

Komposisi, Struktur dan Cadangan Karbon pada Agroforestri Kopi Arabika di Kabupaten Aceh Tengah, Aceh

Composition, Structure and Carbon Reservsation in Arabican Coffee Agroforestri in Central Aceh District, Aceh

Maulidil Fajri^{1*}, Nurheni Wijayanto², dan Iwan Hilwan²

¹Program studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Teuku Umar, Meulaboh 23615

²Departemen Silvikultur Tropika, Fakultas Kehutanan IPB University
Jalan Ulin Kampus IPB Darmaga, Bogor, 16680 Indonesia.

Email korespondensi: maulidilfajri@utu.ac.id

ABSTRACT

Carbon stocks indicates the amount of CO₂ that is absorbed and stored in plant biomass coffee, shade trees, undergrowth and litter. Objective research is to analyze the species composition and structure of vegetation and determine the amount of biomass, carbon stocks and CO₂ uptake aboveground part in both types of coffee agroforestry with non-destructive methods, using allometric equation, in Central Aceh district. The location of the plot was determined by purposive sampling based on the representation of stands. The dominant value of a species in plants is calculated using the important value index (INP). The composition of agroforestry constituents consisted of 34 species, of which 15 species were found in simple agroforestry and 19 species in complex agroforestry. The horizontal structure of agroforestry consists of 5 diameter classes, with vegetation density decreasing continuously in the number of individuals. Carbon stocks agoforestri types of coffee in a simple decrease with an increase in diameter <10 cm and 10-19.99 cm and the complex agroforestry increases. The highest non-coffee carbon reserves are found at growth rates of 10-19.99 cm in simple agroforestry.

Keywords: arabica coffee, agroforestry, carbon stocks and composition of vegetation

ABSTRAK

Cadangan karbon menunjukkan besaran CO₂ yang diserap dan disimpan pada biomassa tanaman kopi, pohon pelindung, tumbuhan bawah dan serasah. Tujuan penelitian adalah menganalisis komposisi jenis dan struktur vegetasi dan menentukan besaran biomassa, cadangan karbon dan serapan CO₂ bagian atas permukaan tanah pada dua tipe agroforestri kopi, dengan metode non-destruktif, menggunakan persamaan allometrik, di Kabupaten Aceh Tengah. Lokasi plot ditentukan secara *purposive sampling* berdasarkan keterwakilan tegakan. Nilai dominan suatu jenis pada tumbuhan dihitung menggunakan indeks nilai penting (INP). Komposisi jenis penyusun agroforestri terdiri dari 34 jenis, yang mana pada agroforestri sederhana ditemukan 15 jenis dan pada agroforestri kompleks 19 jenis. Stuktur horizontal agroforestri terdiri dari 5 kelas diameter, dengan kerapatan vegetasi mengalami penurunan berkesinambungan jumlah individunya. Cadangan karbon jenis kopi pada agoforestri sederhana mengalami penurunan seiring dengan peningkatan diameter <10 cm dan 10-19.99 cm dan pada agroforestri kompleks mengalami kenaikan. Cadangan karbon non kopi tertinggi terdapat pada kelas diameter p 10-19.99 cm pada agroforestri sederhana.

Kata Kunci: agroforestri, cadangan karbon, kopi arabika, komposisi vegetasi.

PENDAHULUAN

Agroforestri adalah model lanskap yang terdapat pepohonan di lahan pertanian (Van Noordwijk *et al.* 2016). Agroforestri

dapat mengatasi masalah degradasi dan deforestasi akibat dari terjadinya perubahan tutupan lahan hutan menjadi lahan perkebunan dan pertanian (Ekadinata *et al.*

2012). Agroforestri sederhana merupakan suatu sistem pertanian di mana pohon ditanam secara tumpangsari dengan satu atau lebih jenis tanaman semusim, sedangkan agroforestri kompleks adalah sistem pertanian menetap yang melibatkan banyak jenis vegetasi atau pohon baik sengaja ditanam maupun yang tumbuh secara alami, pertumbuhannya mengikuti pola tanam atau menyerupai ekosistem hutan alam (Hairiah dan Rahayu, 2010).

Kabupaten Aceh Tengah memiliki luas areal perkebunan kopi \pm 48 000 ha (Rencana Pembangunan Jangka Menengah 2013). Pola penanaman kopi dengan pohon pelindung di Kabupaten Aceh Tengah telah membentuk dua tipe agroforestri yaitu agroforestri sederhana dan agroforestri kompleks. Kondisi agroforestri tersebut masih memerlukan perbaikan tata kelola dalam upaya mempertahankan kondisi iklim mikro dan dampak positifnya terhadap lingkungan. Sebagaimana Dinesh *et al.* (2017) mengemukakan bahwa, keberadaan pepohonan pada agroforestri dapat mengurangi dampak perubahan iklim di tingkat tapak, serta berimplikasi positif dalam menurunkan besaran emisi di tingkat lahan (Tosiani 2015). Sistem agroforestri juga berkontribusi dalam mengurangi peningkatan CO₂ di atmosfer dengan cara meningkatkan cadangan karbon di atas permukaan tanah (Siallagana *et al.* 2015; Stefano dan Jacobson 2017). Variasi cadangan karbon ditentukan oleh adanya perbedaan komposisi dan struktur vegetasi (Adinugroho *et al.* 2013; Natalia *et al.* 2014; IPCC 2007). Cadangan karbon menunjukkan besaran CO₂ yang diserap dan disimpan pada biomassa tumbuhan, serasah dan dalam tanah sebagai bahan organik tanah (Hairiah *et al.* 2006).

Untuk beberapa wilayah di Indonesia, cadangan karbon rata-rata pada agroforestri kompleks berbasis kopi adalah 43 Mg ha⁻¹, agroforestri sederhana berbasis kopi pada lahan milik masyarakat rata-rata 23 Mg ha⁻¹ dan 38 Mg ha⁻¹ diperoleh pada lahan percobaan. Laju pertumbuhan cadangan karbon pada agroforestri multistrata berbasis kopi adalah 0.9 - 1.86 Mg ha⁻¹ th⁻¹ dan agroforestri sederhana (milik masyarakat)

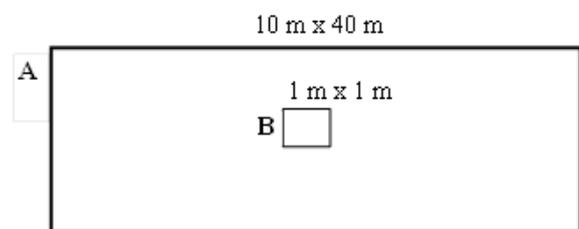
rata-rata 0.6 - 0.97 Mg ha⁻¹ th⁻¹ dan 2.8 Mg ha⁻¹ th⁻¹ di kebun percobaan (Hairiah dan Rahayu 2010). Oleh karena itu diperlukan estimasi cadangan karbon dan mengkalkulasikan potensi serapan CO₂ melalui analisis komposisi jenis dan struktur vegetasi pada agroforestri kopi arabika. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis komposisi jenis dan struktur vegetasi pada dua tipe agroforestri dan penentuan besaran biomassa, cadangan karbon serta jumlah serapan CO₂ bagian atas permukaan tanah di Kabupaten Aceh Tengah, Provinsi Aceh.

METODE

Penelitian dilaksanakan pada bulan September-November 2018. adapun lokasi dilakukan pada lahan agroforestri kopi di Kabupaten Aceh Tengah Provinsi, Aceh.

Pengambilan Data

Lokasi plot ditentukan secara *purposive sampling*. Petak contoh yang digunakan metode petak tunggal 10 m x 40m. Lokasi penelitian pada ketinggian 1 000 – 1 400 m dpl. Petak (A) ukuran 10 m x 40 m untuk tingkat pertumbuhan semai, pancang, tiang dan pohon, sedangkan petak (B) ukuran 1 m x 1m untuk tingkat tumbuhan bawah. Metode pengambilan untuk analisis vegetasi dan pendugaan cadangan karbon disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Plot analisis vegetasi dan pendugaan karbon menurut Hairiah *et al.* (2011).

Analisis Data

Nilai dominan suatu jenis pada tumbuhan dihitung menggunakan indeks nilai penting (INP) (Soerianegara dan Indrawan 2008). Tingkat Keanekaragaman tumbuhan menggunakan perhitungan Indeks keanekaragaman jenis Shannon-Wiener (H'), dan Indeks pemerataan jenis (E) untuk menunjukkan pemerataan individu setiap jenis dalam suatu areal menggunakan

persamaan Magurran (1988). Struktur yang diamati ialah struktur horizontal (sebaran diameter pohon). Struktur horizontal digunakan untuk mengetahui sebaran individu pada tiap kelas diameter. Adapun kelas diameter yang digunakan dalam analisis ini terdiri dari 5 kelas yang diantaranya yaitu <10 cm, 10-19.9 cm, 20-29.9 cm, 30-39.9 cm dan >40 cm (Soerianegara dan Indrawan 2008).

Pendugaan Cadangan Karbon Biomassa tumbuhan bawah

Dihitung menggunakan persamaan (BSN 2011):

$$Bt_b = \frac{BKC_{tb}}{BBC_{tb}} \times TBB_{tb}$$

Tabel 1 Model alometrik pendugaan biomassa

Kategori biomassa	Persamaan allometrik	Sumber
Pohon yang bercabang	$Y = 0.11 \rho D^{2.62}$	Ketterings <i>et al.</i> (2001).
Pohon tidak bercabang	$Y = (\pi/40) \rho H D^2$	Hairiah <i>et al.</i> (2002)
Kopi	$Y = 0.2811 D^{2.0635}$	Arifin (2001); Van Noordwijk <i>et al.</i> (2002).
Pisang	$Y = 0.0303 D^{2.1345}$	Van Noordwijk <i>et al.</i> (2002).
Kakao	$Y = 0.1208 D^{1.98}$	Yuliasmara <i>et al.</i> (2009)

Keterangan: Y: biomassa (kg. pohon⁻¹), D: dbh (cm), H: tinggi total pohon (cm), dan ρ: kerapatan

Cadangan karbon di Duga

Dengan menggunakan nilai konversi karbon (BSN 2011):

$$C_b = B \times \%C_{organik}$$

Keterangan;

C_b = cadangan karbon dari biomassa (kg),

B = total biomassa (kg) dan

$\%C_{organik}$ = nilai presentase cadangan karbon, sebesar 0.47.

Karbon per Hektar

Dihitung menggunakan persamaan berikut (BSN 2011):

$$C_h = \frac{C_x}{1000} \times \frac{10\ 000}{L_{plot}}$$

Ket: C_h = Cadangan karbon per hektar pada masing-masing (ton C ha⁻¹), C_x = Cadangan karbon pada masing-masing *carbon pool* tiap plot (kg) dan L_{plot} = Luas plot pada masing-masing *pool* (m²).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dominansi Jenis (INP)

Berdasarkan hasil penelitian analisis vegetasi dikeseluruhan plot pengamatan,

Keterangan: B_{tb} = Biomassa tumbuhan bawah (kg), BKC_{tb} = Berat kering contoh vegetasi (kg), BBC_{tb} = Berat basah contoh vegetasi (kg) dan TBB_{tb} = Total berat basah contoh vegetasi (kg).

Biomassa serasah

Menggunakan persamaan (BSN 2011) sebagai berikut: $B_{SS} = \frac{BKC_{SS}}{BBC_{SS}} \times TBB_{SS}$

Keterangan: B_{SS} = Biomassa serasah (kg), BKC_{SS} = Berat kering contoh serasah (kg), BBC_{SS} = Berat basah contoh serasah (kg), dan TBB_{SS} = Total berat basah contoh serasah (kg)

Biomassa tanaman

Pendugaan biomassa menggunakan persamaan alometrik (Tabel 1):

diketahui bahwa jumlah jenis vegetasi yang ditemukan ialah sebanyak 15 jenis pada agroforestri sederhana dan 19 jenis pada agroforestri kompleks. Adapun bentuk model tutupan lahan agroforestri sederhana dapat dilihat pada Gambar 2 dan pengukuran luasan petak plot pada Gambar 3.

Hasil penelitian menunjukkan nilai INP tertinggi di tingkat tumbuhan bawah ialah jenis cabe rawit (*Capsicum annum*) pada agroforestri kompleks- sebesar 27.2% dan pada agroforestri sederhana ialah jenis tembakau (*Nicotiana tabacum*) sebesar 11.4%. Tingginya INP tingkat tumbuhan bawah diduga karena, terdapatnya jenis tanaman yang dibudidaya. Nilai INP tertinggi di tingkat pertumbuhan semai dan pancang ialah jenis kopi arabika (*Coffea arabica*), pada kedua tipe agroforestri sebesar 171.6%-149.0% dan sebesar 125.1%-103.4%. Adapun jenis tanaman dominan dan kodominan yang memiliki INP tertinggi di tingkat pertumbuhan Tabel 2.

Tabel 2 Jenis tanaman dominan yang memiliki INP tertinggi di tingkat pertumbuhan

Tingkat pertumbuhan	Nama jenis	Indek nilai penting (%)	
		AGS	AGK
Tumbuhan bawah	Cabe Rawit (<i>Capsicum annuum</i>)	10.8	27.2
	Tembakau (<i>Nicotiana tabacum</i>)	-	11.4
Semai	Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i>)	171.6	149.0
	Terung Belanda (<i>Solanum betaceum</i>)	18.9	23.0
Pancang	Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i>)	125.1	103.4
	Lamtoro (<i>Leucaena leucocephala</i>)	29.0	32.0
Tiang	Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i>)	62.1	16.7
	Lamtoro (<i>Leucaena leucocephala</i>)	154.1	129.6
	Gamal (<i>Gliricidia sepium</i>)	11.5	51.8
Pohon	Durian (<i>Durio zibethinus</i>)	32.2	42.3
	Gamal (<i>Gliricidia sepium</i>)	14.8	43.0
	Lamtoro (<i>Leucaena leucocephala</i>)	172.9	68.7

Keterangan: AGS= Agroforestri Sederhana; AGK= Agroforestri Kompleks.



Gambar 2. Model tutupan agroforestri sederhana



Gambar 3. Pengukuran luasan petak plot

Tingginya INP jenis kopi arabika di tingkat semai dan pancang, hal ini diduga karena tingkat kepadatan dan persebarannya yang cukup merata di seluruh areal plot pengamatan. Indriyanto (2010) menjelaskan bahwa spesies-spesies yang dominan dalam suatu komunitas tumbuhan akan memiliki INP yang tinggi. Nilai INP tertinggi untuk tingkat tiang dan pohon ialah jenis lamtoro (*Leucaena leucocephala*) pada kedua tipe agroforestri sebesar 154.1% - 129.6% dan sebesar 172.9% - 68.7%, masing-masing dari jenis tanaman dominan.

Tanaman kopi arabika merupakan jenis tanaman yang membutuhkan intensitas cahaya. Hal ini sebagaimana diperjelas oleh Sakiroh *et al.* (2011) bahwa, tanaman kopi pada fase vegetatif memerlukan intensitas cahaya 34% dan fase generatif 50-60%, oleh karena itu tanaman kopi membutuhkan

pohon pelindung. Long *et al.* (2015) menyatakan bahwa intensitas cahaya lebih mudah terkontrol dan iklim mikro dengan pelindung lamtoro lebih baik jika dibandingkan dengan durian dan jati cina. Penggunaan pohon lamtoro dan gamal juga dapat memfiksasi N dari udara (Manurung *et al.* 2012; Evizal *et al.* 2012a). Penggunaan pohon pelindung ini termasuk jenis pohon pelindung tetap, berdasarkan ketetapan rekomendasi dari *Good Agriculture Practices* (GAP) (Kementan 2014). Sebagaimana dengan adanya pengaturan komposisi pohon pelindung, maka dapat mempertahankan peran ekologi dan ekonomi pada ekosistem kopi (Priyadarshini *et al.* 2011).

Indeks Keanekaragaman dan Kemerataan Jenis

Indeks keanekaragaman jenis (H') digunakan untuk melihat tingkat keanekaragaman jenis tumbuhan pada tutupan lahan hutan dan komunitas agroforestri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa H' di semua tingkat pertumbuhan yang diperoleh tergolong rendah hingga sedang pada kedua agroforestri. Rendahnya nilai H' karena faktor homogenitas yang didominasi oleh jenis tanaman kopi, lamtoro dan gamal.

Indeks kemerataan (E) jenis yang diperoleh cenderung mendekati angka 1 di semua tingkat pertumbuhan pada kedua tipe

agroforestri. Nilai E menggambarkan pemerataan penyebaran individu dari spesies yang menyusun komunitas dan menggambarkan kestabilan suatu komunitas (Wahyudi *et al.* 2014). Nilai E berkisar antara 0-1, semakin kecil nilai E atau mendekati nol, maka semakin tidak merata penyebaran organisme dalam komunitas tersebut yang didominasi oleh jenis tertentu dan sebaliknya semakin besar nilai E atau mendekati satu, maka organisme dalam komunitas akan menyebar secara merata (Daget 1976). Adapun nilai H' dan E tanaman pada kedua tipe agroforestri disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Indeks keanekaragaman dan kemerataan jenis tanaman di lokasi pengamatan

Lokasi	Indeks	Tumbu-han bawah	Semai	Pancang	Tiang	Pohon
AGS	H'	0.96	0.07	0.32	1.06	1.08
	E	0.87	0.06	0.16	0.46	0.52
AGK	H'	0.87	0.22	0.91	1.51	1.72
	E	0.63	0.13	0.44	0.69	0.96

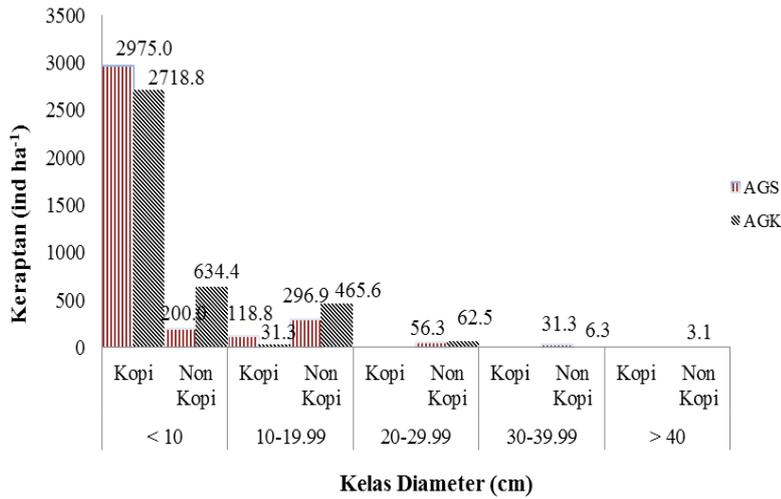
Keterangan: AGS= Agroforestri Sederhana; AGK= Agroforestri Komplek; H' ; Keanekaragaman Jenis; dan E = Kemerataan Jenis.

Rendahnya nilai H' pohon disebabkan jumlah spesies yang sedikit pada penggunaan lahannya dan tingginya nilai H' pada kedua tipe agroforestri dikarenakan jumlah spesies pada seluruh lahan bervariasi (Endarwati *et al.* 2017). Mason and Macdonald (1986) mengemukakan bahwa jika nilai H' lebih kecil dari 1 berarti keanekaragaman jenis rendah, jika di antara 1-3 berarti sedang, produktivitas yang cukup kondisi ekosistem yang cukup seimbang dan tekanan ekologi termasuk kedalam kategori sedang, namun apabila nilai H' lebih dari 3 maka mengindikasikan bahwa areal tersebut memiliki keanekaragaman dan produktivitas yang tinggi dan stabilitas ekosistem yang mendukung pada agroforestri kompleks. Odum (1993) menjelaskan bahwa, keanekaragaman cenderung meningkat pada suatu komunitas yang beragam, begitu pula keanekaragaman rendah pada komunitas suatu yang baru terbentuk dan seragam. Faktor lain yang mempengaruhi perbedaan

nilai H' ialah kondisi habitat dan adanya gangguan baik secara alami ataupun karena kegiatan manusia (Pratiwi 1987).

Sruktur Vegetasi pada Agroforestri

Struktur tegakan agroforestri dibagi menjadi dua yaitu vertikal dan horizontal. Struktur horizontal pada agroforestri merupakan suatu gambaran hubungan antara kerapatan tanaman kopi dan non kopi (ind ha^{-1}) dengan kelas diameternya dengan sebaran kelas diameter tegakannya dibagi ke dalam 5 kelas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua tipe agroforestri memperlihatkan tingkat kerapatan individu tanaman semakin menurun dari diameter yang terkecil hingga ke diameter yang besar. Wahyuni (2014) menyatakan bahwa untuk mengetahui struktur dan komposisi tumbuhan perlu dilakukan analisis vegetasi pada setiap fase pertumbuhannya. Adapun sebaran kelas diameter pada kedua tipe agroforestri disajikan pada Gambar 2.



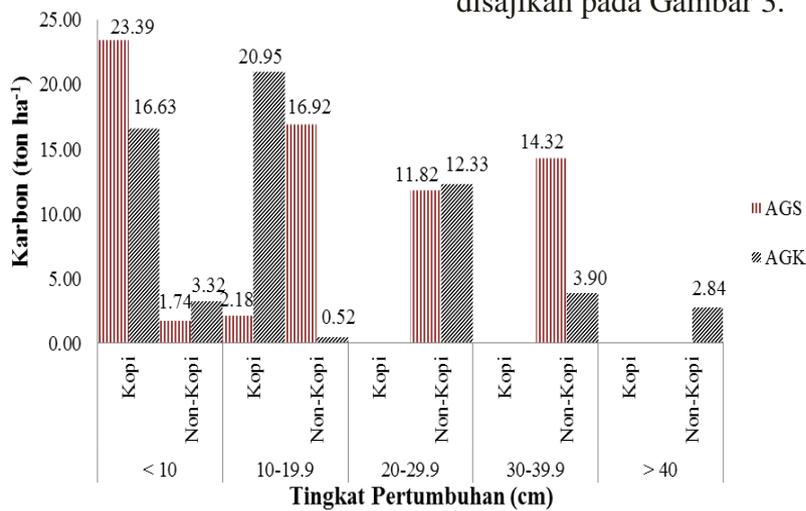
Gambar 2 Sebaran kelas diameter pada kedua tipe agroforestri

Sebaran kelas diameter menunjukkan bahwa kerapatan tinggi terdapat jenis kopi pada agroforestri sederhana kelas diameter < 10 cm dan 10 cm-19.99 cm, sedangkan jenis non kopi mendominasi pada agroforestri kompleks yaitu pada kelas diameter 20 cm-29.9 cm dan 30 cm-39.9 cm.

Sebaran kelas diameter pada kedua agroforestri secara berkesinambungan mengalami penurunan jumlah individu di kelas diameternya. Gambar 2 menunjukkan sebaran kelas diameter pada lokasi penelitian mengikuti bentuk kurva J terbalik yang merupakan karakteristik tegakan pada tipe agroforestri tidak seumur. Indriyanto (2010) menyatakan tegakan pada suatu vegetasi hutan tanaman yang tidak seumur dapat dilihat dari kondisi fisik kanopi yang tidak seragam dan terputus.

Pendugaan Cadangan Karbon

Besarnya nilai biomassa dan cadangan karbon akan menentukan besaran serapan karbondioksida (CO₂), yaitu semakin tinggi komponen nilai biomassa maka cadangan karbon dan serapan CO₂ juga akan semakin tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa cadangan karbon jenis kopi mengalami penurunan seiring dengan peningkatan diameter < 10 cm dan 10-19,99 cm pada agroforestri sederhana dan mengalami kenaikan pada agroforestri kompleks. Cadangan karbon non kopi tertinggi terdapat di tingkat pertumbuhan 10-19,99 cm pada agroforestri sederhana. Adapun besaran cadangan karbon berdasarkan tingkat pertumbuhan kopi dan non kopi pada kedua tipe agroforestri disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3 Besaran cadangan karbon berdasarkan tingkat pertumbuhan kopi dan non kopi.

Menurut Banjarnahor *et al.* (2018) menjelaskan bahwa, terjadinya perubahan cadangan karbon di atas permukaan tanah berkorelasi positif dengan kerapatan pohon, jenis, diameter, biomassa pohon, nekromaasa, tumbuhan bawah dan serasah. Peningkatan biomassa dan cadangan karbon pada komunitas agroforestri dipengaruhi oleh diameter tanaman dan kerapatan pohon (Rahayu *et al.* 2007). Karbon yang diserap oleh tanaman disimpan dalam bentuk biomasa kayu (Lasco *et al.* 2004). Namun, jika dilihat dari kelas diameter tingkat pertumbuhan pada kedua tipe agroforestri terdapat perbedaan, yaitu terjadi penurunan dan kenaikan cadangan karbon pohon pada masing-masing kelas diameter. Penurunan cadangan karbon pohon dikarenakan sedikitnya jumlah pohon dan tingkat kerapatan yang rendah (Lubis *et al.* 2013).

KESIMPULAN

Indeks nilai penting (INP) pada kedua tipe agroforestri tingkat tumbuhan bawah didominasi oleh tanaman tembakau, tingkat semai dan pancang ialah jenis kopi arabika dan untuk tingkat tiang dan pohon ialah jenis lamtoro. Struktur horizontal pada kedua tipe agroforestri memperlihatkan tingkat kerapatan individu tanaman semakin menurun dari diameter yang terkecil hingga ke diameter yang besar, sehingga sebaran kelas diameter membentuk kurva J terbalik yang merupakan karakteristik tegakan pada kedua tipe agroforestri tidak seumur.

Serapan CO₂ total pada agroforestri sederhana (275.22 tonCO₂ ha⁻¹) lebih besar dari pada agroforestri kompleks (244.94 ton CO₂ ha⁻¹). Cadangan karbon jenis kopi mengalami penurunan seiring dengan peningkatan diameter <10 cm dan 10-19,99 cm pada agroforestri sederhana dan mengalami kenaikan pada agroforestri kompleks. Cadangan karbon non kopi tertinggi terdapat di diameter 10-19,99 cm pada agroforestri sederhana.

DAFTAR PUSTAKA

Arifin J. 2001. Estimasi penyimpanan C pada berbagai sistem penggunaan lahan di Kecamatan Ngantang,

Malang. Malang (ID): Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang. 61pp.

Azham Z. 2015. Estimasi cadangan karbon pada tutupan lahan hutan sekunder, semak dan bekular di Kota Samarinda. *Jurnal Agrifor* 14(2):325-338.

Banjarnahor KG, Setiawan A, Darmawan A. 2018. Estimation on the change of above-ground carbon stock in arboretum university of lampung. *Jurnal Sylva Lestari*. 6(2):51-59.

[BSN] Badan Standarisasi Nasional. 2011. *Pengukuran dan Perhitungan Cadangan Karbon -Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (Ground based Forest Carbon Accounting)*. Jakarta (ID): Badan Standarisasi Nasional.

Daget J. 1976. *Les Modèles Mathématiques en Ecologie*. Paris (FR): Masson.

Dinesh D, Campbell B, Bonilla-Findji O, Richards M. 2017. *10 best bet innovations for adaptation in agriculture: A supplement to the UNFCCC NAP Technical Guidelines*. Sinclair F, Rosenstock T, Gitz V, Lini Wollenberg L, editor. Netherlands (NL): Available online at: www.ccafs.cgiar.org. CCAFS Working.

Ekadinata A, Zulkarnain MT, Widayati A, Dewi S, Rahman S, van Noordwijk M. 2012. *Perubahan Penggunaan dan Tutupan Lahan di Indonesia tahun 1990, 2000 dan 2005*. Brief 29. Bogor (ID). World Agroforestry Centre - ICRAF, SEA Regional Office.

Enderwati MA, Wicaksono KS, Suprayogo D. 2017. Biodiversitas vegetasi dan fungsi ekosistem: hubungan antara kerapatan, keragaman vegetasi, dan infiltrasi tanah pada inceptisol lereng Gunung Kawi, Malang. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 4(2):577-588.

Evizal R, Tohari, Prijambada ID, Widada J. 2012. Peranan serasah terhadap sumbangan N dan P pada

- agroekosistem kopi. *Agrotrop*. 2(2):177-183
- Hairiah K, Arifin J, Prayogo C, Widiyanto, Sunaryo. 2002. Prospek Agroforestry berbasis kopi sebagai cadangan karbon. *Agroteksos*. 12 (2): 145-150.
- Hairiah K, Rahayu S, Berlian. 2006. Layanan lingkungan agroforestri berbasis kopi: cadangan karbon dalam biomassa pohon dan bahan organik tanah (studi kasus dari Sumberjaya, Lampung Barat). *Agrivita*. 28(3):298-309.
- Hairiah K, Rahayu S. 2010. Mitigasi perubahan iklim (agroforestri kopi untuk mempertahankan cadangan karbon lanskap). *Simposium kopi*. Bali (ID): Puslit Koka. 1-35.
- Hairiah K, Ekadinata A, Sari RR, Rahayu S. 2011. *Petunjuk Praktis Pengukuran Cadangan Karbon: Dari Tingkat Lahan Ke Bentang Lahan*. Edisi ke-2. Bogor (ID): World Agroforestry Centre (ICRAF). SEA Regional Office.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. *Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Metz B, Davidson OR, Bosch PR, Dave R, Meyer LA (Editor). Cambridge (GB): Cambridge University Press.
- Indriyanto. 2010. *Ekologi Hutan*. Jakarta (ID): Bumi Aksara.
- Istomo, Farida NE. 2017. Potensi simpanan karbon di atas permukaan tanah tegakan *Acacia nilotica* L. (Wild) ex. Del. di Taman Nasional Baluran, Jawa Timur. *JPSL*. 7(2): 155-162.
- [KEMENTAN] Kementerian Pertanian Direktorat Jenderal Perkebunan. 2014. *Peraturan Menteri Pertanian: Pedoman Teknis Budidaya Kopi yang Baik (Good Agriculture Practices/Gap On Coffee)*. NOMOR. 49/Permentan/OT.140/4/2014.
- Ketterings QM, Coe R, Van Noordwijk M, Ambagau Y, Palm C. 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.
- Lasco RD, Guillermo IQ, Cruz RVO, Bantayan NC, Pulhin FB. 2004. Carbon stocks assessment of a secondary forest in mount makiling forest reserve, philippines. *Journal of Tropical Forest Science*. 16(1): 35-45.
- Long NV, Ngoci NQ, Dung NN, Kristiansen P, Yunusa I, Fyfe C. 2015. The effects of shade tree types on light variation and Robusta coffee production in Vietnam. *Engineering*. 7: 742-753
- Lubis SH, Arifin HS, Samsuudin I. 2013. Analisis cadangan karbon pohon pada lanskap hutan kota di DKI Jakarta. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*. 10(1):1-20
- Magurran AE. 1988. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Australia (AU): Croom Helm.
- Manurung M, Khalid, Sukanto, Purbayani D, Armiayadi. 2012. *Buku Panduan Upaya Peningatan Produksi dan Kualitas Kopi Gayo yang Berkelanjutan*. Takengon (ID): Sub Project IOM Sega dan Universitas Gayah Putih.
- Mason CF, Macdonald SM. 1986. *Ecology and Conservation*. New York (US): Cambridge University Press.
- Natalia D, Yuwono SD, dan Qurniati R. 2014. Potensi penyerapan karbon pada sistem agroforestri di Desa Pesawaran Indah Kecamatan Padang Cermin Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung. *Jurnal Sylva Lestari*. 2(1): 11-20
- Odum PE. 1993. *Dasar-Dasar Ekologi*. Yogyakarta (ID): Gadjah Mada University Press.
- Pratiwi. 1987. Analisis komposisi jenis pohon di Taman Nasional Gunung

- Gede Pangrango Jawa Barat. *Buletin Penelitian Hutan*. 4(8): 28-34.
- Priyadarshini R, Hairiah K, Suprayogo D, Baon JB. 2011. Keragaman pohon penaung pada kopi berbasis agroforestri dan pengaruhnya terhadap layanan lingkungan. *Berk Penel Hayati*. 7: 81-85.
- Rahayu SB, Lusiana B, Van Noordwijk M. 2007. *Pendugaan Cadangan Karbon di Atas Permukaan Tanah pada Berbagai Sistem Penggunaan Lahan di Kabupaten Nunukan, Kalimantan Timur*. Bogor (ID): ICRAF.
- [RPJM] Rencana Pembangunan Jangka Menengah. 2013. *Tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Kabupaten Aceh Tengah Provinsi Aceh Tahun 2012-2017*. Takengon (ID): Qanun Kabupaten Aceh Tengah Nomor 2 Tahun 2013.
- Siallagana LM, Rahmawaty, Rauf A. 2015. Pendugaan cadangan karbon pada tegakan agroforestri (studi kasus di Desa Parbaba Dolok). *Perenema Forestry Science Journal*. 4: (4).
- Soerianegara I, Indrawan A. 2008. *Ekologi Hutan Indonesia*. Bogor (ID): Fakultas Kehutanan IPB.
- Sakiroh, Sobari I, Herman M. 2011. Pertumbuhan, produksi, dan cita rasa kopi pada berbagai tanaman penaung. *Seminar Nasional Inovasi Teknologi Kopi*. 157-166.
- Stefano AD, Jacobson MG. 2017. Soil carbon sequestration in agroforestry systems: a meta-analysis. *Agroforest Syst*. doi:10.1007/s10457-017-0147-9.
- Tosiani A. 2015. *Buku Kegiatan Serapan dan Emisi Karbon*. Jakarta (ID): Direktorat Inventarisasi dan Pemantauan Sumber Daya Hutan, Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Van Noordwijk M, Rahayu S, Hairiah K, Wulan YC, 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 of Science in China*. 45 (C): 75-86.
- Van Noordwijk M, Coe R, Sinclair F. 2016. *Central Hypotheses For The Third Agroforestry Paradigm Within A Common Definition*. Bogor (ID): World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Regional Program. doi:org/10.5716/WP16079.
- Wahyudi A, Harianto SP, Darmawan A. 2014. Keanekaragaman jenis pohon di hutan pendidikan konservasi terpadu tahura wan abdul ranchman. *Jurnal Sylva Lestari*. 2(3):1-10
- Wahyuni NI. 2014. Korelasi indeks nilai penting terhadap biomasa pohon. *Seminar Hasil-Hasil Penelitian*. 113-124.
- Yuliasmara F, Wibawa A, Prawoto AA. 2009. Karbon tersimpan pada berbagai umur dan sistem pertanaman kakao: Pendekatan Allometrik. *Pelita Perkebunan*. 25(2):86-100.