23 – 47	35	41
Agroforestri sederhana ²⁾	0.6 – 0.97	15 - 24	19.5	
Agroforestri sederhana ³⁾	2.8	70	70	
Monokultur	0.5	12.5	12.5	12.5

Keterangan : ¹⁾= umur rata-rata kopi di lapangan 25 tahun; ²⁾ = Kondisi kebun milik masyarakat; ³⁾ = Kondisi kebun percobaan;

Menurut laporan dari Ditjenbun (2004) luas kebun kopi seluruh Indonesia sekitar 1.3 juta ha, akan tetapi tidak ada informasi tipe kebunnya. Diasumsikan semua kebun kopi yang ada di Indonesia adalah tipe agroforestri, maka total cadangan karbon dari kebun kopi yang ada adalah 53,950.000 Mg atau 53950 Gg C. Namun demikian ketersediaan informasi luasan lahan masing-masing tipe kebun kopi di Indonesia masih sangat terbatas. Untuk itu penelitian perubahan luas lahan kopi Indonesia perlu dilakukan.

4.KESIMPULAN

- Agroforestri multistrata berbasis kopi cukup berpotensi dalam mempertahankan cadangan karbon, walaupun besarnya cadangan karbon yang diperoleh pada sistem tersebut masih lebih rendah dari pada yang dicapai di hutan. Besarnya cadangan karbon pada kebun kopi sangat dipengaruhi oleh tipe pengelolaan kebun termasuk pemilihan jenis dan kerapatan pohon penayang, umur kebun, pemupukan dan penyiangan.

- Alih guna lahan hutan menjadi lahan perkebunan (umur 25 - 40 tahun), menyebabkan kehilangan cadangan karbon di tingkat lahan sekitar 123 Mg ha^{-1} , dan kehilangan meningkat mencapai 186 Mg ha^{-1} dan 211 Mg ha^{-1} bila hutan dialih-gunakan menjadi agroforestri kopi (umur 10-15 tahun) dan lahan tanaman semusim.
- Pada system agroforestri kopi multistrata di sub-DAS Kalikonto diperoleh cadangan karbon 20% lebih besar dari pada di system agroforestri sederhana (123 Mg ha^{-1} dibanding 99 Mg ha^{-1}). Kontribusi pohon penayang kopi rata-rata sekitar 83% dari total cadangan karbon (bagian di atas tanah) pada agroforestri multistrata dan sekitar 76% untuk agroforestri sederhana, sedang sisanya adalah dari pohon kopi sekitar 17% - 24%.
- Di seluruh sub-DAS Kali Konto (seluas 23810.13 ha) telah kehilangan karbon sekitar 25924 Mg th^{-1} atau setara 1.48 Mg ha^{-1} dalam kurun waktu 15 tahun (1990-2005). Karbon hilang dari hutan alami sekitar $1.09 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$, perkebunan kehilangan C sekitar $0.25 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$, agroforestri berbasis kopi kehilangan C di relative kecil, yaitu sekitar $0.05 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$. Dari peningkatan luasan tanaman semusim di sub-DAS Kalikonto terjadi perolehan (sequestrasi) karbon hanya $0.03 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$.
- Untuk beberapa wilayah di Indonesia, cadangan karbon rata-rata pada agroforestri multistrata berbasis kopi adalah 43 Mg ha^{-1} , agroforestri sederhana (naungan tunggal) berbasis kopi pada lahan milik masyarakat rata-rata 23 Mg ha^{-1} dan 38 Mg ha^{-1} diperoleh pada lahan percobaan. Sedang cadangan karbon rata-rata pada lahan kopi monokultur sekitar 13 Mg ha^{-1} . Laju pertumbuhan cadangan

karbon pada agroforestri multistrata berbasis kopi adalah $0.9 - 1.86 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ dan agroforestri sederhana (milik masyarakat) rata-rata $0.6 - 0.97 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ dan $2.8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ di kebun percobaan. Sedang pada lahan kopi monokultur hanya sekitar 0.5 Mg ha^{-1} . Dengan demikian time averaged C stock agroforestri kopi diestimasi sekitar 41 Mg ha^{-1} , sedang lahan kopi monokultur hanya sekitar 12.5 Mg ha^{-1} .

Ucapan terimakasih

Penelitian di sub-DAS kalikonto ini sebagian besar mendapat dukungan dana dari The World Agroforestry Centre, ICRAF Southeast Asia dan the Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (BMZ), Germany melalui Proyek TUL-SEA (Trees in multi-Use Landscapes in Southeast Asia) tahun 2008.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, F.K. (2006). Kajian diversitas rayap pasca alih guna hutan menjadi lahan pertanian. Thesis. Paska Sarjana, Universitas Brawijaya, Malang.
- Arifin, J. (2001). Estimasi Penyimpanan C Pada Berbagai Sistem Penggunaan Lahan di Kecamatan Ngantang, Malang, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang, 61pp.
- Dewi, W.S. (2007). Dampak alih guna lahan hutan menjadi lahan Pertanian: Perubahan diversitas cacing tanah dan fungsinya dalam mempertahankan pori makro tanah. Disertasi. Paska Sarjana, Universitas Brawijaya, Malang.
- Ditjenbun (2004). Statistik perkebunan Indonesia: Kopi 1990-2004. Deptan, Dirjen Bina Perkebunan, Jakarta.

- Dossa, E.L.; E.C.M. Fernandes & W.S. Reid (2008). Above- and belowground biomass, nutrient and carbon stocks an open-grown and a shaded coffee plantation. *Agroforest Syst.*, 72, 103-115.
- Hairiah, K.; S. Rahayu & Berlian (2006). Layanan lingkungan agroforestri berbasis kopi: Cadangan karbon dalam biomasa pohon dan bahan organik tanah (studi kasus di Sumberjaya, Lampung Barat). *AGRIVITA*, 28 (3): 298-309.
- Hairiah, K. & S. Rahayu (2007). Petunjuk praktis Pengukuran karbon tersimpan di berbagai macam penggunaan lahan. World Agroforestri Centre, ICRAF Southeast Asia, 77p.
- Hairiah, K.; S. Dewi; F. Agus; S. Velarde; M. Van Noordwijk & S. Rahayu (2010). Measuring of carbon stocks across land use systems: A manual. The World Agroforestri Centre, ICRAF Souteast Asia. (*In-press*)
- IPCC (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use. In: Eggleston S.; L. Buendia; K. Miwa; T. Ngara & K. Tanabe (eds.). The National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES.
- ICCRI (2008). Carbon Stock Measurement of Cocoa and Coffee Plantation at Plantations Area Owned by Indonesian Coffee and Cocoa Research Institute and Some Smallholders' Coffee plantations in East Java by RaCSA Method. Final Report, TULSEA-ICRAF, Bogor.
- Ketterings, Q.M.; R. Coe; M. Van Noordwijk; Y. Ambagau & C. Palm (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.

Kustiari, R. (2007). Perkembangan pasar kopi dunia dan implikasinya bagi Indonesia.

Forum Penelitian Agro Ekonomi, 25 (1): 43-55.

Montagnini, F. & P.K.R. Nair (2004). Carbon sequestration: An underexploited

environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 61:281-295.

Mutuo, P.K.; G. Cadisch; A. Albrecht; C.A. Palm & L. Verchot (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.

NUFFIC-UNIBRAW (1984). Tanah dan keadaan tanah di DAS Kalikonto hulu, Jawa

Timur. Dephut-Dirjen RRL dan Kerajaan Belanda DGIS. 162 p.

O'Connor, T.; S. Rahayu & M. Van Noordwijk (2005). Burung pada Agroforestri kopi

di Lampung. World Agroforestry Centre, ICRAF Southeast Asia, Bogor, 29 hal.

Pender J.; S. Suyanto; J. Kerr & E. Kato. 2008. Impacts of the Hutan Kamasyarakatan

Social Forestry Program in the Sumberjaya Watershed, West Lampung District of Sumatra, Indonesia. IFPRI Discussion Paper 00769. International Food Policy

Research Institute. Washington DC, USA

Priyadarsini, R. (1999). Estimasi modal C (C-stock) masukan bahan organik dan

hubungannya dengan populasi cacing tanah pada sistem wanatani. Program Pasca Sarjana, Universitas Brawijaya, Malang, 76 pp.

- Sugiharto, C. (2002). Kajian aluminium sebagai faktor pembatas pertumbuhan akar sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nelson). Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya. Malang, 64 pp.
- Swibawa, G. (2009). Alih guna lahan hutan menjadi agroforestri berbasis kopi: Dampak terhadap populasi dan diversitas nematoda. Disertasi. Paska Sarjana, Universitas Brawijaya, Malang.
- Tondok, A.R. (1999). Kebijakan pengembangan kopi di Indonesia. Warta Pusat Penelitian Kopi dan Kakao 15(1):1-21
- Van Noordwijk, M.; S. Rahayu; K. Hairiah; Y.C. Wulan; Farida & B. Verbist (2002). Carbon stock assessment for a forest-to-coffee conversion landscape in Sumberjaya (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.
- Waterloo, M.J. (1995). Water and nutrient dynamics of pinus caribea plantation forests on former grassland soils in Southwest Viti Levu, Fiji, PhD thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam, the Netherlands. 478 pp.
- Wrigley, G. (1998). Coffee. Tropical Agriculture Series. Longman Scientific & technical. 639 pp.