

**SERAPAN KARBON PADA SISTEM AGROFORESTRY BERBASIS GAHARU  
(*Gyrinops versteegii*) DI SRAGEN DAN KARANGANYAR, JAWA TENGAH**

*Carbon Sequestration at Several Gaharu-Based Agroforestry Practices  
in Sragen and Karanganyar, Central Java*

**Rawana<sup>1</sup>, Suryo Hardiwinoto<sup>2</sup>, Budiadi<sup>2</sup>, Sri Rahayu<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Stiper Yogyakarta,

<sup>2</sup>Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

Korespondensi Penulis: wanatropikajurnal@gmail.com

**ABSTRACT**

*Agroforestry, the practice of growing trees and crops in interacting combinations, has a pivotal role to reduce the CO<sub>2</sub> concentration in the atmosphere, and it subsequently sequesters the carbon in part of stems, branches, roots, and crowns of the trees composing their vegetation communities. The objective of the research is to know the carbon sequestration in the three agroforestry practices; those are multilayer tree garden, taungya, and home garden. The research was carried out from April 2017 to March 2018 at Sragen and Karanganyar regency central Java Province. Plot method, with the plot size of 20m x20m for trees, 10m x10 m for pole, and 5m x5m for sapling, was used in the sampling. The carbon sequestration was measured by Chave's allometric equation. The carbon sequestration of above ground the trees planted at taungya was 265.18 kg C ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>, in home garden was 236.29 kg C ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>, and in multi layer tree garden was 290.14 kg C ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>. Seasonal fluctuation of the highest carbon sequestration in home garden occurs on October-December; in multilayer tree garden occurs on January-March; and in taungya occurs on July-September.*

**Key words:** *Agroforestry practices, G.versteegii, seasonal fluctuation, Carbon sequestration*

**PENDAHULUAN**

Meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca (*greenhouse gases/GHG*) terutama gas CO<sub>2</sub> merupakan penyebab utama terjadinya pemanasan global (*global warming*), suhu meningkat mencapai 1,5 - 4,5°C (Peichl *et al.*, 2006; Agonafer dan Worku, 2017). Peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer mempunyai dampak positif terhadap peningkatan produktivitas tanaman, tetapi mempunyai dampak negatif yang lebih besar yaitu perubahan iklim, peningkatan suhu

udara, tingginya intensitas kekeringan dan banjir. Di samping itu konversi lahan hutan menjadi lahan pertanian berdampak pada peningkatan suhu tanah, dan penurunan kelembapan udara pada zona perakaran (Saha dan Pramod, 2012).

Praktik penggunaan lahan seperti aforestasi, reforestasi, permudaan alami hutan, sistem silvikultur, dan agroforestry dapat mengurangi konsentrasi kandungan CO<sub>2</sub> di atmosfer (Soto-Pinto *et al.*, 2010). Tipe penggunaan lahan yang berbeda mempunyai peran yang berbeda dalam pengurangan konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosphere dan tingkat emisi gas rumah kaca (Soto-Pinto *et al.*, 2010). Sistem agroforestry (termasuk agrisilvikultur) sangat dipertimbangkan sebagai penyerap dan penyimpan karbon (*C sink*) dikarenakan pengintegrasian dengan pohon-pohon yang dapat menyerap CO<sub>2</sub> dari atmosfer kemudian menyimpannya dalam pohon secara permanen (Peichl *et al.*, 2006). Sistem agroforestry, di samping berpotensi menyerap karbon juga dapat berkembang menjadi sebuah alternatif teknologi untuk mengurangi tingkat deforestasi pada zona tropis dan menawarkan variasi produk untuk layanan komunitas pedesaan (Soto-Pinto *et al.*, 2010).

Serapan karbon dalam sistem agroforestry dipengaruhi oleh struktur, komposisi jenis dan fungsi masing-masing komponen dalam sistem agroforestry (Peichl *et al.*, 2006; Soto-Pinto *et al.*, 2010). Kapasitas agroforestry dalam menyerap karbon tergantung pada jenis, keanekaragaman (*biodiversity*), kondisi tanah, iklim, dan geografi (Natalia *et al.*, 2017). Sistem agroforestry yang diterapkan di daerah tropis dapat menyerap karbon di atas tanah sebesar 0,29-15,21 Mg C ha<sup>-1</sup> th<sup>-1</sup>, sedangkan karbon yang diserap di bawah tanah dengan kedalaman di atas 1 m sebesar 10-300 Mg C ha<sup>-1</sup> th<sup>-1</sup> (Nair *et al.*, 2010). Adapun menurut Peichl *et al.*, (2006) potensi serapan dan simpanan karbon pada sistem agroforestry di daerah tropis sebesar 21-240 Mg C per hektar, sedangkan serapan dan simpanan karbon di lahan agroforestry di daerah sub tropik mencapai 10 -280 Mg C per hektar.

Pohon *Gyrinops versteegii* didomestikasi di Pulau Jawa pada tahun 2000 (Mulyaningsih dan Yamada, 2007) dengan sistem agroforestry di lahan pekarangan, kebun, maupun di lahan persawahan. Sistem ini berdampak pada perubahan *landscape*, dari ekosistem persawahan menjadi ekosistem kebun campuran yang terdiri dari pepohonan dengan tajuk berstrata yang berfungsi seperti hutan. Perubahan ekosistem persawahan menjadi ekosistem agroforestry dapat meningkatkan serapan karbon dan menyimpannya di vegetasi penyusun secara permanen (*vegetational storage*), sehingga dapat menurunkan konsentrasi gas CO<sub>2</sub> di atmosfer. Menurut *International Panel on Climate Change (IPCC)* merekomendasikan perbaikan mitigasi peningkatan emisi CO<sub>2</sub>, diantaranya adalah aforestasi, dan konversi lahan pertanian menjadi lahan agroforestry. Penelitian tentang serapan karbon pada berbagai sistem

agroforestry masih sedikit (Peichl *et al.*, 2006). Adapun penelitian tentang serapan karbon pada sistem agroforestry berbasis gaharu di Jawa Tengah belum dilakukan. Penelitian tentang serapan karbon pada lahan yang berasal dari konversi lahan persawahan menjadi kebun campur dan taungya juga belum dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah (1) Untuk mengetahui potensi serapan karbon di atas tanah di lahan agroforestry berbasis gaharu, (2) Untuk mengetahui fluktuasi musiman serapan karbon di atas tanah di lahan agroforestry berbasis gaharu di Karanganyar dan Sragen, Jawa Tengah.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di Desa Bendungan, Kecamatan Kedawung, Kabupaten Sragen dan Desa Gayam Dampo, Kecamatan Karanganyar, Kabupaten Karanganyar, Jawa Tengah. Desa Bendungan secara geografis terletak pada 7°28'31.18"S-7°28'40.95" dan 111°2'55.55"E-111°3'8.50"E, dengan ketinggian tempat 116 m di atas permukaan laut. Kelerengan lahan rata-rata sebesar 2-3%, dengan tipe tanah grumosol kelabu. Curah hujan rata-rata 2.123 mm/tahun dengan jumlah hari hujan 119 (Badan Pusat Statistik/BPS<sub>a</sub>, 2017). Adapun lokasi penelitian yang berada di Kabupaten Karanganyar terletak di Kelurahan Gayam Dampo, Kecamatan Karanganyar. Secara geografis Kelurahan Gayam Dampo terletak pada 7°36'55.70"S - 7°37'3.71"S dan 111° 0'40.70"E -111° 0'50.26"E, dengan ketinggian tempat 313 m dpl. Berdasarkan Schmidt dan Ferguson, Kelurahan Gayam Dampo mempunyai tipe iklim C (agak basah) dengan rata-rata bulan basah 9 bulan dan bulan kering 3 bulan. Dalam 10 tahun terakhir rata-rata curah hujan berada antara 2.094 mm/tahun sampai 3.424 mm/tahun, dengan jenis tanah mediteran coklat (BPS<sub>b</sub>, 2017). Kedua lokasi penelitian merupakan areal domestikasi pohon *G.versteegii* yang ditanam pada tahun 2004 dengan pola agroforestry. Berdasarkan Nair (1993) diklasifikasikan dalam sistem agrisilvikultur, dengan praktik (*practice*) yang berbeda yaitu kebun campur, taungya dan pekarangan.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanaman *G.versteegii* berumur 14 tahun. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah kompas, GPS, pita meter, tali plastik dengan panjang 20 m, galah ukur panjang 1.3m, *tally sheet*, komputer, kamera, dan haka meter.

Pengambilan sampel digunakan plot bertingkat (*nested plot*), ukuran 5 m x 5 m digunakan untuk pengukuran sapihan (pohon kecil dengan diameter kurang dari 10 cm), plot ukuran 10 m x 10 m untuk mengukur tingkat sapihan yaitu pohon dengan diameter lebih besar atau sama dengan 10 dan kurang dari 20 cm. Plot ukuran 20 m x 20 m untuk tingkat pohon, yaitu pohon dengan diameter lebih besar atau sama dengan 20 cm (Standar Nasional Indonesia,

2011; Noor'an *et al.*, 2015; dan Ismoto dan Farida, 2017). Parameter yang digunakan dalam penelitian ini yaitu (1) Tinggi pohon, (2) Diameter pohon (dbh) dan (3) Berat jenis kayu.

Perhitungan biomassa pohon dengan menggunakan persamaan alometrik yang dikembangkan oleh Chave *et al.* (2005) untuk daerah lembab dengan curah hujan antara 1800 mm /tahun sampai dengan 6000 mm/tahun sebagai berikut:

$$(AGB)_{est} = \exp(-2.977 + \ln(\rho D^2 H)) \equiv 0.0509 \times \rho D^2 H \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

AGB : biomassa di atas tanah

$\rho$  : berat jenis kayu ( $\text{g/cm}^3$ )

D : pertumbuhan diameter setinggi dada (cm)

H : tinggi pohon (m),  $\exp:2,718$ .

Fluktuasi serapan karbon dihitung dengan menggunakan persamaan rumus (1), dimana nilai D digantikan  $\Delta D$  yang merupakan pertumbuhan diameter yang diukur setiap tiga bulan. Pengukuran diawali pada awal bulan April (bulan ke-4) 2017 dan berakhir pada akhir bulan Maret (bulan ke-3) 2018. Perhitungan fluktuasi serapan karbon dihitung setiap tiga bulan, yaitu periode April-Juni, Juli-September, Oktober-Desember, dan Januari-Maret. Serapan karbon tiap pohon ditaksir dengan mengalikan biomasa pohon di atas tanah dengan faktor konversi kandungan karbon (digunakan nilai *default* 0,46) (Hairiah *et al.*, 2010).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

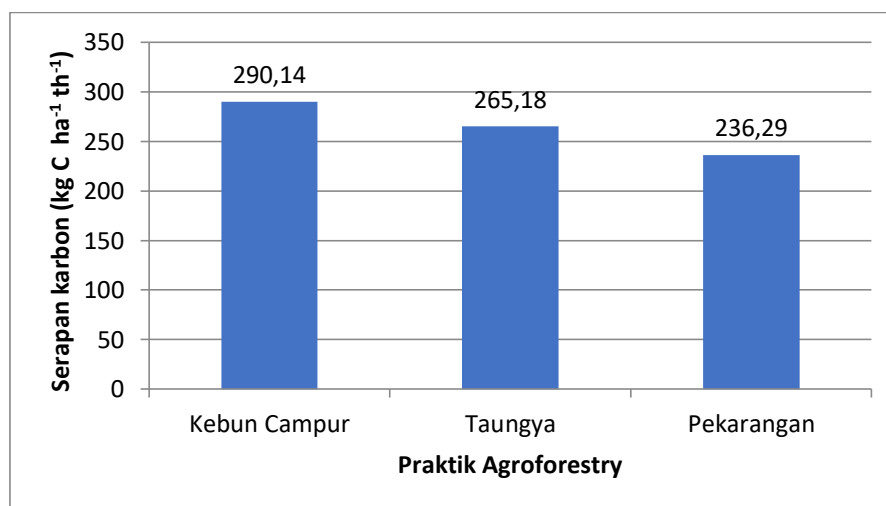
### Serapan Karbon di Lahan Praktik Agroforestry

Serapan karbon di atas tanah vegetasi penyusun di kebun campur yaitu sebesar 290,14  $\text{kg C ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$  lebih tinggi dibandingkan di lahan taungya (265,18  $\text{kg C ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ ) dan di lahan pekarangan (236,29  $\text{kg C ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ ) (Gambar 1). Serapan karbon di atas tanah vegetasi penyusun tingkat sapihan di kebun campur yaitu sebesar 3,00  $\text{kg C ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$  lebih tinggi dibandingkan dengan di lahan taungya (2,70  $\text{kg C ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ ) dan di pekarangan (0,56  $\text{kg C ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ ). Serapan karbon di atas tanah vegetasi penyusun tingkat tiang di kebun campur (103,65  $\text{kg C ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ ) lebih tinggi dibandingkan dengan di lahan pekarangan (2,93  $\text{kg C ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ ) dan di taungya (31,90  $\text{kg C ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ ). Selanjutnya, serapan karbon di atas tanah vegetasi penyusun tingkat pohon di lahan pekarangan (232,80  $\text{kg C ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ ) lebih tinggi dibandingkan dengan di lahan taungya (230,58  $\text{kg C ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ ) dan di kebun campur (183,49  $\text{kg C ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$ ) (Tabel 1). Persentase serapan karbon di atas tanah tingkat sapihan, tiang dan pohon di lahan taungya berturut-turut adalah 1,02%, 12,03% dan 86,95%; di lahan pekarangan masing-masing adalah

0,24%, 1,24% dan 98,52%; dan di lahan kebun campur berturut-turut adalah 1,03%, 35,72% dan 63,24%.

Serapan karbon di tiga lokasi praktik agroforestry menunjukkan bahwa terdapat kecenderungan tingkat pohon mempunyai persentase serapan karbon lebih tinggi dibandingkan dengan tingkat tiang dan sapihan. Persentase serapan karbon tingkat pohon tertinggi pada lahan pekarangan yaitu sebesar 98,52%, kemudian diikuti oleh taungya (86,95%) dan kebun campur (63,24%). Penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Labata *et al.*, (2012) yang menemukan bahwa persentase serapan karbon sistem *mixed multistory*, *taungya* dan *Falcata-coffee system* pada tingkat pohon lebih tinggi dibandingkan dengan tingkat tiang dan sumber karbon yang lain yaitu masing-masing sebesar 94 %, 91%, dan 85%.

Dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Nair *et al.*, (2010) terhadap praktik agroforestry *fodder bank* yang dilakukan di Afrika Barat terhadap tanaman *Gliricidea sepium*, *Pterocarpus lucens* dan *P. erinacens*, serapan karbon di atas tanah di praktik agroforestry sebesar 290 kg C ha<sup>-1</sup> th<sup>-1</sup>, hampir sama dengan serapan karbon di lahan kebun campur di Sragen. Hasil penelitian serapan karbon di lokasi penelitian lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil penelitian Lorenz dan La1 (2010) yang menemukan serapan karbon di hutan yang tidak terganggu di hutan tua boreal di Hemisphere Utara sebesar 400 kg C ha<sup>-1</sup> th<sup>-1</sup>, dan di hutan tropik sebesar 490 kg C ha<sup>-1</sup> th<sup>-1</sup>.



Gambar 1. Serapan karbon di atas tanah selama satu tahun di tiga praktik agroforestry

Tabel 1. Serapan karbon musiman ( $\text{kg C ha}^{-1}3\text{-bln}^{-1}$ ) setiap tiga bulan pada praktik agroforestry taungya, pekarangan dan kebun campur

Praktik Agroforestry	Tingkatan	Fluktuasi serapan karbon ( $\text{kg C ha}^{-1}3\text{-bln}^{-1}$ )				Total ( $\text{kg C ha}^{-1}\text{th}^{-1}$ )	%
		April-Juni	Juli-Sept.	Okt-Des	Jan-Maret		
Kebun campur	Sapihan	1.00	0.70	0.30	1.00	3.00	1.03
	Tiang	20.70	20.32	21.00	41.63	103.65	35.72
	Pohon	28.34	11.65	65.60	77.90	183.49	63.24
	<b>Total</b>	50.04	32.67	86.90	120.53	290.14	100.00
Taungya	Sapihan	0.70	1.00	0.30	0.70	2.70	1.02
	Tiang	7.50	10.60	8.40	5.40	31.90	12.03
	Pohon	60.20	70.08	40.20	60.10	230.58	86.95
	<b>Total</b>	68.40	81.68	48.90	66.20	265.18	100.00
Pekarangan	Sapihan	0.16	0.09	0.18	0.13	0.56	0.24
	Tiang	0.21	1.01	1.01	0.70	2.93	1.24
	Pohon	11.40	51.60	132.00	37.80	232.80	98.52
	<b>Total</b>	11.77	52.70	133.19	38.63	236.29	100.00

### Fluktuasi Serapan Karbon Musiman di Praktik Agroforestry

Berdasarkan Tabel 1 diketahui bahwa serapan karbon di lahan kebun campur, taungya, dan lahan pekarangan yang dihitung setiap 3 bulan dalam satu tahun menunjukkan jumlah yang berbeda-beda. Serapan karbon di lahan kebun campur sebesar 32,67-120,53 di lahan taungya sebesar 48,90-81,68 dan di lahan pekarangan sebesar 11,77-133,19  $\text{kg C ha}^{-1} 3\text{-bln}^{-1}$ . Fluktuasi serapan terbesar di lahan kebun campur terjadi pada periode Januari-Maret, sedangkan serapan terkecil terjadi pada periode Juli-September. Sebaliknya serapan karbon pada tingkat pohon, tiang, dan sapihan di lahan taungya terjadi pada bulan Juli-September, sedangkan serapan karbon terendah terjadi pada periode Oktober-Desember. Fluktuasi serapan karbon di lahan pekarangan tertinggi pada periode Oktober-Desember, sedangkan serapan terendah terjadi pada periode April-Juni. Dinamika serapan karbon di lahan praktik agroforestry sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah kondisi lingkungan, curah hujan, kandungan air tanah, dan musim (Saha dan Pramod, 2012; Chen, *et al.*, 2016).

Serapan karbon pada tingkat pohon, tiang dan sapihan di kebun campur terjadi pada periode Januari-Maret yaitu masing-masing sebesar 77,90; 41,63 dan 1,00  $\text{kg C ha}^{-1} 3\text{-bln}^{-1}$ , sebaliknya serapan karbon pohon dan tiang terkecil terjadi pada periode Juli-September masing-masing sebesar 11,65 dan 20,32  $\text{kg C ha}^{-1} 3\text{-bln}^{-1}$ . Demikian pula serapan karbon tertinggi tingkat pohon, tiang dan sapihan di lahan pekarangan terjadi pada periode Oktober-Desember masing-masing sebesar 132,00; 1,01 dan 0,18  $\text{kg C ha}^{-1} 3\text{-bln}^{-1}$ . Adapun serapan karbon tertinggi tingkat pohon, tiang dan sapihan di lahan taungya terjadi pada periode Juli-

September berturut-turut sebesar 70,08; 10,60 dan 1,00 kg C ha<sup>-1</sup> 3-bln<sup>-1</sup>. Periode pengukuran April-Juni, dan Juli-September mempresentasikan musim kemarau, dan periode Oktober-Desember dan Januari-Maret mempresentasikan musim penghujan menunjukkan serapan karbon yang berbeda. Penelitian ini berkesesuaian dengan penelitian yang dilakukan oleh Chen *et al.*,(2016) bahwa pohon *Fraxinus griffithii* pada bulan Mei-September mempunyai tingkat asimilasi CO<sub>2</sub> lebih tinggi dibandingkan pada bulan-bulan yang lain. Lebih lanjut disebutkan bahwa pada periode Mei-September di Taiwan banyak terjadi typhoon yang berdampak meningkatkan curah hujan sampai mencapai 3144,5 mm th<sup>-1</sup>.

Jenis penyerta pohon *G.versteegii* menunjukkan penciri penting dalam penetapan praktik agroforestry, dan menentukan besarnya serapan karbon. Pohon penyerta pada praktik agroforestry kebun campur mempunyai jenis yang lebih banyak, sehingga komunitas kebun campur dapat menyerap karbon lebih besar yaitu 290,14 kg C ha<sup>-1</sup> th<sup>-1</sup> dibandingkan dengan praktik agroforestry lainnya (Tabel 2). Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Saha dan Pramod (2012) bahwa penanaman pohon *P.juliflora*, *L.leucocephala*, *A. nilotica* dan *A.indica* sangat baik untuk restorasi dan rehabilitasi lahan yang tergradasi dalam zona riparian, dan dapat meningkatkan serapan karbon.

Tabel 2 menunjukkan bahwa serapan karbon *G.versteegii* pada berbagai praktik agroforestry besarnya berbeda-beda. Serapan karbon *G.versteegii* tertinggi tingkat pohon terdapat di lahan *taungya* yaitu sebesar 230,00 kg C ha<sup>-1</sup> th<sup>-1</sup>, kemudian disusul di lahan pekarangan sebesar 20,00 kg ha<sup>-1</sup> th<sup>-1</sup>, dan lahan kebun campur sebesar 4,9 kg ha<sup>-1</sup> th<sup>-1</sup>. Saha dan Pramod (2012) menyatakan bahwa pohon mempunyai peranan yang sangat penting dalam penyerapan karbon yaitu melalui peningkatan biomasa per satuan luas dan jumlah pohon dalam komunitas. Jumlah serapan karbon pohon *G.versteegii* di lahan *taungya* lebih tinggi disebabkan karena jumlah individu tingkat pohon di lahan *taungya* jumlahnya lebih banyak dibandingkan dengan di lahan pekarangan dan kebun campur, hal ini diduga berkaitan ketersediaan air yang cukup memadai (melalui irigasi teratur) untuk mendukung proses fotosintesis.

Adapun untuk tingkat tiang serapan *G.versteegii* paling besar terjadi di lahan kebun campur yaitu sebesar 100,00 kg C ha<sup>-1</sup> th<sup>-1</sup>, kemudian disusul di lahan *taungya* 30,00 kg ha<sup>-1</sup> th<sup>-1</sup>, dan di lahan pekarangan 2,90 kg ha<sup>-1</sup> th<sup>-1</sup>. Serapan karbon tingkat tiang di kebun campur mempunyai besaran paling tinggi hal ini disebabkan karena jumlah pohon *G.versteegii* tingkat tiang di kebun campur cukup banyak. Banyaknya pohon *G.versteegii* tingkat tiang di kebun campur diduga karena terjadinya persaingan dengan tanaman penyerta yang mempunyai tajuk yang berat seperti *T. grandis*, *M. zapota*, *E.aquea*, *D.longan* dan lainnya. Disamping itu diduga keterbatasan persediaan air di musim kemarau menjadi faktor dominan dalam pertumbuhan

diameter. Lorenz dan La1 (2010) menyatakan bahwa air merupakan faktor yang sangat diperlukan oleh pohon untuk memproduksi biomasa dan penyerapan karbon melalui proses fotosintesis. Serapan karbon tingkat sapihan jenis *G.versteegii* maupun jenis lain di ketiga praktik agroforestry jumlahnya cukup sedikit, hal ini sesuai dengan jumlah biomasa yang dihasilkan.

Tabel 2. Serapan karbon jenis-jenis yang ditanam di lahan taungya, pekarangan dan kebun campur setiap tiga bulan selama satu tahun.

Praktik Agroforestry	Tingkat	Jenis	Fluktuasi serapan karbon (kg C ha <sup>-1</sup> 3-bln <sup>-1</sup> )				Total (kg C ha <sup>-1</sup> th <sup>-1</sup> )	%	
			Apr-Juni	Jul-Sept	Okt-Des	Jan-Maret			
Kebun campur	Sapihan	<i>Gyrinops versteegii</i>	1.00	0.70	0.30	1.00	3.00	1.03	
	Tiang	<i>Gliricidea sepium</i>	0.10	0.02	0.30	0.30	0.72	0.25	
		<i>Tectona grandis</i>	0.00	0.00	0.10	0.50	0.60	0.21	
		<i>Leucaena leucocephala</i>	0.30	0.20	0.30	0.40	1.20	0.41	
		<i>Bauhinia purpurea</i>	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.01	
		<i>Mangifera indica</i>	0.30	0.10	0.30	0.40	1.10	0.38	
		<i>Gyrinops versteegii</i>	20.00	20.00	20.00	40.00	100.00	34.47	
	Pohon	<i>Tectona grandis</i>	6.00	2.00	20.00	20.00	48.00	16.54	
		<i>Paraserianthes falcataria</i>	7.00	2.00	10.00	10.00	29.00	10.00	
		<i>Manilkara zapota</i>	8.00	4.00	10.00	10.00	32.00	11.03	
		<i>Leucaena glauca</i>	0.10	0.05	0.30	0.10	0.55	0.19	
		<i>Gyrinops versteegii</i>	0.90	2.00	1.00	1.00	4.90	1.69	
		<i>Dimocarpus longan</i>	0.30	0.03	7.00	5.00	12.33	4.25	
		<i>Eugenia aquea</i>	3.00	0.30	3.00	5.00	11.30	3.89	
		<i>Aleurites moluccana</i>	0.07	0.04	0.60	0.10	0.81	0.28	
		<i>Mangifera indica</i>	0.10	0.03	0.30	0.40	0.83	0.29	
		<i>Leucaena leucocephala</i>	2.00	0.30	7.00	20.00	29.30	10.10	
		<i>Artocarpus heterophyllus</i>	0.10	0.00	0.20	0.20	0.50	0.17	
		<i>Eugenia malaccensis</i>	0.00	0.00	4.00	2.00	6.00	2.07	
		<i>Cassia siamea</i>	0.07	0.00	0.20	0.10	0.37	0.13	
	<i>Gliricidea sepium</i>	0.70	0.90	2.00	4.00	7.60	2.62		
		<b>Total</b>		<b>50.04</b>	<b>32.67</b>	<b>86.90</b>	<b>120.53</b>	<b>290.14</b>	100.00
	Taungya	Sapihan	<i>Gyrinops versteegii</i>	0.70	1.00	0.30	0.70	2.70	1.02
Tiang		<i>Tectona grandis</i>	0.50	0.60	0.40	0.40	1.90	0.72	
		<i>Gyrinops versteegii</i>	7.00	10.00	8.00	5.00	30.00	11.31	
Pohon		<i>Sweitenia macrophylla</i>	0.20	0.08	0.20	0.10	0.58	0.22	
		<i>Gyrinops versteegii</i>	60.00	70.00	40.00	60.00	230.00	86.73	
	<b>Total</b>		<b>68.40</b>	<b>81.68</b>	<b>48.90</b>	<b>66.20</b>	<b>265.18</b>	100.00	
Pekarangan	Sapihan	<i>Sweitenia macrophylla</i>	0.09	0.03	0.10	0.05	0.27	0.11	
		<i>Eugenia aquea</i>	0.02	0.02	0.02	0.01	0.07	0.03	
		<i>Gyrinops versteegii</i>	0.05	0.04	0.06	0.07	0.22	0.09	
	Tiang	<i>Sweitenia macrophylla</i>	0.01	0.01	0.01	0.00	0.03	0.01	
		<i>Gyrinops versteegii</i>	0.20	1.00	1.00	0.70	2.90	1.23	
	Pohon	<i>Gyrinops versteegii</i>	4.00	9.00	4.00	3.00	20.00	8.46	

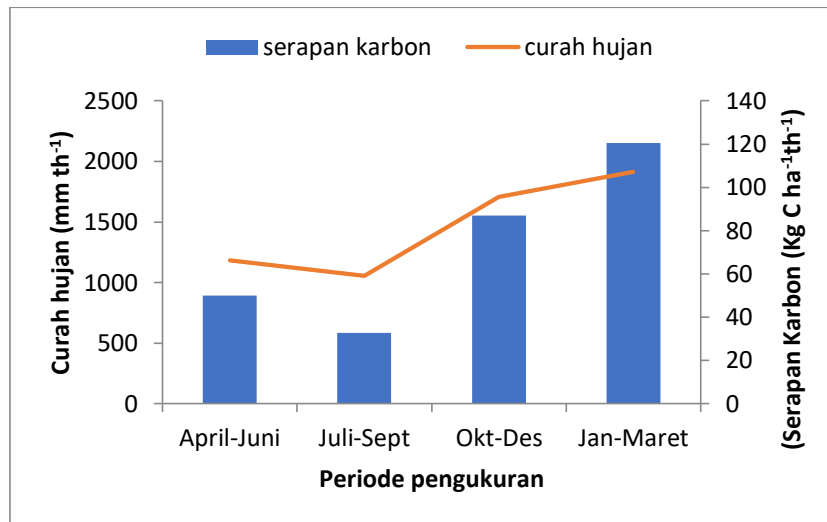


Praktik Agroforestry	Tingkat	Jenis	Fluktuasi serapan karbon (kg C ha <sup>-1</sup> 3-bln <sup>-1</sup> )				Total (kg C ha <sup>-1</sup> th <sup>-1</sup> )	%
			Apr-Juni	Jul-Sept	Okt-Des	Jan-Maret		
		<i>Sweitenia macrophylla</i>	6.00	20.00	10.00	20.00	56.00	23.70
		<i>Cocos nucifera</i>	0.10	2.00	0.30	0.10	2.50	1.06
		<i>Mimusops elengi</i>	0.00	9.00	5.00	5.00	19.00	8.04
		<i>Lansium domesticum</i>	0.60	1.00	0.70	0.70	3.00	1.27
		<i>Tectona grandis</i>	0.00	0.60	2.00	4.00	6.60	2.79
		<i>Spondias dulcis</i>	0.70	10.00	110.00	5.00	125.70	53.20
		<b>Total</b>	<b>11.77</b>	<b>52.70</b>	<b>133.19</b>	<b>38.63</b>	<b>236.29</b>	<b>100.00</b>

### Pengaruh Faktor Lingkungan terhadap Serapan Karbon

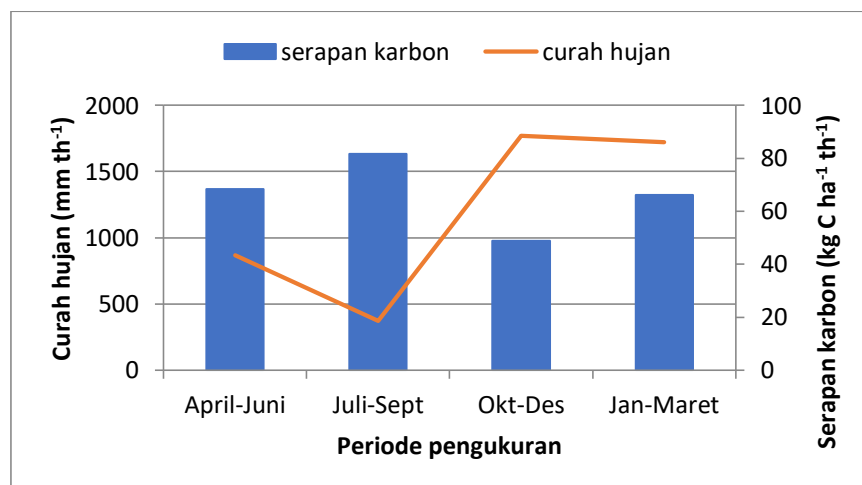
Sistem agroforestri dipercaya mempunyai potensi yang tinggi untuk menyerap C dalam bentuk gas CO<sub>2</sub> dari atmosfer dikarenakan dapat mengoptimalkan kondisi tapak (mencakup tanah, intensitas cahaya, nutrisi, dan air) untuk pertumbuhan, dibandingkan dengan sistem pertanian maupun peternakan (Nair *et al.*, 2010). Serapan karbon dalam sistem agroforestry sangat dipengaruhi oleh jenis tanaman yang diusahakan, umur tanaman, manajemen termasuk praktik agroforestry yang dipilih. Berdasarkan studi terhadap berbagai pola agroforestry dalam berbagai kondisi ekologis menunjukkan bahwa sistem pertanian yang berbasis kayu dengan sistem pertanian yang tidak berbasis kayu, serapan karbon terbesar berada pada permukaan tanah yang berdekatan dengan pohon, dibandingkan dengan yang jauh dari pohon.

Serapan karbon di atas tanah di lahan kebun campuran Sragen paling tinggi terjadi pada bulan Januari-Maret, sedangkan serapan karbon paling rendah terjadi pada bulan Juli-September tahun 2017 (Gambar 2). Periode bulan Juli-September merupakan bulan dengan hari hujan dan curah hujan paling rendah (puncak musim kemarau). Adapun bulan Januari-Maret mempunyai hari hujan dan curah hujan yang paling tinggi (puncak musim penghujan). Tanaman pada lahan kebun campuran mencapai serapan karbon paling tinggi di bulan Januari-Maret, diduga berkaitan dengan ketersediaan air yang mencukupi. Menurut Lorenz & Lal (2010) menyatakan bahwa H<sub>2</sub>O merupakan senyawa utama yang diperlukan untuk proses photosynthesis, yang merupakan proses masuknya karbon ke komunitas agroforestry. Senyawa H<sub>2</sub>O diperlukan untuk proses photosynthesis, di lain pihak senyawa H<sub>2</sub>O juga dihasilkan dari proses respirasi.



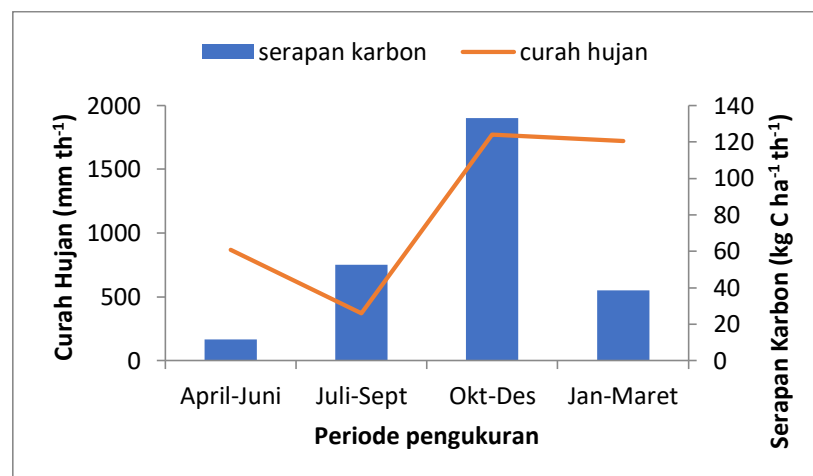
Gambar 2. Grafik curah hujan dan serapan karbon di atas tanah di lahan kebun campuran, kabupaten Sragen tahun 2017 (BPS<sub>a</sub>, 2017).

Pohon *G.versteegii* di lahan taungya mempunyai serapan karbon tertinggi terjadi pada bulan Juli-September, sedangkan serapan karbon terendah pada bulan Oktober-Desember (Gambar 3). Serapan karbon tertinggi pada bulan Juli-September diduga karena ketersediaan air, nutrisi dan sinar matahari pada bulan itu tersedia optimal untuk melakukan proses asimilasi karbon. Air (H<sub>2</sub>O) tersedia di tapak dalam jumlah yang cukup karena berasal dari irigasi teknis. Sebaliknya serapan karbon pada bulan Oktober-Desember paling rendah hal ini diduga di tapak terjadi genangan air (*waterlogging*), karena tapak berada di tengah lahan persawahan dengan air tanah dangkal. Akhtar dan Nazir (2013) menyatakan bahwa dampak *negative waterlogging* adalah berkurangnya konsentrasi oksigen di dalam tanah, terakumulasinya *ethylene*, serta terganggunya penyerapan nutrisi dari dalam tanah. *Waterlogging* menyebabkan kondisi *hypoxia* (rendahnya konsentrasi oksigen) dalam tanah, dikarenakan tingkat kelarutan oksigen dalam air rendah.



Gambar 3. Grafik curah hujan dan serapan karbon di atas tanah di lahan taungya kabupaten Karanganyar tahun 2017 (BPS<sub>b</sub>, 2017).

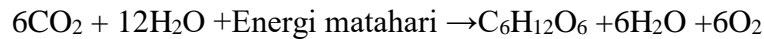
Gambar 4 menunjukkan bahwa bulan April-September tahun 2017 jumlah hari hujan mulai menurun dan mulai naik sampai bulan Oktober artinya bulan April-September merupakan periode musim kemarau, ketersediaan air mencapai titik terbawah, dengan kondisi seperti ini akan menyebabkan pertumbuhan *G.versteegii* paling rendah dibandingkan dengan bulan yang lain. Pohon *G.versteegii* yang ditanam di lahan pekarangan di Karanganyar mencapai kenaikan serapan karbon tertinggi pada bulan Oktober-Desember. Kenaikan serapan karbon paling rendah terjadi pada bulan April-Juni, sedangkan kenaikan tertinggi terjadi pada bulan Oktober-Desember. Pertumbuhan *G.versteegii* di lahan pekarangan tumbuh baik pada musim penghujan, dimana ketersediaan air sangat mencukupi untuk pertumbuhan *G.versteegii*. Air merupakan nutrisi yang sangat dibutuhkan oleh tanaman untuk pertumbuhan (biomasa) termasuk tanaman *G.versteegii*. Ketersediaan air yang tidak mencukupi (*deficit*) akan menyebabkan pertumbuhan tanaman terganggu (Spurr dan Barnes, 1980).



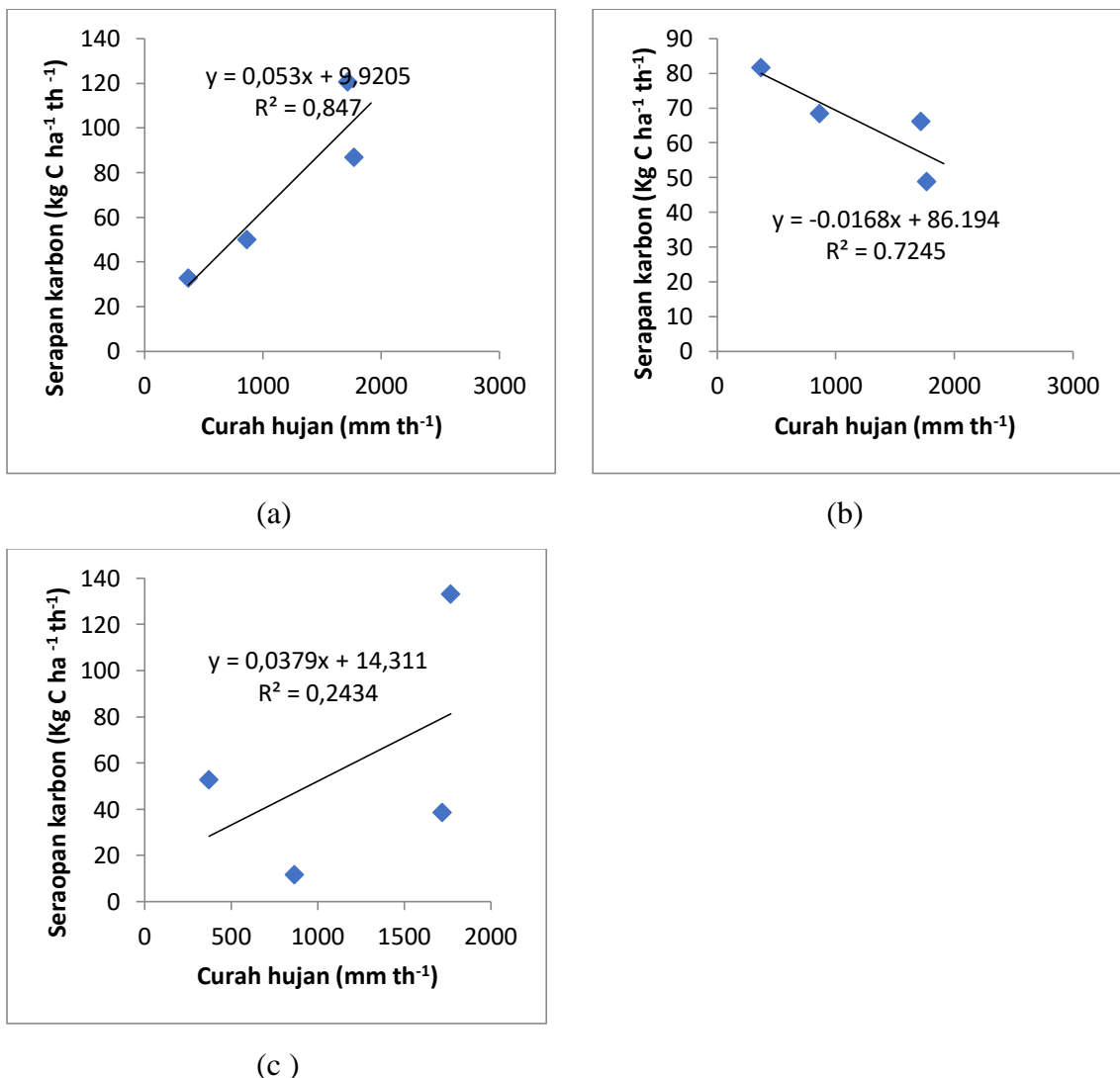
Gambar 4. Grafik curah hujan dan serapan karbon di atas tanah di lahan pekarangan kabupaten Karanganyar tahun 2017 (BPS<sub>b</sub>, 2017).

Gambar 5a dan 5c menunjukkan bahwa curah hujan berkorelasi positif dengan serapan karbon di atas tanah di lahan kebun campur dan di lahan pekarangan. Semakin besar curah hujan akan diikuti dengan semakin besar serapan karbonnya. Hubungan curah hujan dan serapan karbon di lahan kebun campur kabupaten Sragen diformulasikan dengan persamaan regresi sederhana yaitu  $y=0,00004x + 0,0161$ , dimana  $y$ =serapan karbon, dan  $x$ =curah hujan, dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,8470. Sedangkan hubungan curah hujan dan serapan karbon di pekarangan kabupaten Karanganyar diformulasikan dengan persamaan regresi sederhana yaitu  $y=0,00001x + 0,0501$ , dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,2434. Curah hujan sangat berkaitan dengan *net primary production* (NPP) dan *gross primary production* (GPP). Nair (1993) menyatakan

bahwa untuk melakukan fiksasi karbon ( $\text{CO}_2$ ) diperlukan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) dalam proses fotosintesis. Reaksi fotosintesis dapat ditulis sebagai berikut:



Karbon dalam bentuk gas  $\text{CO}_2$  diserap dari atmosfer, sedangkan  $\text{H}_2\text{O}$  diambil dari dalam tanah. Air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) merupakan satu substrat yang sangat penting dalam proses fotosintesis yaitu proses fiksasi  $\text{CO}_2$  untuk diserap dan disimpan di tempat penyimpanan yang lebih aman (dalam tanaman). Tingkat fotosintesis sangat tergantung kepekaan stomata, dimana kepekaan stomata ini sangat dipengaruhi oleh ketersediaan air dan konsentrasi  $\text{CO}_2$  di daun. Efisiensi fotosintesis ditentukan oleh ketersediaan air, nutrisi, dan cahaya matahari (Lorenz & La1, 2010; Nair *et al.*, 2010). Proses partisi karbon menjadi daun, kulit, cabang, batang, akar dan organ-organ reproduktif dapat berjalan karena ketersediaan  $\text{H}_2\text{O}$  yang tercukupi, disamping ketersediaan unsur hara dan sinar matahari.



Gambar 5. Kecenderungan curah hujan terhadap serapan karbon di (a) kebun campur (b) lahan taungya, dan (c) lahan pekarangan.

Gambar 5b menunjukkan bahwa curah hujan berkorelasi negatif terhadap serapan karbon di atas tanah di lahan taungya, artinya semakin tinggi curah hujan akan diikuti dengan jumlah serapan karbon semakin sedikit. Besarnya hubungan curah hujan dan serapan karbon di lahan taungya diformulasikan dengan persamaan regresi sederhana  $y = -0,0168x + 86,194$ , dimana  $y$ =serapan karbon dan  $x$ =curah hujan, dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,7245. Korelasi negatif antara jumlah serapan karbon dengan curah hujan di lahan taungya, diduga disebabkan adanya pengaruh *waterlogging* yang menyebabkan terjadinya *hypoxia* di lapisan perakaran. Kondisi *hypoxia* ini akan mengganggu respirasi perakaran dan berdampak pada terganggunya serapan karbon.

### KESIMPULAN

1. Serapan karbon di atas tanah paling tinggi terdapat di lahan kebun campuran yaitu sebesar 290,14 kg C ha<sup>-1</sup> th<sup>-1</sup>, kemudian disusul di lahan taungya sebesar 265,18 kg C ha<sup>-1</sup> th<sup>-1</sup>, dan di lahan pekarangan sebesar 236,29 kg C ha<sup>-1</sup> th<sup>-1</sup>. Persentase serapan karbon tingkat pohon di tiga praktik agroforestry sebesar 63,24-98,52%, tingkat tiang sebesar 1,24-35,72%, dan tingkat sapihan sebesar 0,24-1,03%.
2. Fluktuasi serapan karbon tertinggi di lahan kebun campuran dan pekarangan terjadi pada musim penghujan yaitu Januari-Maret (120,53 kg C ha<sup>-1</sup> 3-bln<sup>-1</sup>) dan Oktober-Desember (133,19 kg C ha<sup>-1</sup> 3-bln<sup>-1</sup>). Sebaliknya fluktuasi serapan karbon tertinggi di lahan taungya justru terjadi pada musim kemarau yaitu Juli-September (81,68 kg C ha<sup>-1</sup> 3-bln<sup>-1</sup>), kondisi ini diduga dikarenakan dampak *waterlogging* yang menyebabkan terganggunya proses asimilasi karbon.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah memberikan bantuan penelitian melalui kontrak penelitian nomor: 2433/UNIP.III/DITLIT/LT/2017. Diucapkan terima kasih juga kepada Dinas Kehutanan dan Perkebunan Kabupaten Sragen dan Ir. Wawan yang telah memberikan izin lokasi penelitian.

### DAFTAR PUSTAKA

- Agonafir H., & M. Worku . 2017. Carbon Stock in Gullele Botanical Garden: Implications for Carbon Emission Reduction, North Western Addis Ababa Ethiopia. Journal of Environment and Earth Science. ISSN 2224-3216(paper) ISSN2225-0948 (online). Vol.7, no.2 pp 40-51.

- Akhtar I dan Nazir, N. 2013. Effect of Waterlogging and Drought Stress in Plants. International journal of water resources and environment sciences 2(2):34-40. ISSN XXXX-XXXX DOI:10.5829/idos.ijwres.2013.2.2.11125 © IDOSI Publication.
- Albrechi A. & S.T. Kandji. 2003. Carbon Sequestration in Tropical Agroforestry Sistem. Journal of Agriculture Ecosystem and Environment. 99 (2003) 15-27. Elsevier. <http://www.elsevier.com/locate/agee>. Available on line at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).kur
- Anonimous. 2013. Pedoman Penggunaan Model Alometrik untuk Pendugaan Biomassa dan Stok Karbon Hutan di Indonesia. Peraturan Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan Nomor:P.01/VIII-P3KR/2012. Kementerian Kehutanan Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi. Indonesia.
- Arora G., S. Chaturvedi , R. Kaushal , A. Nain, S. Tewari, N.M.Alam, & O.P. Chaturvedi. 2014. Growth, Biomass, Carbon Stocks, and Sequestration in An Age Series of Populus deltoids Plantation in Tarai Region of Central Himalaya. Turkish Journal of Agriculture and Forestry (2014) 38:550-560. DOI:10.3906/tar-1307-94.<http://www.journal.tubitak.gov.tr/agriculture/>.
- Badan Pusat Statistik/BPS<sub>a</sub>. 2017. Kecamatan Karanganyar Dalam Angka 2017. Karanganyar: © BPS Kabupaten Karanganyar.
- BPS<sub>b</sub>/Badan Pusat Statistik . 2017. Kabupaten Sragen Dalam Angka 2017. BPS Kabupaten Sragen, Jawa Tengah
- Chave J, C. Andalo, S. Brown, M.A. Cains, J.Q.Chambers, D.Eamus, H. Folster, F. Fromard, N.Higuchi, T.Kira, J.P. Lescure, B.W. Nelson, H. Ogawa, H.Puig, B.Riera, T. Yamakura. 2005. Tree Allometry and Improved Estimation of Carbon Stocks and Balance in Tropical Forest. Oecology (2005) 145:87-99. DOI 10.1007/s00442-005-0100-x. Springer-Verlag.
- Chen C.Y. Wang, and J.Yu, 2016. Three-Year Study on Diurnal and Seasonal CO<sub>2</sub> Sequestration of a Young Fraxinus griffithii Plantation in Southern Taiwan. Forest Journal 2016,7,230. MDPI. Doi:10.3390/f7100230.
- Gupta RK, V. Kumar, K.R. Sharma, T.S. Buttar, G.Singh, & G. Mir. 2017. Carbon Sequestration Potential through Agroforestry: A Review. International Journal of Current Microbiology and Applied Science ISSN: 2319-7706 Volume 6 Number 8 (2017) pp.211-220.<http://www.ijcmas.com>.
- Hairiah K, S. Dewi, F. Agus, S. Velarde, A. Ekadinata, S. Rahayu & M. van Noordwijk. 2010. Measuring Carbon Stocks Across Land Use System: A Manual. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre (ICRAF), SEA Regional Office, 155 pages.
- Hani, A., Y. Indrajaya, P. Suryato, & Budiadi. 2016. Dryland Agroforestry Practices in Menoreh Hill, Kulon Progo. AGRIVITA Journal of Agricultural Science. 38(2): 193-203. Doi: 10.17503/agrivita.v38i2.416.
- Istomo dan Farida, N.E., 2017. Potensi Simpanan Karbon di Atas Permukaan Tanah Tegakan *Acacia nilotica* L. (willd) ex.Del. di Taman Nasional Baluran, Jawa Timur. Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan Vol.7 No.2 (Agustus 2017): 155-162
- Kumar, B.M., & P.K.R. Nair. 2011. Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems Opportunities and Challenges. The United State of America. Springer.
- Labata MM, C. Edgardo, Aranico, A. Catalina, J. Hermis , & R.F. Amparado. 2012. Carbon Stock Assessment of Three Selected Agroforestry Sistem in Bukidnon, Philippines. Advances in Environmental Science International Journal of the Bioflux Society. Open Access Research article. <http://www.aes.bioflux.com.ro/>.

- Lorenz K. dan R. La1. 2010. Carbon Sequestration in Forest Ecosystem. ISBN 978-90-481-3265-2. E-ISBN 978-90-481-3266-9. DOI 10.1007/978-90-481-3266-9. Springer Dordrecht Heideberg London New York.
- Mulyaningsih, T. And I. Yamada. 2007. Notes on Some Species of Agarwood In Nusa Tenggara, Celebes and West Papua. Sulawesi.cseas.kyoto-u.ac.jp/final\_reports2007/article/43-tri.pdf. diunduh 25 April 2016.
- Nair, PKR.1993. An Introduction to Agroforestry. Kluwer Academic Publisher. Dordrecht, the Netherlands.
- Nair, PKR, VD. Nair, M. Kumar, dan JM.Showalter.2010. Carbon Sequestration in Agroforestry System. Advance in Agronomy. Volume 108. ISSN 0065-2113 DOI:10.1016/s0065-2113(10)08005-3 Elsevier Inc.
- Natalia D, E. Arisoeloningsih, & K. Hairiah. 2017. Are High Carbon Stocks in Agroforestry and Forest Associated with High Plant Species Diversity? AGRIVITA Journal of Agricultural Science. 39 (1):74-82. Accredited SK No.81/DIKTI/Kep/2011. Permalink/DOI:http://dx.doi.org/10.17503/agrivita.v39i1.676.
- Noor'an RF., Jaya INS., Puspaningsih, N. 2015. Pendugaan Perubahan Stok Karbon di Taman Nasional Bromo Tengger Semeru. Media Konservasi Vol 20.No.2Agustus 2015:177-186
- Peichl, M., V. Naresh, Thevathasan, M. Andrew, Gordon, J. Huss & R.A. Abohassan. 2006. Carbon Sequestration Potentials in Temperate Tree-Based Intercropping Systems, Southern Ontario, Canada. Journal of Agroforestry Sitem (2006) 66:243257. DOI 10.1007/s10457-005-0361-8
- Purwanto, R., Rohman, Maryudi, A., Yuwono, T., Permadi, D.B, dan Sanjaya, M. 2012. Potensi Biomassa dan Simpanan Karbon Jenis-jenis Tanaman Berkayu di Hutan Rakyat Desa Nglanggeran, Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Jurnal Ilmu Kehutanan VOL VI No.2 Juli-September 2012.ISSN:0126-4451. Fakultas Kehutanan UGM. Yogyakarta.
- Saha, R. & J.H.A.Pramod. 2012. Carbon Sequestration Potentials of Agroforestry Systems under Climate Change Scenario- Brief Review with special Emphasis on North-Eastern Hill Regions. Journal of Agricultural Physics. Vol. 12 No. 2 pp. 100-106. ISSN 0973-032X <http://www.agrophysics.in>
- Standar Nasional Indonesia. 2011. Pengukuran dan Penghitungan Cadangan Karbon - Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (*ground-based forest carbon accounting*). SNI 7724:2011. Badan Standarisasi Nasional.Indonesia.
- Soto-Pinto L, M. Anzueto, J. Mendoza, G.Jimenez, & B.D.Jong. 2010. Carbon Sequestration through Agroforestry in Indigenous Communities of Chiapas, Mexico. Agroforest Sistem Journal (2010) 78:39-51.DOI 10.1007/s10457-009-9247-5. Springer.
- Spurr, S.H, and Barnes, B.V. 1980. Forest Ecology. Third edition. John Wiley and Sons. New York