

SIMPANAN KARBON PADA SISTEM AGROFORESTRI DUSUN KLONCING, BIOSITE KEBUN KOPI, IJEN GEOPARK

*Carbon Stock In Agroforestry Systems, Kloncing Sub-village, Biosite of Kebun
Kopi, Ijen Geopark*

Nilasari Dewi^{1*}, Zuyyina Hafsa Salsa Bila¹, dan Hari Sulistyowati²

¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember

²Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember

*Corresponding author: nilasaridewi@unej.ac.id

(Diterima 25 September 2025 /Disetujui 7 Januari 2026)

ABSTRACT

Global warming is one of the phenomena caused by human activities and has a significant impact on ecosystem conditions, including climate change. Agroforestry, as a system that cultivates forestry and agricultural plants on the same land, plays an important role in carbon storage as part of climate change mitigation efforts. The Coffee Plantation Biosite of Ijen Geopark is a protected area for flora and fauna, with Arabica coffee as its main commodity cultivated under an agroforestry system. Naturally, coffee cultivation contributes to carbon storage. However, quantitative data on the potential carbon storage in coffee agroforestry systems in this area are still limited. The aim of this study is to determine the potential carbon storage of agroforestry systems in two different types. The method used in this study was purposive sampling and quantitative data analysis based on allometric equations. The results showed that the highest carbon storage potential was found in the simple agroforestry type, with a total carbon stock of 231.7 tons/ha, while the complex agroforestry type stored 112.3 tons/ha. The higher carbon storage in the simple agroforestry system is influenced by the greater number of large-diameter trees found, even though the species richness is lower. The factors influencing the magnitude of carbon storage potential include wood density and tree composition, particularly the abundance of large trees. Cedrela odorata and Swietenia mahagoni were identified as tree species with the highest carbon storage. Necromass, understory vegetation, litter, and trees, respectively, contributed to carbon storage from the lowest to the highest levels.

Keywords: agroforestry, biomass, Biosite of Coffee Plantation, carbon, Ijen Geopark

ABSTRAK

Pemanasan global merupakan salah satu fenomena yang disebabkan oleh aktivitas manusia dan memberikan dampak besar terhadap kondisi ekosistem termasuk perubahan iklim. Agroforestri sebagai sistem yang membudidayakan tanaman kehutanan dan pertanian pada lahan yang sama berperan dalam penyimpanan karbon sebagai upaya mitigasi perubahan iklim. Biosite Kebun Kopi, Ijen Geopark termasuk dalam kawasan lindung bagi flora dan fauna dengan komoditas utama kopi Arabika yang dibudidayakan secara agoroforestri. Tentunya, budidaya kopi berperan dalam simpanan karbon. Namun, data kuantitatif mengenai potensi simpanan karbon pada sistem agroforestri kopi di wilayah ini masih terbatas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi simpanan karbon sistem agroforestri pada 2 tipe yang berbeda yaitu agorofestri sederhana dan kompleks. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *purposive sampling* dan metode analisis data kuantitatif berdasarkan persamaan alometrik. Berdasarkan hasil penelitian, potensi simpanan karbon tertinggi pada tipe agroforestri sederhana dengan total simpanan karbon agroforestri 231,7 ton/ha sedangkan pada agroforestri kompleks sebesar 112,3 ton/ha. Nilai simpanan karbon lebih tinggi pada agroforestri sederhana dipengaruhi oleh jumlah pohon dengan diameter besar yang ditemukan lebih banyak meskipun jumlah jenis lebih rendah. Faktor-faktor yang memengaruhi besarnya potensi simpanan karbon adalah berat jenis kayu dan komposisi pohon terutama juml pohon besar. *Cedrela odorata* dan *Swietenia mahagoni* adalah jenis pohon dengan simpanan karbon tertinggi. Nekromassa, tumbuhan bawah, serasah dan pohon berturut-turut memiliki simpanan karbon dari terendah ke tertinggi.

Kata kunci: agroforestri, biomassa, Biosite Kebun Kopi, Ijen Geopark, karbon

PENDAHULUAN

Pemanasan global saat ini menjadi salah satu isu lingkungan yang serius dan menjadi perhatian luas bagi masyarakat nasional maupun internasional. Fenomena ini terjadi karena adanya efek rumah kaca yang berasal dari peningkatan emisi karbon yang bersumber dari berbagai aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil, kebakaran hutan, dan konversi hutan. Aktivitas ini berdampak langsung terhadap berkurangnya tutupan vegetasi, menurunnya penyerapan karbon, dan ketidakseimbangan ekosistem (Latuconsina, 2023). Pemanasan global menyebabkan iklim menjadi sulit diprediksi sehingga dapat mengancam berbagai aktivitas manusia termasuk keberlanjutan pertanian untuk memenuhi kebutuhan pangan. Sebagai upaya mitigasi, diperlukan penerapan sistem pertanian berkelanjutan yang mampu menjaga keseimbangan ekosistem sekaligus memenuhi kebutuhan pangan. Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan adalah praktik agroforestri.

Menurut Dadi (2021), agroforestri merupakan sistem pemanfaatan lahan yang menggabungkan tanaman kehutanan dengan tanaman pertanian atau hewan. Penerapan agroforestri bertujuan untuk meningkatkan kualitas ekosistem, mempertahankan daya dukung lingkungan, dan konservasi sumber daya alam hayati. Salah satu penerapan sistem agroforestri adalah budidaya kopi di bawah naungan tanaman tahunan seperti yang diterapkan di Biosite Kebun Kopi.

Agroforestri memiliki kemampuan untuk menyimpan karbon (Mulya dkk. 2025), meningkatkan kesuburan tanah (Gunawan dkk. 2019), fiksasi nitrogen, mengkonservasi tanah, air, menambahkan unsur hara dan mampu untuk mengendalikan serangan hama dan penyakit, sehingga mampu menyediakan jasa layanan ekosistem (Istikorini dkk. 2023). Menurut Suhartoyo dkk. (2020) produktivitas hasil tanaman kopi dengan sistem agroforestri mampu meningkatkan mutu daripada sistem kebun kopi monokultur. Hal ini disebabkan karena adanya tanaman penayang yang dapat mengoptimalkan kesesuaian syarat tumbuh tanaman kopi. Sistem agroforestri yang diterapkan memiliki kemampuan dalam meningkatkan hasil kopi sekitar 20-60%. Sistem agroforestri berbasis kopi multistrata memiliki nilai cadangan karbon lebih tinggi dengan total simpanan karbon sebesar 74,89 ton/ha, dibandingkan pada lahan kopi dengan teknik monokultur yang menyimpan karbon sebesar 1,42 ton/ha dan tergolong sangat rendah (Ariyanti dkk. 2018). Kombinasi agroforestri di Kebun Bangelan mampu menyimpan total cadangan karbon sebesar 196,74 ton/ha (Mulya dkk, 2025).

Biosite Kebun Kopi merupakan salah satu biosite yang ada di Geopark Ijen, Kabupaten Bondowoso dan merupakan wilayah penghasil kopi Arabika terluas di Jawa Timur. Daerah tersebut memiliki karakteristik alam dan iklim mikro yang mendukung produksi kopi Arabika yang unggul. Tanaman kopi di Biosite Kebun Kopi juga dibudidayakan secara agroforestri. Agroforestri berbasis kopi Arabika yang tidak hanya berperan penting dalam mendukung ekonomi masyarakat lokal, tetapi juga memiliki potensi besar dalam mitigasi perubahan iklim melalui penyimpanan karbon. Namun, hingga saat ini, data kuantitatif mengenai potensi penyimpanan karbon pada sistem agroforestri kopi di wilayah ini masih terbatas. Ketidaktersediaan data tersebut menghambat upaya penilaian kontribusi agroforestri terhadap pengurangan emisi karbon secara regional maupun global.

Selain itu, sistem agroforestri di Kloncing menunjukkan keragaman struktur vegetasi dan komposisi spesies penayang, yang secara ekologis dapat memengaruhi kapasitas penyimpanan karbon baik pada biomassa di atas permukaan tanah maupun di dalam tanah. Oleh karena itu, perhitungan potensi penyimpanan karbon secara spesifik pada sistem agroforestri kopi Arabika di Dusun Kloncing Biosite Kebun Kopi menjadi sangat penting untuk menyediakan informasi ilmiah yang dapat digunakan dalam pengelolaan lahan berkelanjutan, mendukung strategi konservasi dan mitigasi perubahan iklim yang berbasis bukti ilmiah dan mengintegrasikan nilai ekosistem karbon ke dalam kebijakan pengelolaan Ijen Geopark sebagai kawasan warisan alam dunia.

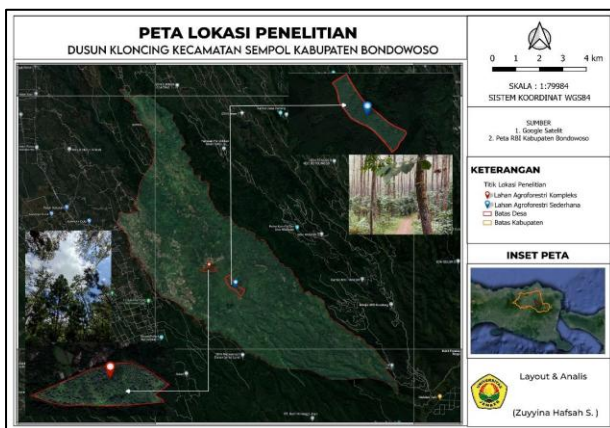
Dengan demikian, penelitian ini menjadi langkah penting untuk memahami sejauh mana sistem agroforestri kopi Arabika di Kloncing berkontribusi terhadap penyimpanan karbon dan upaya mitigasi perubahan iklim, sekaligus memperkuat posisi Ijen Geopark sebagai model pengelolaan lanskap berkelanjutan. Tujuan penelitian ini untuk menghitung potensi simpanan karbon pada sistem agroforestri berbasis kopi Arabika di Dusun Kloncing, Biosite Kebun Kopi, Ijen Geopark. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam memahami peran agroforestri kopi tidak hanya sebagai sistem produksi, tetapi juga sebagai strategi mitigasi perubahan iklim melalui peningkatan simpanan karbon.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Dusun Kloncing, Kecamatan Sempol, Kabupaten Bondowoso, Ijen

Geopark dan Laboratorium Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember. Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus – September 2023. Lokasi penelitian merupakan lahan agroforestri kopi arabika dengan dua tipe berbeda yaitu agroforestri kompleks dan agroforestri sederhana. Agroforestri kompleks memiliki pola tanam tidak teratur, struktur tajuk berlapis dan pohon penayang terdiri dari lebih dari 5 jenis. Agroforestri sederhana menggunakan pola lajur atau baris dengan jarak tanam jelas, strata tajuk hanya 2 lapis yaitu tanaman pertanian dan penayang, serta tanaman penayang kurang dari 5 jenis. Peta lokasi penelitian terlihat pada pada Gambar 1.

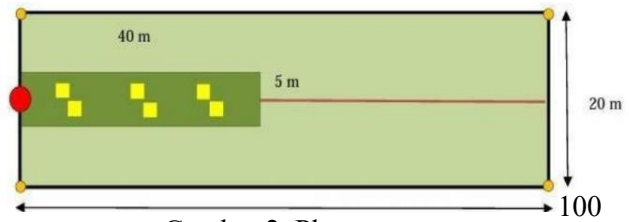


Gambar 1. Peta lokasi penelitian di Biosite Kebun Kopi, Ijen Geopark

Pengumpulan Data atau Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dimulai dari pembuatan plot untuk pendugaan karbon. Plot ditentukan menggunakan metode *purposive sampling* berbentuk persegi panjang (Gambar 2) yang disesuaikan dengan lokasi penelitian (Wibowo *et al.* 2013). Plot penelitian yang dipilih adalah memiliki kriteria yang mewakili masing-masing-masing sistem agroforestri (agroforestri kompleks vs sederhana), umur kopi 10-15 tahun, lahan cukup jauh dari jalan (>30 m) dan lahan datar. Menurut Hairiah *et al.* (2011), terdapat empat penggunaan plot dalam perhitungan cadangan karbon yaitu plot berukuran 100 m × 20 m (pohon berdiameter > 30 cm atau lilit/lingkar 95 cm), plot berukuran 40 m × 5m (pohon berdiameter 5 cm - 30cm atau lilit/lingkar pohon 15 cm - 95 cm) dan plot berukuran 0,5 m × 0,5 m (seresah dan tumbuhan bawah) (Gambar 2). Pada masing-masing sistem agroforestri, jumlah plot yang digunakan adalah 3 plot besar seperti pada Gambar 2.

Data pohon yang diamati terdiri dari jenis, diameter batang, tinggi pohon, dan berat jenis kayu. Berat jenis kayu pohon diperoleh dari website World Agroforestry <https://www.worldagroforestry.org/output/wood-density-database>.



Gambar 2. Plot pengamatan

Biomassa tumbuhan bawah diamati menggunakan metode destruktif dengan memotong vegetasi yang berada di atas permukaan tanah dari sub sub plot yang berukuran 0,5 m × 0,5 m. Plot ini berasal dari penentuan sub plot pertama (40 m × 5m) dengan jumlah plot yang diletakkan sekitar 6-10 plot kecil secara *random sampling* dengan jarak 10 meter. Vegetasi yang sudah diambil, dikeringkan dengan suhu 80°C selama 48 jam. Berat basah dan berat kering ditimbang dan dicatat.

Pengukuran biomassa seresah dilakukan dengan mengambil bagian tanaman yang gugur, seperti ranting, seresah daun ataupun bahan organik yang terdapat di dalam plot berukuran 0,5 m x 0,5 m. Seresah diayak dengan lubang pori 2 mm, kemudian mengambil seresah yang tersisa di atas ayakan dan menimbang berat basahnya. Kemudian diambil sub-contoh sebesar 100 gram seresah dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 80°C selama 48 jam. Berat kering ditimbang dan dicatat.

Pohon mati tegak diukur panjang, tinggi dan diameter setinggi dada. Sedangkan pada pohon mati yang rebah, diameter diukur pada kedua ujungnya. Data fisik lingkungan yang diamati antara lain suhu udara, intensitas cahaya dan kelembaban udara.

Pendugaan Biomassa dan Karbon

Pendugaan biomassa semai, tumbuhan bawah dan seresah sesuai dengan pedoman SNI 7724 (2019) dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Total BK (g)} = \frac{\text{BK sub contoh (g)}}{\text{BB sub contoh (g)}} \times \text{total BB (g)}$$

Keterangan:

BK : berat kering (gram)

BB : berat basah (gram)

Perhitungan biomassa pohon hidup dilakukan dengan menggunakan rumus persamaan alometrik (Tabel 1) untuk mengetahui kadar biomassa tersimpan. Pendugaan nekromassa dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{BK (kg/nekromassa)} = \pi \rho H D^2 / 40 \times \% \text{ pelapukan}$$

Keterangan :

H = Panjang atau tinggi (m)

D = Diameter nekromassa (cm)

ρ = Berat jenis kayu (g/cm^3)

π = menggunakan (22/7 atau 3,14)

Tabel 1. Rumus alometrik

Jenis tanaman	Rumus alometrik	Sumber
Pohon bercabang	$AGBest = 0,11 \rho D^{2,62}$	Kettrings, 2001
Pohon tidak bercabang	$AGBest = \pi \rho H D^2/40$	Hairiah et.al., 1999
Kopi	$AGBest = 0.281 H D^{2,06}$	Karina, 2022
Mahoni	$AGBest = 0.048 D^{2,68}$	Purwanto dkk, 2012
Pinus	$AGBest = 0.0417 D^{2,6578}$	Saifullah et al, 2021
Pisang	$AGBest = 0.030 D^{2,13}$	Arifin, 2001

Pendugaan karbon dihitung dari biomassa yang diperoleh dengan rumus

$C = BK \times \text{fraksi } C (0,5) \sim$ pendugaan karbon semai, tumbuhan bawah, nekromassa, dan serasah

$C = AGBest \times \text{fraksi } C (0,5) \sim$ pendugaan karbon pohon hidup

Pendugaan karbon per Ha dihitung sesuai dengan rumus:

$$C \text{ per Ha} = \frac{C}{1000} \times \frac{10000}{L_{plot}}$$

Keterangan:

C : karbon (kg/plot)

C per ha : karbon (ton/ha)

$C \text{ total/ha} = C \text{ semai} + C \text{ tumbuhan bawah} + C \text{ nekromassa} + C \text{ serasah} + C \text{ pohon}$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Faktor Abiotik

Intensitas cahaya yang masuk di bawah naungan tajuk akan mempengaruhi kondisi suhu dan kelembapan. Kondisi suhu dan kelembapan yang terdapat pada lahan berguna sebagai syarat tumbuh untuk perkembangan kopi dan penyimpanan biomassa. Berikut ini merupakan data pengukuran faktor biotik lingkungan agroforestri.

Tabel 2 menunjukkan bahwa kondisi lingkungan masing – masing tipe agroforestri memiliki nilai berbeda. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa intensitas cahaya yang masuk pada lahan sebesar 204.3 lux pada lokasi agroforestri sederhana dan 288,3 lux di lokasi agroforestri kompleks. Perbedaan ini disebabkan oleh bentuk tajuk dan kerapatan tanaman. Semakin lebar dan rapat tajuk tanaman maka jumlah intensitas cahaya yang akan masuk pada bagian bawah tanah akan semakin berkurang. Meskipun agroforestri kompleks memiliki jenis naungan yang lebih banyak dibanding agroforestri sederhana, tajuk pohon di agroforestri kompleks lebih sempit dan ringan sehingga intensitas cahaya lebih tinggi.

Intensitas cahaya berpengaruh linier terhadap suhu udara. Agroforestri sederhana menghasilkan nilai rata-rata suhu lebih rendah daripada agroforestri kompleks karena cahaya yang masuk juga lebih rendah. Pernyataan ini selaras dengan Sitorus dkk. (2014) bahwa semakin tinggi intensitas cahaya yang

dihasilkan maka temperatur udara akan meningkat begitu juga sebaliknya. Kelembaban lingkungan yang berada pada lokasi agroforestri sederhana memiliki nilai sebesar 57,0 % dan pada lokasi agroforestri kompleks memiliki nilai sebesar 54.9%. Kelembaban udara berpengaruh terhadap proses transpirasi dan fotosintesi serta pengangkutan air dan nutrisi dari akar ke tajuk tanaman (Candra 2012). Kopi Arabika memiliki tingkat produksi lebih tinggi pada kelembaban sekitar 70% dibanding kelembaban udara 80% memerlukan pertumbuhan optimal dengan kelembaban sekitar 80% untuk dapat berjalan secara optimal (Oktaviani dkk. 2024).

Intensitas cahaya berperan dalam proses fotosintesis, peningkatan intensitas cahaya yang diterima oleh tanaman mendukung proses fotosintesis. Hasil fotosintesis dari proses tersebut digunakan untuk memperbesar diameter pada tegakan pohon sehingga berfungsi sebagai tempat menyimpan karbon. Menurut Utbhah dkk. (2017) semakin tinggi intensitas cahaya, semakin tinggi pula jumlah karbon yang disimpan, karena fotosintesis yang dihasilkan lebih efektif dengan cahaya yang lebih intens yang diubah menjadi karbohidrat. Pengaruh faktor lingkungan tersebut akan berdampak pada proses pelapukan kayu atau nekromassa dalam menyimpan kandungan karbon yang dibentuk (Azurianti dkk. 2023). Berdasarkan kondisi lahan faktor biotik yang terbentuk akan berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman terutama pada proses penyerapan biomassa yang akan tersimpan pada bagian batang.

Potensi Simpanan Karbon Pohon

Vegetasi yang ditemukan pada agroforestri sederhana berjumlah 5 jenis terdiri dari 3 jenis pohon penabung, 1 tanaman tambahan dan 1 tanaman utama (Tabel 3). Vegetasi pada agroforestri kompleks terdiri dari 7 jenis pohon, 6 diantaranya merupakan pohon penabung dan 1 pohon tanaman utama (Tabel 3). Keberadaan tanaman tersebut pada lahan dapat memberikan potensi karbon yang disimpan dalam bentuk biomassa. Biomassa pohon memiliki hubungan positif dengan total simpanan karbon. Besaran biomassa tegakan dapat dijadikan sebagai dasar dalam menentukan jumlah karbon dioksida yang dapat diserap dan disimpan oleh tegakan. Jumlah populasi pohon yang dinilai memiliki potensi

simpanan karbon pada kedua tipe lokasi dapat disajikan berdasarkan Tabel 3.

Tabel 3 menunjukkan bahwa agroforestri sederhana memiliki total pohon sebanyak 2.385 pohon/ha yang terdiri dari pohon berukuran 5-30 cm dan pohon yang berukuran >30 cm. Pohon berukuran 5-30 cm berasal dari jenis kopi arabika (*Coffea arabica*), kopi liberika (*Coffea liberica*) dan Pinus (*Pinus merkusii*), sedangkan untuk pohon yang berukuran >30 cm terdiri dari pohon mahoni (*Swietenia mahagoni*), pinus (*Pinus merkusii*) dan kayu cedro (*Cedrella odorata*).

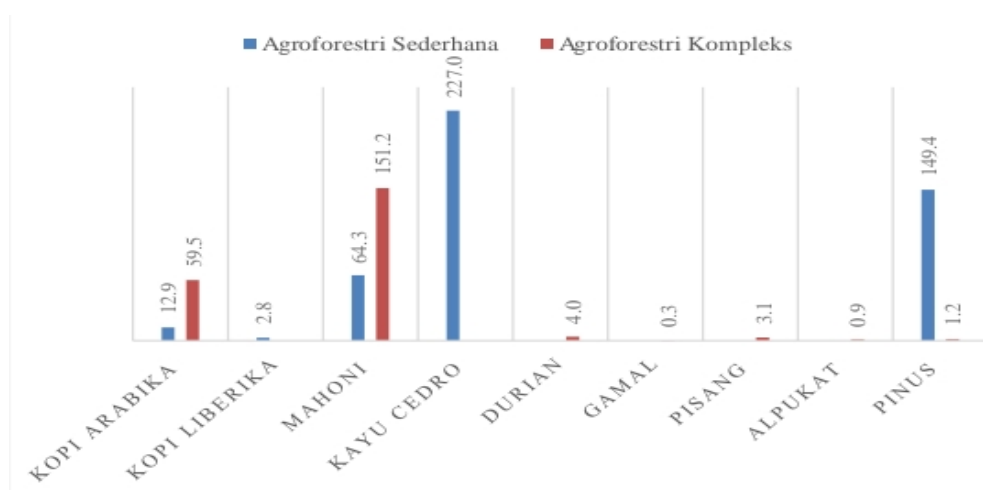
Pada lokasi agroforestri kompleks total pohon yang ditemukan sebanyak 2.185 ton/ha dengan ukuran diameter 5-30 cm dan diameter >30 cm. Jenis dengan diameter >30 cm adalah pohon mahoni (*Swietenia mahagoni*) yang berjumlah 35 pohon/ha. Pohon yang berdiameter 5-30 cm terdiri dari jenis kopi arabika (*Coffea arabica*), durian (*Durio zibethinus*), pinus (*Pinus merkusii*), pisang (*Musa paradisiaca*), alpukat (*Persea americana*) dan kayu gamal (*Glyricidia sepium*).

Tabel 2. Faktor lingkungan

Lokasi Penelitian	Kondisi Lingkungan	Rata – Rata	Rentang
Agroforestri Sederhana	Suhu Udara (°C)	28.3	26.7-29.6
	Intensitas Cahaya (lux)	204.3	113-292
	Kelembaban (%)	57.0	49.5 -67.5
Agroforestri Kompleks	Suhu Udara (°C)	29.5	26.5-32.8
	Intensitas Cahaya (lux)	288.3	143.3-438.5
	Kelembaban (%)	54.9	43.9-62.3

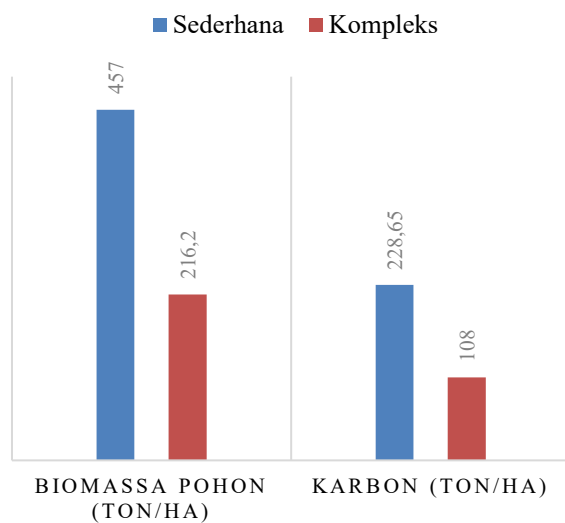
Tabel 3. Jumlah individu pohon hidup

Nama Jenis	Tipe Agroforestri	Jumlah Pohon / Ha	
		DBH 5-30 cm	DBH >30 cm
Mahoni (<i>Swietenia mahagoni</i>)	Agroforestri Sederhana	-	60
Cedro (<i>Cedrella odorata</i>)		-	115
Kopi Arabika (<i>Coffea arabica</i>)		1000	-
Pinus (<i>Pinus merkusii</i>)		800	60
Kopi liberika (<i>Coffea liberica</i>)		350	-
Jumlah		2150	235
Total		2385	
Durian (<i>Durio zibethinus</i>)	Agroforestri Kompleks	50	-
Pisang (<i>Musa paradisiaca</i>)		150	-
Alpukat (<i>Persea americana</i>)		50	-
Gamal (<i>Glyricidia sepium</i>)		750	-
Pinus (<i>Pinus merkusii</i>)		300	-
Mahoni (<i>Swietenia mahagoni</i>)		-	35
Kopi arabika (<i>Coffea arabica</i>)		850	-
Jumlah		2150	35
Total		2185	



Gambar 3. Biomassa pohon hidup (ton/ha)

Perhitungan biomassa pohon disesuaikan dengan rumus alometrik yang ada pada metode. Untuk pohon dengan rumus alometrik tidak diketahui (kayu cedro, durian, alpukat dan gamal) rumus alometrik menggunakan persamaan untuk pohon bercabang. Setiap pohon memiliki biomassa yang dapat didistribusikan dalam bentuk batang, cabang, daun dan akar (Niapale, 2013). Penaung dengan diameter >30 cm memiliki kemampuan lebih tinggi dalam menghasilkan biomassa berdasarkan rata-rata diameter dan tinggi pohon yang dimiliki. Gambar 3 menunjukkan perbedaan biomassa masing-masing pohon pada sistem agroforestri sederhana dan kompleks. Pada agroforestri sederhana, biomassa tertinggi dimiliki oleh kayu cedro (227 ton/ha) dan pinus (149,4 ton/ha). Hal ini disebabkan kedua pohon tersebut ditemukan dalam jumlah banyak dengan diameter yang cukup besar (>30 cm). Sedangkan pada agroforestri kompleks, biomassa tertinggi dimiliki oleh mahoni (151,2 ton/ha). Biomassa pohon total pada agroforestri sederhana (457 ton/ha) lebih tinggi dibanding kompleks (216,1 ton/ha) (Gambar 4) karena jumlah pohon besar di agroforestri sederhana lebih banyak meskipun jumlah jenis yang ditemukan lebih sedikit. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi spesies terutama keberadaan pohon besar lebih berpengaruh dibanding keragaman jenis.



Gambar 4. Biomassa dan potensi simpanan karbon pohon total

Pohon cedro berasal dari India dan Amerika dan termasuk pohon penghasil kayu yang juga dapat dimanfaatkan untuk restorasi hutan. Pohon mahoni dapat dimanfaatkan sebagai bahan furniture, kompos, dan diolah menjadi pewarna alami. Mahoni juga

dapat menyerap karbon lebih tinggi dengan adanya daun yang rimbun dan batang yang lebih besar. Menurut Sabarnudin dkk. (2004), daun mahoni mampu memberikan fungsi sebagai penyerap polutan udara sekitar 47%-69% sehingga dapat menyimpan kandungan karbon untuk membantu dalam mitigasi. Pinus merupakan pohon penaung dengan biomassa sebesar 149,4 ton/ha. Mahoni bermanfaat menjaga kawasan hidrologi, sebagai furniture dan bahan baku kertas. Tingginya potensi biomassa dipengaruhi oleh rata-rata tinggi dan diameter, berat jenis dan jenis pohon yang terdapat pada lokasi agroforestri.

Berdasarkan persamaan perhitungan pendugaan simpanan karbon, semakin tinggi biomassa maka simpanan karbon juga semakin tinggi (Gambar 4) yaitu setengah dari biomassa tanaman. Menurut Tuah *et al.* (2017), semakin banyak jumlah biomassa yang dihasilkan oleh pohon maka semakin besar juga kandungan karbon tersimpan pada pohon tersebut, sehingga biomassa yang dihasilkan berbanding lurus dengan potensi karbon yang dimiliki. Simpanan biomassa dengan total 457 ton/ha pada agroforestri sederhana dapat menghasilkan simpanan karbon sebesar 228,5 ton/ha. Sedangkan biomassa agroforestri kompleks adalah 216,2 ton/ha dengan total simpanan karbon sebesar 108 ton/ha.

Besarnya nilai karbon pada agroforestri sederhana ditunjang oleh kandungan biomassa tersimpan pada pohon. Penelitian Adinugroho *et al.* (2013) menyatakan bahwa sistem agroforestri yang didominasi tanaman kayu cenderung memiliki potensi karbon tersimpan lebih banyak daripada agroforestri yang didominasi oleh tanaman pertanian. Pernyataan tersebut sesuai dengan penelitian ini dimana jumlah pohon dengan diameter >30 cm lebih tinggi di agroforestri sederhana dibanding agroforestri kompleks menyebabkan simpanan karbon di agroforestri sederhana lebih tinggi.

Potensi Simpanan Karbon Tumbuhan Bawah, Seresah dan Nekromassa

Sumber karbon di atas tanah selain pohon adalah tanaman bawah, seresah dan nekromassa. Perolehan sumber tersebut memiliki nilai yang berbeda. Perbedaan dari sumber karbon dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan faktor individu yang terdapat pada lokasi. Tanaman bawah merupakan salah satu bagian dari makhluk hidup yang memiliki potensi dalam menyimpan karbon. Menurut Arianasari dkk. (2021) potensi simpanan karbon yang terdapat pada tanaman bawah memiliki nilai rata-rata 0,03 ton/ha.

Tabel 4. Total karbon tersimpan tanaman bawah, seresah dan nekromassa

Sumber	Agroforestri Sederhana		Agroforestri kompleks	
	Biomassa	Karbon tersimpan	Biomassa	Karbon tersimpan
Tanaman bawah (ton/ha)	2.00000	1.00000	2.94000	1.47000
Seresah (ton/ha)	4.28000	2.14000	5.40000	2.70000

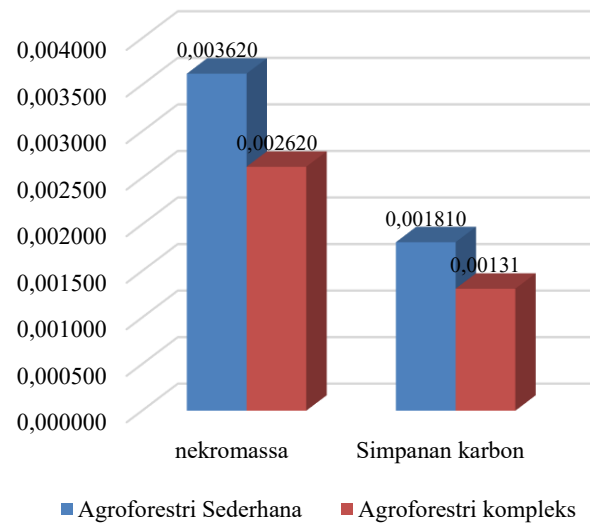
Berdasarkan Tabel 4, jumlah karbon tersimpan mengikuti biomassa. Serasah memiliki kandungan karbon tertinggi dibanding tanaman bawah dan nekromassa. Karbon tersimpan tanaman bawah agroforestri sederhana sebesar 1.00 ton/ha sedangkan agroforestri kompleks sebesar 1.47 ton/ha. Perbedaan hasil tersebut dikarenakan tanaman bawah memiliki ukuran yang lebih tinggi di agroforestri kompleks dibandingkan agroforestri sederhana. Pada agroforestri sederhana jumlah tanaman bawah yang ditemukan jauh lebih sedikit dari lokasi agroforestri kompleks.

Pohon pinus sebagai salah satu naungan di agroforestri sederhana memiliki bentuk kerucut dan seperti jarum yang menyebabkan keterbatasan cahaya matahari untuk masuk sehingga berdampak pada proses fotosintesis dan berkurangnya pertumbuhan tanaman bawah (Saragih dkk. 2018). Pohon pinus sebagai penaung juga berperan menghambat pertumbuhan tanaman bawah karena memiliki zat alelopati. Zat alelopati merupakan senyawa bioaktif yang dapat menghambat pertumbuhan gulma dan tumbuhan herba sehingga pertumbuhan tanaman bawah menjadi berkurang (Rahmadaniarti 2015). Jumlah dan diameter pinus pada agroforestri kompleks lebih rendah dibanding agroforestri sederhana. Sehingga tajuk tanaman pada agroforestri kompleks tidak terlalu rapat sehingga memudahkan cahaya matahari masuk di bawah tegakan sehingga mendukung tanaman bawah melakukan proses reproduksi, perkembangan dan pertumbuhan lebih optimal.

Serasah merupakan sisa dari tanaman dapat berupa daun, batang, cabang, ranting, bunga dan buah yang gugur. Serasah memiliki kemampuan dalam menyimpan karbon melalui siklus karbon (Sudomo & Widiyanto, 2017). Serasah pada lokasi agroforestri kompleks memiliki kandungan karbon tersimpan senilai 2.70 ton/ha sedangkan untuk agroforestri sederhana sebesar 2.14 ton/ha. Tingginya karbon pada agroforestri kompleks dipengaruhi oleh keragaman pohon yang tinggi. Menurut Priyadarshini *et al.* (2011), semakin tinggi jumlah keragaman pohon pada lahan agroforestri maka semakin banyak pula daun yang gugur sehingga pertumbuhan vegetasi dan jumlah simpanan bahan organik dalam tanah juga akan meningkat.

Nekromassa merupakan massa yang terdapat pada bagian pohon yang telah mati baik dalam kondisi rebah ataupun berdiri. Pohon tersebut menyimpan karbon yang tidak dapat dikembalikan lagi ke atas atmosfer karena faktor fotosintesis yang terhenti sehingga, tidak adanya aktivitas pohon dalam melakukan penambahan biomassa dalam bentuk diameter. Menurut Hairiyah dan Rahayu (2007), nekromassa di atas tanah perlu dilakukan

perhitungan supaya mendapatkan hasil karbon yang lebih akurat.



Gambar 5. Nekromasa dan potensi simpanan karbon (ton/ha)

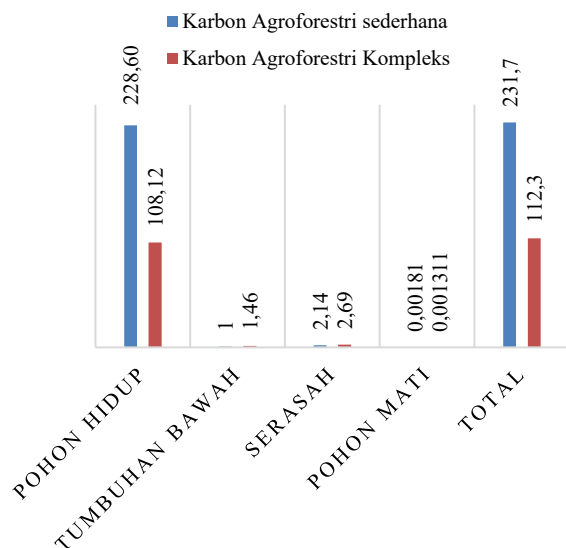
Nekromassa pohon berpotensi menyimpan karbon meskipun dalam jumlah kecil. Nekromassa pohon ini menggambarkan CO₂ yang tidak dilepaskan ke udara melalui pembakaran. Nekromassa yang ditemukan terdiri dari 2 pohon pinus pada agroforestri sederhana dan 1 pohon kapuk pada lokasi agroforestri kompleks. Nilai karbon tersimpan nekromassa cukup rendah baik pada agroforestri sederhana sebesar 0.00181 ton/ha sedangkan agroforestri kompleks sebesar 0.00131 ton/ha (Gambar 5). Pernyataan ini didukung oleh penelitian Al-Reza dkk. (2017) cadangan karbon yang terdapat pada nekromassa berkayu hanya menyumbang potensi sebesar 1,25 ton/ha.

Simpanan karbon pada nekromassa dipengaruhi oleh jenis, ukuran pohon, kondisi lingkungan dan kadar air yang tersimpan. Ukuran pohon mati menjadi tolak ukur karbon tersimpan. Semakin besar diameter yang terdapat pada pohon maka semakin besar pula karbon tersimpan yang artinya karbon yang dilepaskan di udara masih rendah (Paradika dkk. 2021). Kondisi lingkungan lembab juga berpengaruh proses pelapukan pohon mati. Proses dekomposisi pohon akan semakin lambat pada kelembaban yang tinggi. Kadar air yang terkandung pada pohon juga akan mempengaruhi lama proses dekomposisi. Semakin tinggi kadar air pada pohon mati, semakin lambat proses dekomposisinya (Hanafi, 2019).

Total Potensi Simpanan Karbon

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata total simpanan karbon tertinggi berasal dari karbon pohon. Pohon hidup yang berlokasi di agroforestri sederhana dengan penaung, kayu cedro, pinus dan mahoni menghasilkan simpanan karbon sebesar

228.60 ton/ha. Agroforestri kompleks dengan 5 jenis penayang berpotensi menyimpan karbon sebesar 108.1 ton/ha. Sehingga berdasarkan akumulasi dari total simpanan karbon diatas tanah agroforestri sederhana mampu menyimpan karbon lebih besar dengan nilai 231.7 ton/ha dan agroforestri kompleks sebesar 112.3 ton/ha.



Gambar 6. Total potensi karbon tersimpan (ton/ha)

Jumlah total karbon tersebut dipengaruhi oleh jenis tegakan, populasi, umur tegakan, kondisi iklim, dan besarnya lingkaran diameter batang (Istomo & Nur 2017). Pohon dengan diameter besar akan memiliki jumlah simpanan karbon yang besar. Begitu juga sebaliknya, apabila pohon yang ditanam memiliki berat jenis yang tinggi maka jumlah simpanan karbon yang dihasilkan akan semakin besar. Penelitian Yeboah *et al.* (2014) menyebutkan bahwa jenis tanaman berkayu dengan nilai kerapatan kayu yang tinggi memiliki nilai cadangan karbon yang tinggi, karena kayu memiliki susunan selulosa yang termasuk dari rangkaian karbon. Karbon tersimpan pada agroforestri sederhana dengan komposisi vegetasi kayu cedrela, pinus dan mahoni telah memenuhi standart IPPC 2006 kelas karbon dalam kategori baik memiliki simpanan sebesar 138 ton/ha atau bahkan lebih pada suatu kawasan.

Merujuk pada Gambar 6, masing - masing bagian vegetasi memiliki potensi berbeda. Pohon dinilai memiliki kandungan potensi serapan lebih besar dari pada vegetasi lainnya, karena pohon merupakan tumbuhan berkayu yang mampu memperbesar bagian batang dengan menyerap CO₂. Proses tersebut terjadi melalui bagian stomata saat fotosintesis, kemudian diubah menjadi stok biomassa pada tanaman. Kemampuan vegetasi dalam menyimpan karbon berbanding lurus dengan kemampuan vegetasi menyerap karbon (Paradika dkk. 2021). Kondisi tersebut selaras dengan

pernyataan Hanafi (2019) mengatakan bahwa kandungan karbon berturut-turut tertinggi pada pohon hidup, serasah, kemudian tanaman bawah dan nekromassa berkayu. Sistem agroforestri baik sederhana maupun kompleks di Dusun Kloncing, Biosite Kebun Kopi memiliki potensi simpanan karbon yang cukup tinggi dan mendukung mitigasi adanya pemanasan global.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi total simpanan karbon di Biosite Kebun Kopi pada agroforestri sederhana sebesar 231.7 ton/ha sedangkan pada agroforestri kompleks sebesar 112.3 ton/ha. Potensi simpanan karbon dipengaruhi oleh jumlah individu, kerapatan individu, umur tegakan, kondisi iklim dan diameter batang. Semakin besar diameter batang dan jumlah individu, semakin besar pula simpanan karbon tersimpan. Pohon adalah tingkatan vegetasi yang mampu menyerap karbon tertinggi dibanding tingkatan lainnya. *Cedrela odorata* dan *Swietenia mahagoni* adalah jenis pohon dengan simpanan karbon tertinggi. Nekromassa, tumbuhan bawah, serasah dan pohon berturut-turut memiliki simpanan karbon dari terendah ke tertinggi. Keberadaan naungan dan komposisi yang tepat bukan hanya memberikan peningkatan mutu kualitas kopi tapi juga membantu dalam menunjang potensi simpanan karbon untuk penyediaan jasa layanan ekosistem dan melakukan mitigasi perubahan iklim.

Saran

Pada penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan pengukuran biomassa dan karbon tanah sebagai pengembangan dalam mengetahui kemampuan agroforestri dalam menyerap potensi karbon. Selain itu perlu penyebaran informasi terkait penambahan jumlah individu dan populasi tanaman Multipurpose Tree Species (MPTS) sehingga dapat dijadikan sebagai langkah awal petani dapat memperbaiki pengelolaan lahan agroforestri dan mendukung program mitigasi gas rumah kaca.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LP2M) Universitas Jember atas dukungan pendanaan melalui Hibah Penelitian Dosen Pemula Tahun Anggaran 2023 sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [BSN] Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Pengukuran dan Perhitungan Cadangan Karbon-Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (Ground based Forest Carbon Accounting)*. Jakarta (ID): Badan Standarisasi Nasional.
- Adinugroho WC, Indrawan A, Supriyanto, Arifin HS. 2013. Kontribusi sistem agroforestri terhadap cadangan karbon di hulu DAS Kali Bekasi. *Jurnal Hutan Tropis* 1(3):242-249.
- Al-Reza DD, Hermawan R, Prasetyo LB. 2017. Potensi Cadangan Karbon di Atas Permukaan Tanah di Taman Hutan Raya Pancoran Mas, Depok. *Media Konservasi*, 22(1): 71-78.
- Arianasari V, Safe'i R, Darmawan A, Kaskoyo H. 2021. Estimasi simpanan karbon di atas permukaan tanah pada hutan rakyat di Kawasan Perkotaan, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung. *Jurnal Ilmu Kehutanan* 15(2):174-184.
- Ariyanti D, Wijayanto N, Hilwan I. 2018. Keanekaragaman jenis tumbuhan dan simpanan karbon padaberbagai tipe penggunaan lahan di Kabupaten Pesisir Barat Provinsi Lampung. *Journal Of Tropical Silviculture* 9(3).
- Azurianti A, Lestariningsih ID, Prijono S, Anggara AD, Lathif S. 2023. Studi dampak tutupan lahan terhadap simpanan karbon di kawasan hutan Cemoaka, Kecamatan Prigen, Pasuruan, Jawa Timur. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* 10(2):255-264.
- Candra A. 2012. Distribusi moisture content pada zona perakaran tanaman (zona tidak jenuh) perkebunan teh Gambung Bandung Selatan. *Dinamika Rekayasa* 8(1):12-17.
- Dadi D. 2021. Pembangunan pertanian dan sistem pertanian organik: bagaimana proses serta strategi demi ketahanan pangan berkelanjutan di Indonesia. *Jurnal Education and Development* 9(3).
- Gunawan, Wijayanto N, Budi SW. 2019. Karakteristik sifat kimia tanah dan status kesuburan tanah pada agroforestri tanaman sayuran berbasis *Eucalyptus* sp. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 10(02): 63-69.
- Hairiah K, Rahayu S. 2007. *Petunjuk praktis: Pengukuran Karbon Tersimpan Di Berbagai Macam Penggunaan Lahan*. Bogor (ID):World Agroforestry Centre (ICRAF), SEA Regional Office.
- Hairiah KA, Ekadinata, Sari RR, Rahayu S. 2011. *Petunjuk Praktis Pengukuran Cadangan Karbon: dari Tingkat Lahan ke Bentang Lahan. Edisi kedua*. Bogor (ID): World Agroforestry Centre (ICRAF), SEA Regional Office.
- Hanafi N. 2019. Karbon tersimpan pada tegakan benih teridentifikasi "Pabelum" di Kota Palangkaraya. *Daun: Jurnal Ilmiah Pertanian dan kehutanan* 6(1):25-3.
- IPCC. 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories—Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU)*.
- Istikorini Y, Firmansyah MA, Rusniarsyah L, Shodiq I, Azzahra TA, Latifah I. 2023. Pelatihan pembuatan pupuk hayati pada sistem agroforestri berbasis kopi di Desa Garahan, Jember, Jawa Timur. *Agrokreatif: Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat* 9(2):191-198.
- Istomo I, Farida NE. 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 (Journal of Natural Resources and Environmental Management)* 7(2):155-162.
- Karyati, Putri RO, Syafrudin M. 2018. Suhu dan kelembaban tanah pada lahan revegetasi pasca tambang di PT. Adimitra Baratama Nusantara, Provinsi Kalimantan Timur. *Agrifor* XII(1).
- Latuconsina H. 2023. improving student knowledge and understanding of the greenhouse gases effects and global climate change and their adaptation and mitigation efforts. *Agrikan Jurnal Agribisnis Perikanan* 16(1):275-285.
- Mulya PSJ, Wijayanto, N, Hartoyo APP. 2025. Keanekaragaman vegetasi dan cadangan karbon pada sistem agroforestri kebun Bangelan, Jawa Timur. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 16(02):116-124.
- Niapale S. 2013. Estimasi biomassa dan karbon tegakan Dipterocarpa pada ekosistem hutan primer dan LOA (*log over area*) di PT. Sari Bumi Kusuma (SBK) Kalimantan Tengah. *Jurnal Ilmiah Agribisnis dan Perikanan (Agrikan UMMU-Ternate)* 6(1).
- Oktaviani N, Suriadikusumah A, Arifin M. Perubahan iklim mikro dan produksi kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) pada daerah aktivitas geothermal PLTP Kamojang di Kabupaten Bandung. *Jurnal Agrikultura* 35(3):400-412.
- Paradika GY, Kissinger K, Rezekiah AA. 2021. Pendugaan cadangan karbon vegetasi di sempadan sungai pada Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Universitas Lambung Mangkurat. *Jurnal Sylva Scientiae* 4(1):98-106.
- Priyadarshini R, Hairiah K, Suprayogo D, Baon J. 2011. Keragaman pohon penayang pada kopi berbasis agroforestri dan pengaruhnya terhadap

- layanannya ekosistem. *Berk. Penel. Hayati Edisi Khusus F* (7):81-85.
- Rahmadaniarti A. 2015. Toleransi tanaman porang (*Amorphophallus oncophyllus* Prain.) terhadap jenis dan intensitas penutupan tanaman penaung. *Jurnal Kehutanan Papuasia* 1(2):77-81.
- Sabarnurdin MS, Suryanto P, AryonoSury WB. 2004. Dinamika pohon mahoni (*Swietenia macrophylla* King) pada agroforestri pola lorong (*alley cropping*). *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)* 11(1).
- Sitorus TB, Napitupulu FH, Ambarita H. 2014. Korelasi temperatur udara dan intensitas radiasi matahari terhadap performansi mesin pendingin siklus adsorpsi tenaga matahari. *Cylinder: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* 1(1):8-17.
- Sudomo A, Widiyanto A. 2017. Produktifitas Serasah Sengon (*Paraserianthes falcataria*) dan Sumbangannya bagi Unsur Kimia Makro Tanah. *Prosiding Seminar Nasional Geografi UMS 2017*: Hal 562-568
- Suhartoyo H, Saputra HE, Salamah U. 2020. Upaya peningkatan produktifitas kebun kopi rakyat sistem agroforestri di Kelurahan Ujan Mas Atas, Kabupaten Kepahiang, Provinsi Bengkulu *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat*. Vol. 1.
- Tuah N, Sulaeman R, Yoza D. 2017. Penghitungan biomassa dan karbon di atas permukaan tanah di hutan larangan Adat Rumbio Kab Kampar. *JOM Faperta UR* 4(1).
- Utbah Z, Sudiana E, Yani E. 2017. Analisis biomasa dan cadangan karbon pada berbagai umur tegakan damar (*Agathis dammara* (Lamb.) Rich.) di KPH Banyumas Timur. *Scripta Biologica*, 4(2):119-124.
- Wibowo A, Samsudin I, Nurjahjawilasa S, Muttaqin Z. 2013. *Petunjuk Praktis Menghitung Cadangan Karbon Hutan*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim dan Kebijakan, Kementerian Kehutanan.
- Yeboah D, Burton AJ, Storer AJ, Opuni-Frimpong E. 2014. Variation in wood density and carbon content of tropical plantation tree species from Ghana. *New Forests* 45(1):35-52.