

POTENSI SIMPANAN KARBON PADA BEBERAPA TIPE AGROFORESTRI BERBASIS KOPI ROBUSTA DI DESA ROWOSARI, JEMBER

Carbon Saving Potential in Several Types of Robusta Coffee-Based Agroforestry in Rowosari Village, Jember

Kharisma Wahyu Lestari^{1*} dan Nilasari Dewi²

(Diterima 11 Juli 2023 / Disetujui 28 Juli 2023)

ABSTRACT

*The phenomenon of forest destruction can be found in various regions of the world through deforestation activities and has an impact on environmental sustainability. One of the impacts caused by climate change due to deforestation is at the same time threatening the activities of the agricultural sector, namely the sustainability of food production. Agroforestry is a sustainable agricultural system by cultivating tree components with agricultural plant species. The role of trees in agroforestry is thought to have similarities with the potential for carbon sequestration in forests through carbon storage sources on the ground surface. Agroforestry models based on robusta coffee (*Coffea canephora*) are found in Indonesia, both with simple agroforestry and complex agroforestry types. This research was conducted in Rowosari Village, Sumberjambe District, Jember Regency on several types of robusta coffee-based agroforestry. Based on the results of the study, simple agroforestry has a potential for carbon storage of 73.89% greater than complex agroforestry. The total potential for carbon storage in simple agroforestry is 166.55 tonnes/ha, while in complex agroforestry it is 58.86 tonnes/ha. The potential for carbon storage in agroforestry is affected by the composition of the tree stands.*

Keywords: agroforestry, biomass, carbon storage

ABSTRAK

Fenomena kerusakan hutan banyak ditemukan di berbagai wilayah dunia melalui aktivitas deforestasi dan berdampak pada keberlangsungan lingkungan. Dampak yang ditimbulkan salah satunya perubahan iklim akibat deforestasi sekaligus mengancam aktivitas sektor pertanian yakni keberlangsungan produksi pangan. Agroforestri merupakan sebuah sistem pertanian berkelanjutan dengan mengupayakan komponen pohon dengan spesies tanaman pertanian. Peran pohon pada agroforestri diduga memiliki kemiripan dengan potensi penyerapan karbon di hutan melalui sumber penyimpanan karbon di permukaan tanah. Model Agroforestri berbasis kopi robusta (*Coffea canephora*) banyak ditemukan di Indonesia baik dengan tipe agroforestri sederhana maupun agroforestri kompleks. Penelitian ini dilakukan di Desa Rowosari, Kecamatan Sumberjambe, Kabupaten Jember pada beberapa tipe agroforestri berbasis kopi robusta. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan agroforestri sederhana memiliki potensi simpanan karbon 73,89% lebih besar dibandingkan pada agroforestri kompleks. Total potensi simpanan karbon pada agroforestri sederhana yakni sebesar 166,55 ton/ha, sedangkan pada agroforestri kompleks sebesar 58,86 ton/ha. Potensi simpanan karbon suatu agroforestri dipengaruhi oleh komposisi tegakan pohon.

Kata kunci: agroforestri, biomassa, simpanan karbon

¹ Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember
Jalan Kalimantan No. 37 – Kampus Bumi Tegalboto Kotak POS 159 Jember, Jawa Timur, 68121, Indonesia

* Penulis korespondensi:

e-mail: kharismawahyu5@gmail.com

PENDAHULUAN

Fenomena kerusakan hutan banyak ditemukan di berbagai wilayah dunia melalui aktivitas deforestasi. Laju deforestasi hutan tersebut berdampak pada keberlangsungan lingkungan dan hidup masyarakat, yakni peningkatan suhu, ancaman pangan akibat iklim ekstrem serta isu lingkungan lainnya (Wahyuni *et al.* 2021). Dampak perubahan iklim akibat deforestasi yang mengancam aktivitas sektor pertanian yakni keberlangsungan produksi pangan. Pemenuhan pangan masyarakat terus dilakukan melalui sistem pertanian berkelanjutan. Praktik pertanian berkelanjutan berkaitan dengan kemantapan secara ekologis, artinya kualitas sumber daya pada agroekosistem dipertahankan dan ditingkatkan (Sudalmi 2010). Sistem pertanian berkelanjutan memiliki prinsip dalam menjaga kesuburan tanah melalui peningkatan sistem hara, mengurangi penggunaan input kimia, pemenuhan pangan sehat serta optimalisasi produksi tanaman dan ternak tanpa berdampak negatif bagi alam (Umesha *et al.* 2018).

Praktik pertanian berkelanjutan memiliki beberapa sistem pola tanam, salah satunya adalah agroforestri. Pengelolaan lahan agroforestri dengan mengupayakan budi daya pohon dengan spesies tanaman pertanian (Nair 1993). Berdasarkan komponen jenis tanaman, agroforestri dikategorikan menjadi agroforestri sederhana dan kompleks. Agroforestri sederhana ditunjukkan dengan populasi satu jenis pohon yang ditanam secara tumpang sari dengan tanaman semusim, sedangkan agroforestri kompleks melibatkan berbagai jenis pepohonan (Hairiah *et al.* 2003). Budi daya tanaman yang biasanya menggunakan sistem agroforestri adalah budi daya kopi. Tanaman kopi dalam sistem agroforestri memanfaatkan peran pohon untuk memperoleh kebutuhan intensitas cahaya yang tidak penuh agar produksi maksimal, serta peran pohon sebagai upaya pengendalian iklim mikro (Widayani *et al.* 2020). Sistem tersebut menjadi solusi alternatif dalam pengelolaan tanaman secara monokultur yang cenderung menyebabkan permasalahan ekologi (Hairiah *et al.* 2003).

Intensifikasi model agroforestri dalam penggunaan tegakan pohon mengindikasikan adanya keanekaragaman hayati yang berdampak pada strategi pengendalian perubahan iklim (Oderinde *et al.* 2021). Pengendalian perubahan iklim oleh agroforestri terjadi adanya mitigasi konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK) di atmosfer. Konsentrasi CO₂ mampu menyumbang sekitar 75% sebagai komposisi GRK yang ditemukan di atmosfer (Rawung 2015). Tanaman berkayu dalam manajemen model agroforestri memanfaatkan CO₂ sebagai bahan fotosintesis. Penggunaan sistem agroforestri merupakan wujud pertanian berkelanjutan dengan potensi biomassa dan simpanan karbon tegakan sebesar 7,3 hingga 16,4 kali lebih besar dibandingkan penggunaan lahan monokultur (Ma'ruf 2017). Total biomassa tanaman yang merupakan cadangan karbon terserap diperkirakan sebesar 50% di lahan agroforestri (Abbas *et al.* 2017). Begitu pula agroforestri berbasis kopi studi kasus perkebunan kopi rakyat di NTT yang mampu menyerap karbon sebesar 98-325 ton C/ha (Yulianingrum *et al.* 2020).

Penggunaan fungsi lahan di Desa Rowosari Kecamatan Sumberjambe Kabupaten Jember banyak dioptimalkan sebagai lahan budi daya pertanian. Desa Rowosari merupakan salah satu desa di Kabupaten Jember yang penggunaan lahannya berpotensi tinggi dalam budi daya kopi robusta (*Coffea canephora*). Budi daya kopi di Desa Rowosari ditanam dengan naungan berupa komponen pohon, sehingga dikategorikan dalam pola tanam secara agroforestri. Berdasarkan jenis naungan pada sistem agroforestri berbasis kopi di desa tersebut diketahui terdapat tipe agroforestri sederhana maupun kompleks. Agroforestri sebagai sistem pertanian berkelanjutan dengan potensinya menyerap karbon, cenderung memiliki nilai potensi serapan yang berbeda akibat perbedaan jenis tanaman atau naungan yang berbeda. Oleh karena itu, penting dilakukan penelitian ini guna mengetahui potensi simpanan karbon dengan tipe agroforestri yang berbeda.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan bulan Februari 2023. Lokasi penelitian dilakukan di Desa Rowosari Kecamatan Sumberjambe Kabupaten Jember. Lokasi penelitian terhadap biomassa di permukaan tanah terdiri dari dua jenis penggunaan lahan pertanian yaitu lahan budi daya kopi robusta (*Coffea canephora*) dengan tipe agroforestri kompleks dan agroforestri sederhana.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan diantaranya GPS (*Global Positioning System*), hygrometer, lux meter, pH meter, meteran panjang, tali rafia, pasak, pita meteran, timbangan (gram), gergaji kecil, gunting stek, oven, aluminium foil, alat tulis termasuk blangko penelitian, kantong plastik (wadah contoh), ayakan dan kamera. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, tegakan-tegakan pohon, tumbuhan bawah, pohon mati dan serasah pada lahan agroforestri sederhana dan kompleks di Desa Rowosari Kecamatan Sumberjambe Kabupaten Jember.

Pengumpulan Data atau Prosedur Penelitian

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini meliputi diameter, tinggi dan berat jenis kayu pohon. Berat jenis kayu (BJ) dapat diperoleh pada website World Agroforestry Center (<http://db.worldagroforestry.org/wd>). Pengukuran terhadap kondisi umum lingkungan turut dilakukan dengan parameter suhu udara (°C), kelembaban udara (%), intensitas cahaya (*lux*) dan pH tanah. Perhitungan biomassa pohon menggunakan persamaan *allometrik* dan perhitungan biomassa sumber penyimpanan karbon lainnya didasarkan pada metode pendugaan karbon oleh Hairiah *et al.* (2011). Pembuatan plot pengukuran dibuat dengan metode *purposive sampling*. Pengukuran cadangan karbon menggunakan petak contoh berupa plot dengan ukuran 100 m × 20 m jika dalam plot tersebut

terdapat pohon dengan diameter > 30 cm. Plot kedua dengan ukuran 40 m × 5 m untuk pengukuran pohon dengan diameter 5 cm - 30 cm dan sub plot kedua dengan ukuran 0,5 m x 0,5 m untuk pengukuran anakan, serasah dan tumbuhan bawah. Pembuatan plot berbentuk persegi panjang sebagai petak contoh pengambilan sampel adalah bentuk yang umum digunakan di Indonesia (Wibowo *et al.* 2013).

Pengolahan dan Analisis Data

Biomassa pohon dengan diameter 5-30 cm dan >30 cm dilakukan perhitungan masing-masing. Nilai biomassa dan kandungan karbon pada tumbuhan bawah dan serasah merupakan hasil rata-rata dari hasil pengukuran 6 kuadran berukuran 0,5 m x 0,5 m. Sumber penyerapan karbon lainnya berupa pohon mati diukur dengan menggunakan rumus *allometrik* pohon bercabang dan tidak bercabang. Pohon mati dengan kondisi rebah atau silinder dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan:

- H = Panjang atau tinggi (m)
- D = Diameter nekromassa (cm)
- ρ = Berat jenis kayu (g/cm³)

Pendugaan pelapukan pohon mati seperti halnya menduga persentase nilai pelapukan pohon utuh dan tidak utuh. Data biomassa dari sumber penyimpanan karbon di permukaan tanah yang diperoleh diubah dalam satuan ton/ha. Data potensi simpanan karbon masing-masing jenis sumber karbon merupakan 50% dari biomassa tersebut. Langkah selanjutnya dalam pendugaan potensi simpanan karbon dapat diketahui sebagai berikut:

$$C/ha = C_{pohon} + C_{serasah} + C_{tumbuhan\ bawah} + C_{pohon\ mati}$$

Keterangan:

- C = Karbon (ton/ha)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Umum Lingkungan

Populasi pohon penayang pada agroforestri berbasis kopi robusta (*Coffea canephora*) digunakan sebagai tanaman penayang. Keberadaan tanaman tersebut berpengaruh terhadap kondisi lingkungan yang mendukung syarat tumbuh tanaman kopi. Intensitas cahaya yang diperoleh pada masing-masing tipe agroforestri cenderung berbeda akibat kerapatan populasi tanaman penayang. Perbedaan intensitas cahaya yang

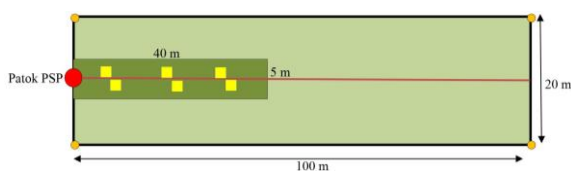
masuk ke bawah akan berpengaruh terhadap suhu, kelembaban udara dan tanah (pH) sehingga berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman kopi dan ketersediaan potensi penyerapan karbon lainnya. Berikut merupakan data kondisi lingkungan pada dua tipe agroforestri.

Kondisi umum lingkungan pada masing-masing agroforestri turut mempengaruhi ketersediaan biomassa maupun simpanan karbon pada masing-masing sumber penyerapan karbon. Informasi tersebut sebagai acuan dalam mengetahui faktor lingkungan dengan tinggi serta rendahnya kemampuan setiap sumber penyerapan karbon. Intensitas cahaya dan kelembaban udara menjadi kondisi umum lingkungan yang memengaruhi suplai karbon menjadi biomassa. Intensitas cahaya matahari penuh pada kedua tipe agroforestri dimanfaatkan oleh tegakan pohon dalam melakukan proses fotosintesis. Laju fotosintesis yang tinggi ditunjukkan adanya kelembaban yang semakin rendah sehingga laju transpirasi semakin meningkat atau berbanding lurus dengan laju fotosintesis (Pambudi *et al.* 2017). Dapat dilihat pada Tabel 1, agroforestri sederhana cenderung memiliki kelembaban udara lebih tinggi dibandingkan agroforestri kompleks. Hal tersebut mengindikasikan adanya ketersediaan daun pada pohon di agroforestri kompleks cenderung tinggi dibandingkan pada agroforestri sederhana. Daun berperan dalam proses fotosintesis dengan adanya kandungan kloroplas yang memiliki pigmen klorofil.

Tipe agroforestri sederhana cenderung memiliki suhu udara yang lebih rendah dan dapat disebabkan oleh dampak ketersediaan individu tegakan tanaman yang lebih melimpah dan memiliki kemampuan dalam menyerap karbon lebih tinggi. Kondisi suhu udara yang lebih rendah mengindikasikan suatu agroekosistem merupakan wilayah dengan penyebaran GRK (Gas Rumah Kaca) yang lebih rendah dan diakumulasikan menjadi biomassa tanaman. Berdasarkan jangkauan rata-rata suhu udara di Indonesia pada kedua tipe agroforestri dalam kategori normal. Suhu udara berpengaruh terhadap pembentukan biomassa dan potensi simpanan karbon dengan adanya proses penguapan, ketika suhu udara tinggi maka kadar air di udara dan tanah menjadi rendah begitu pun sebaliknya (Novita *et al.* 2021). Selain itu, kondisi pH tanah turut memengaruhi kemampuan pembentukan biomassa dan serapan karbon, hal tersebut dibuktikan dengan ketersediaan unsur hara di dalam tanah yang dipengaruhi oleh besar kecilnya nilai pH

Tabel 1 Kondisi Umum Lingkungan Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian	Kondisi Lingkungan	Rata-rata
Agroforestri sederhana	Suhu Udara (°C)	26,6 ± 1,63
	Intensitas Cahaya (lux)	1.326,6 ± 142,00
	Kelembaban (%)	78,6 ± 6,17
	pH Tanah	5,5 ± 0,29
Agroforestri kompleks	Suhu Udara (°C)	27,8 ± 2,42
	Intensitas Cahaya (lux)	1.390,3 ± 226,86
	Kelembaban (%)	75,6 ± 7,32
	pH Tanah	5,5 ± 0,24



Gambar 1. Denah Penelitian
Sumber : Wibowo *et al.* 2013

tanah (Rusdiana dan Lubis, 2012). Ketersediaan unsur hara suatu agroekosistem mampu memengaruhi fisiologis tumbuhan melalui proses fotosintesis pada pohon atau tanaman maupun tumbuhan bawah.

Potensi Simpanan Karbon Pohon

Berdasarkan aktivitas penelitian lapang terhadap inventarisasi pohon diketahui bahwa pada agroforestri kompleks hanya ditemukan pohon dengan diameter 5-30 cm. Lokasi tipe agroforestri sederhana ditemukan pohon dengan diameter >30 cm yang mendominasi. Berdasarkan temuan di lokasi penelitian, ditemukan populasi pohon atau tanaman berdiameter < 5 cm. Kategori tersebut dalam perhitungan karbon suatu agroekosistem tumbuhan atau tanaman dengan diameter < 5 cm merupakan kategori tumbuhan bawah. Adapun hasil inventarisasi pohon pada lokasi penelitian, sebagai berikut.

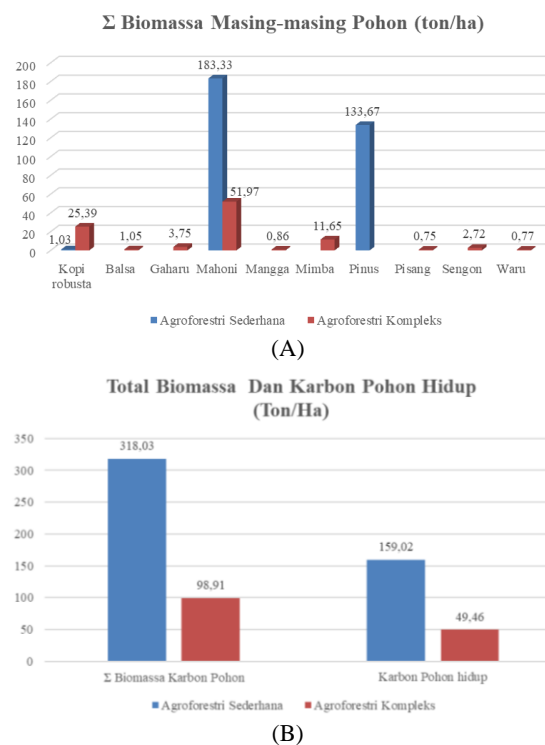
Berdasarkan Tabel 2, tipe agroforestri sederhana didominasi populasi pohon penaung. Data tersebut menunjukkan mayoritas tanaman kopi robusta (*Coffea canephora*) memiliki diameter < 5 cm. Tipe agroforestri sederhana didominasi jenis pohon hutan yakni pinus dan mahoni dengan umur yang lebih tua dibandingkan pada tipe agroforestri kompleks. Lokasi penelitian agroforestri kompleks banyak ditemukan tanaman kopi dengan diameter > 5 cm. Komposisi pohon atau tanaman naungan pada agroforestri kompleks memiliki jenis yang lebih banyak, tetapi jumlah individu lebih sedikit. Populasi pohon berkayu dengan jumlah besar mengindikasikan adanya potensi serapan karbon yang berbanding lurus. Selaras dengan pernyataan Yuniawati *et al.* (2011), besarnya diameter batang suatu pohon

merupakan hasil akumulasi karbon sebagai biomassa tanaman. Gas CO₂ sebagai salah satu Gas Rumah Kaca (GRK) menjadi komposisi penting dalam pembentukan biomassa tanaman. Perkembangan pohon dan tanaman dalam kemampuannya menyerap karbon merupakan wujud adanya proses fotosintesis. Proses tersebut terjadi melalui penyerapan CO₂ dari atmosfer dan mengubahnya menjadi karbon organik yakni karbohidrat (C₆H₁₂O₆) dan tersimpan dalam biomassa pohon atau tanaman di antaranya pada jaringan batang, daun, akar, umbi, buah dan bagian tumbuhan lainnya (Sutaryo 2009). Proses tersebut sekaligus membutuhkan peran air bersamaan dengan gas CO₂ dengan bantuan cahaya matahari dan klorofil sehingga mampu menghasilkan fotosintat yakni karbohidrat dan oksigen (O₂).

Setiap individu pohon memiliki biomassa berbeda yang dipengaruhi oleh jenis dan diameter (DBH) pohon. Berat jenis suatu pohon berkayu sekaligus menjadi parameter dalam menentukan tinggi dan rendahnya biomassa tanaman (Rahayu *et al.* 2013). Keragaman jenis pohon naungan tidak menentukan adanya biomassa karbon pohon yang lebih besar. Kondisi tersebut disebabkan oleh jumlah individu dan umur pohon yang ditunjukkan oleh besarnya diameter dan tinggi pohon. Dapat dilihat pada Gambar 2A, agroforestri kompleks memiliki nilai biomassa (ton/ha) yang lebih rendah dibandingkan agroforestri sederhana meskipun keragaman jenis pohon lebih rendah. Berdasarkan Tabel 2, terdapat beberapa jenis pohon dalam inventarisasi plot penelitian hanya ditemukan 1 individu, tetapi dalam potensi total biomassa (ton/ha) memiliki nilai potensi yang berbeda. Penelitian oleh Maulana (2010), menyebutkan suatu agroekosistem dengan komposisi diameter pohon dan sebaran berat jenis yang lebih besar

Tabel 3 Inventarisasi Pohon Berdasarkan Diameter Batang pada Plot Penelitian

Nama Jenis	Tipe Agroforestri	Jumlah Pohon	
		DBH 5-30 cm	DBH > 30 cm
Kopi robusta (<i>Coffea canephora</i>)	Agroforestri Sederhana	1	
Mahoni (<i>Swietenia marcophylla</i>)		7	17
Pinus (<i>Pinus merkusii</i>)		2	37
Balsa (<i>Ochroma bicolor</i> Rowlee)	Agroforestri Kompleks	5	
Gaharu (<i>Aquilaria malaccensis</i>)		1	
Kopi robusta (<i>Coffea canephora</i>)		22	
Mahoni (<i>Swietenia marcophylla</i>)		6	
Mangga (<i>Mangifera indica</i>)		1	
Mimba (<i>Azadirachta indica</i>)		1	
Pisang (<i>Musa paradisiaca</i>)		4	
Sengon (<i>Albizia chinensis</i>)		1	
Waru (<i>Hibiscus tiliaceus</i>)		1	



Gambar 2 (A) Total Biomassa Masing-masing Jenis Pohon pada Kedua Tipe Agroforestri; (B) Total Biomassa dan Karbon Pohon Hidup

akan berpotensi memiliki biomassa dan simpanan karbon yang cenderung lebih tinggi dibandingkan agroekosistem dengan kerapatan tinggi tetapi jenis pohonnya memiliki berat jenis rendah.

Jenis pohon penayang pada tipe agroforestri sederhana terdapat pohon pinus dan mahoni yang merupakan kategori jenis pohon hutan. Komposisi penayang pada tipe agroforestri kompleks memiliki jenis pohon penayang yang lebih beragam yang merupakan kategori tanaman MPTS (*Multipurpose Tree Species*). Total biomassa karbon pohon pada agroforestri sederhana 75,35% lebih besar dibandingkan agroforestri kompleks. Selaras dengan penelitian Adinugroho *et al.* (2013), praktik sistem agroforestri dengan komponen tanaman berkayu yang lebih besar cenderung memiliki potensi persediaan karbon yang lebih besar dibandingkan dengan sistem agroforestri yang didominasi oleh tanaman pertanian. Berdasarkan data yang telah diperoleh pada Gambar 2.B, biomassa dan potensi simpanan karbon pohon pada agroforestri sederhana memiliki nilai yang lebih tinggi. Pada agroforestri sederhana ditemukan terdapat potensi simpanan karbon sebesar 159,01 ton/ha sedangkan pada tipe agroforestri kompleks menyumbang biomassa sebesar 104,03 ton/ha dengan potensi simpanan karbon sebesar 52,02 ton/ha. Biomassa tumbuhan merupakan media karbon CO₂ tersimpan, sehingga apabila terjadi penebangan pohon maka karbon tersebut dilepaskan sebagai bentuk emisi karbon (Yuniawati *et al.* 2022).

Potensi Simpanan Karbon Tumbuhan Bawah

Kandungan karbon tumbuhan bawah merupakan hasil rata-rata dari pengukuran 6 kuadran plot pengukuran. Nilai kandungan karbon dan biomassa tumbuhan bawah pada agroforestri dipengaruhi oleh komponen vegetasi tumbuhan bawah penyusunnya (Windusari *et al.* 2012). Kondisi tersebut berkaitan dengan syarat pertumbuhan ideal tumbuhan bawah berdasarkan kondisi lingkungan seperti halnya intensitas cahaya dan kelembaban harian.

Tabel 3. Data Karbon Tumbuhan Bawah

Plot	Berat Kering (BK) Total (gram)	Karbon Tumbuhan Bawah (gram)	Karbon Tumbuhan Bawah/ha (ton/ha)
A. Agroforestri Sederhana			
1	30,00	15,00	0,60
2	34,00	17,00	0,68
3	51,74	25,87	1,03
4	42,38	21,19	0,85
5	64,54	32,27	1,29
6	91,62	45,81	1,83
	Total		6,28
	Rata-rata		1,05
B. Agroforestri Kompleks			
1	36,52	18,26	0,73
2	169,93	84,97	3,40
3	103,67	51,84	2,07
4	106,18	53,09	2,12
5	42,50	21,25	0,85
6	95,94	47,97	1,92
	Total		11,09
	Rata-rata		1,85

Berdasarkan Tabel 3, potensi simpanan karbon pada agroforestri sederhana sebesar 1,05 ton/ha. Hasil lainnya pada tipe agroforestri kompleks cenderung lebih besar yakni 1,85 ton/ha. Nilai potensi simpanan karbon tumbuhan bawah pada tipe agroforestri sederhana cenderung lebih rendah dapat disebabkan oleh faktor pohon penayang tanaman kopi dan sumbangan serasah yang dihasilkan. Menurut Senjaya dan Surakusumah (2008), menyebutkan bahwa pada kawasan pertumbuhan pohon pinus tidak ditemukan adanya pertumbuhan tanaman herba akibat sumbangan serasah dari daun pohon tersebut mengeluarkan zat alelopati. Zat tersebut merupakan senyawa bioaktif yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Serasah daun pinus sulit terdekomposisi menyebabkan populasi tumbuhan bawah cenderung rendah akibat bahan organik rendah (Iskandar *et al.* 2020). Pohon mahoni sebagai naungan pada agroforestri sederhana turut menyumbang bahan organik tanah. Mahoni turut menghasilkan serasah yang sulit terdekomposisi akibat kandungan lignin yang tinggi (Darmayanti *et al.* 2012).

Naungan yang beragam yang merupakan kategori tanaman MPTS dengan karakteristik serasah yang mudah terdekomposisi serta jarak tanam yang rapat menyebabkan adanya kondisi ideal untuk pertumbuhan gulma atau tumbuhan bawah. Persebaran tumbuhan bawah suatu agroekosistem merupakan pengaruh interaksi antara vegetasi dan kondisi lingkungan. Berdasarkan penelitian oleh Setiayu *et al.* (2020), semakin tua populasi tegakan maka suhu udara akan semakin menurun dan menyebabkan adanya penurunan komposisi dan distribusi tumbuhan bawah. Faktor lainnya yakni umur tegakan yang berumur semakin tua memiliki perkembangan kanopi lebih luas sehingga intensitas cahaya yang masuk di lantai suatu agroforestri akan semakin rendah. Kondisi tersebut menjadi salah satu faktor suplai intensitas cahaya yang rendah pada lantai agroforestri dan menyebabkan rendahnya proses fotosintesis yang terjadi pada tumbuhan bawah. Kondisi tersebut sekaligus selaras dengan gambaran pertumbuhan bawah yang ada pada agroforestri sederhana.

Potensi Simpanan Karbon Serasah

Serasah yang diperoleh terdiri dari bagian-bagian tumbuhan yang telah mati di antaranya yaitu daun, ranting, cabang, buah dan kulit kayu serta bagian lainnya yang tersebar di permukaan tanah dan sebelum mengalami proses dekomposisi. Peran serasah lainnya setelah menyimpan karbon yakni melepaskan CO₂ ke atmosfer melalui proses dekomposisi.

Potensi serasah dalam menyimpan karbon berbanding lurus dengan jumlah serasah yang ada di permukaan tanah. Dapat dilihat pada Tabel 4, biomassa dan potensi simpanan serasah pada tipe agroforestri kompleks lebih besar dibandingkan dengan tipe agroforestri sederhana. Perhitungan karbon pada agroforestri kompleks diperoleh potensi jumlah sebesar 45,31 ton/ha dengan rata-rata 7,55 ton/ha. Hasil perhitungan karbon pada agroforestri sederhana diperoleh data lebih rendah yakni biomassa dan potensi simpanan karbon dengan jumlah 36,49 ton/ha serta rata-rata sebesar 6,08 ton/ha. Data yang digunakan dalam

potensi simpanan karbon baik pada serasah maupun tumbuhan bawah merupakan nilai rata-rata yang diperoleh. Penelitian oleh Al-Reza *et al.* (2017), memperoleh hasil cadangan karbon serasah dengan komponen jenis pohon hutan yakni sebesar 0,26 ton/ha.

Menurut Novrianto *et al.* (2018), semakin tinggi jumlah sebaran pohon maka guguran-guguran sisa bagian tanaman yang mati juga akan semakin banyak dalam bentuk biomassa serasah. Jenis tegakan pohon maupun tanaman memengaruhi karakteristik serasah pada masing-masing tipe agroforestri. Tipe agroforestri sederhana dengan komponen pohon pinus, mahoni dan tanaman kopi diperoleh serasah berupa guguran daun dan ranting pohon mahoni dan tanaman kopi serta daun dan buah pohon pinus yang sulit terdekomposisi. Hasil lainnya pada agroforestri kompleks cenderung ditemukan komponen serasah berupa dedaunan. Serasah pada lahan agroforestri memiliki karakteristik basah dengan kandungan air yang cukup tinggi. Kondisi tersebut dapat disebabkan oleh penerimaan cahaya pada lantai lahan yang tidak penuh akibat terhalang kanopi pohon atau tanaman.

Potensi Simpanan Karbon Pohon Mati

Pohon mati atau nekromassa berkayu merupakan salah satu sumber daya yang turut menyimpan karbon di dalam biomassa tanaman yang tersisa. Kemampuan pohon mati dalam menyimpan karbon berdasarkan kondisi pelapukan serta jenis tanaman tersebut. Pengukuran terhadap biomassa dan potensi simpanan karbon pohon mati hanya ditemukan pada tipe agroforestri sederhana. Masing-masing nekromassa tersebut memiliki diameter < 30 cm dan diperoleh pada sub-plot berukuran 40 m x 5 m. Berdasarkan aktivitas di lokasi penelitian diketahui bahwa pada agroforestri kompleks tidak ditemukan pohon mati atau nekromassa berkayu. Faktor yang memengaruhi hal tersebut yakni kondisi pada tipe agroforestri kompleks cenderung terawat karena berada di sekitar wilayah pemukiman penduduk. Adapun hasil pengukuran biomassa dan karbon nekromassa berkayu pada lokasi penelitian.

Tabel 4 Data Karbon Serasah

Sub-Plot	Berat Kering (BK) Total (gram)	Karbon Serasah (gram)	Karbon Serasah/ha (ton/ha)
A. Agroforestri Sederhana			
1	217,52	108,76	4,35
2	266,86	133,43	5,34
3	351,30	175,65	7,03
4	272,11	136,06	5,44
5	317,66	158,83	6,35
6	398,82	199,41	7,98
	Total		36,49
	Rata-rata		6,08
B. Agroforestri Kompleks			
1	314,32	157,16	6,29
2	409,69	204,85	8,19
3	338,67	169,33	6,77
4	397,91	198,96	7,96
5	388,97	194,49	7,79
6	416,07	208,04	8,32
	Total		45,31
	Rata-rata		7,55

Kondisi fisik nekromassa berkayu dalam keadaan rebah dan mengalami pelapukan, sehingga nilai yang diperoleh relatif rendah. Tipe agroforestri sederhana diperoleh data total biomassa sebesar 0,80 ton/ha dengan potensi simpanan karbon sebesar 0,40 ton/ha, data tersebut dapat dilihat pada Tabel 5. Perhitungan tersebut sama halnya dengan pengukuran sumber serapan karbon lainnya, pada potensi simpanan karbon nekromassa berkayu merupakan 50% dari biomassa dari pohon mati tersebut. Kedua tipe agroforestri baik sederhana maupun kompleks merupakan lahan aktif untuk aktivitas budi daya kopi robusta dengan sistem naungan pohon. Kondisi tegakan berupa naungan pohon dan tanaman budi daya cenderung diperhatikan. Kondisi tersebut menjadi salah satu faktor sumbangan karbon oleh nekromassa berkayu suatu agroforestri cenderung rendah. Pemanfaatan model pertanian lainnya dengan terdapatnya komponen pohon berkayu sekaligus hanya ditemukan nilai cadangan karbon pada nekromassa berkayu yang rendah. Selaras dengan penelitian Al-Reza *et al.* (2017), melakukan pengukuran terhadap cadangan karbon pada nekromassa berkayu (pohon mati) yang hanya menyumbang potensi sebesar 1,25 ton/ha.

Total Potensi Simpanan Karbon Agroforestri

Pengukuran potensi simpanan karbon pada seluruh komponen merupakan hasil pengukuran terhadap biomassa masing-masing komponen. Perhitungan potensi simpanan karbon dalam satuan ton/ha merupakan hasil dari pengambilan plot yang dapat mewakili keberadaan komponen tersebut pada kedua tipe agroforestri. Hasil nilai total potensi simpanan karbon antar tipe agroforestri memiliki perbedaan dengan selisih nilai yang cenderung tinggi. Adapun data yang dapat disajikan untuk potensi simpanan karbon pada kedua tipe agroforestri.

Tabel 5 Data Karbon Nekromassa Berkayu pada Tipe Agroforestri Sederhana

Pohon Mati	Pelapukan	BK (Kg / Nekromassa)	Karbon Nekromassa Berkayu (Kg/ Nekromassa)
1	50%	10,40	5,20
2	20%	5,42	2,71
Total		15,82	7,91
Total (kg/m ²)		0,08	0,04
Total (ton/ha)		0,80	0,40

Tabel 6 Total Potensi Simpanan Karbon

Sumber Penyimpanan Karbon	Karbon Agroforestri Sederhana (ton/ha)	Karbon Agroforestri Kompleks (ton/ha)
Pohon Hidup	159,02	49,46
Tumbuhan Bawah	1,05	1,85
Serasah (Nekromassa Tak Berkayu)	6,08	7,55
Pohon Mati (Nekromassa Berkayu)	0,40	0,00
Total	166,55	58,86

Potensi simpanan karbon pada kedua tipe agroforestri dipengaruhi oleh besarnya biomassa dari masing-masing komponen agroekosistem. Kedua agroforestri tersebut memiliki kesamaan dengan adanya komponen kopi robusta sebagai tanaman utama dalam fungsi ekonomi, tetapi dalam pengukuran cadangan karbon memiliki potensi yang berbeda. Dapat dilihat pada Tabel 6., masing-masing potensi simpanan karbon kedua tipe agroforestri dari keempat sumber penyimpanan karbon. Total potensi simpanan karbon yang lebih besar ada pada tipe agroforestri sederhana yakni sebesar 166,55 ton/ha atau 78,89% lebih besar dibandingkan tipe agroforestri kompleks. Total potensi simpanan karbon pada agroforestri kompleks 26,11% lebih rendah dibandingkan agroforestri sederhana.

Potensi simpanan karbon pada kedua tipe agroforestri cenderung memiliki nilai yang potensial dengan kemiripan seperti hutan yakni cadangan karbon di permukaan tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi simpanan karbon pada tipe agroforestri sederhana lebih besar dengan pengelolaan beberapa lahan hutan yang telah diteliti sebelumnya, yakni pada agroforestri sederhana memiliki kemampuan sebesar 166,55 ton/ha dan agroforestri kompleks sebesar 58,86 ton/ha. Menurut penelitian oleh Ristiara *et al.* (2017), pengelolaan hutan rakyat memiliki potensi karbon tersimpan di permukaan tanah sebesar 101,61 ton/ha dengan komposisi tegakan pohon berupa tanaman MTPS, tanaman kayu dan perkebunan. Hasil penelitian oleh Qirom *et al.* (2018), sekaligus menyajikan potensi simpanan karbon di permukaan tanah pada beberapa tipologi Hutan Rawa Gambut (HRG) di Kalimantan Tengah yakni pada tipologi semak belukar (kedalaman gambut 3-3,5 m) sebesar 18,07 ton/ha, hutan sekunder (kedalaman gambut 3-3,5 m) sebesar 145,05 ton/ha dan pada hutan sekunder (kedalaman gambut 4-5 m) sebesar 129,29 ton/ha. Hutan Rawa Gambut (HRG) merupakan gudang penyimpanan karbon utama di dunia dengan potensi penyerapan karbon terbesar dan potensi serapan terbesar berada di dalam tanah.

Kemampuan suatu agroekosistem dalam potensi penyerapan karbon menjadi salah satu kontribusi sistem pengelolaan lahan dengan komposisinya. Kontribusi tersebut diketahui dengan adanya kemampuan penyerapan GRK dengan komposisi CO₂ (karbon dioksida) ke dalam jaringan tumbuhan sehingga menekan terjadinya pemanasan global dan perubahan lingkungan. Hasil kemampuan tersebut menunjukkan potensi bagi perbaikan kondisi lingkungan untuk menciptakan kondisi syarat tumbuh ideal bagi tanaman pertanian. Umur tanaman menjadi salah satu faktor penentu potensi simpanan karbon yang dikaitkan dengan ukuran diameter dan tinggi tanaman khususnya pada tegakan berupa tanaman berkayu (Sari *et al.* 2022). Berdasarkan dampak perbaikan lingkungan serta keberlanjutan suatu pengelolaan agroekosistem, bahwa penelitian ini menjadi rekomendasi dalam pentingnya komponen pohon untuk memainkan peran penyerapan karbon, sehingga mampu menjadi solusi pengendalian iklim mikro. Pengembangan tipe agroforestri sederhana dengan komponen jenis pohon hutan dan tanaman kopi robusta menjadi alternatif fungsi hutan sebagai ekosistem penyerapan karbon terbesar di bumi. Manajemen tersebut

sekaligus membantu dalam kemampuan produktivitas lahan budidaya kopi yang berpengaruh secara ekonomi oleh masyarakat.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Komposisi jumlah individu pohon naungan dengan rata-rata diameter lebih besar akan menghasilkan potensi cadangan karbon yang lebih besar. Sedangkan keragaman jenis pohon penabung tidak menentukan potensi simpanan karbon yang tinggi. Potensi cadangan karbon suatu agroforestri dipengaruhi oleh komposisi tegakan pohon yang besar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa agroforestri sederhana dengan tegakan naungan pinus dan mahoni memiliki potensi simpanan karbon lebih besar, yakni 73,89% sedangkan pada agroforestri kompleks dengan persentase 26,11%. Nilai tersebut diperoleh dari total potensi simpanan karbon pada agroforestri sederhana sebesar 166,55 ton/ha dan pada agroforestri kompleks sebesar 58,86 ton/ha.

Saran

Saran sebaiknya mengarah ke implikasi atau tindakan lanjutan yang harus dilakukan sehubungan dengan temuan atau simpulan. Saran yang berkaitan dengan tindak lanjut pelaksanaan atau hasil penelitian/kajian, sebaiknya berupa penyempurnaan asumsi dan metode. Jadi, saran terkait penelitian lanjutan harus diuraikan secara spesifik. Saran juga dapat berupa rekomendasi bagi para pemangku kepentingan. Untuk itu, saran perlu menjelaskan bahwa hasil temuan dapat langsung diterapkan dalam kehidupan sehari-hari atau memerlukan penyesuaian tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas F, Hammad HM, Fahad S, Cerdà A, Rizwan M, Farhad W, Ehsan S, Bakhat HF. 2017. Agroforestry: A Sustainable Environmental Practice for Carbon Sequestration Under the Climate Change Scenarios A Review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(12), 11177-11191.
- 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.
- Ambarwati A, Duryat, Hidayat W. 2019. INP Vegetasi dan Karbon Tersimpan pada HKm Bina Wana Kecamatan Kebun Tebu Kabupaten Lampung Barat. *Jurnal Hutan Tropis*, 7(1):112-119.
- Darmayanti AS, Rindyastuti R. 2012. Perubahan Presentase Unsur Hara Serasah Akibat Proses

- Dekomposisi pada Empat Spesies Tanaman Gugur Daun di Kebun Raya Purwodadi. *Jurnal Biologi Indonesia*, 8(1): 45-55.
- Hairiah K, Sardjono MA, Sabarnurdin S. 2003. *Pengantar Agroforestri*. Malang: World Agroforestry Centre (ICRAF).
- Iskandar Y, Hendrayana Y, Karyaningsih I. 2020. Pendugaan Karbon Tumbuhan Bawah di Tegakan Pinus Bumi Perkemahan Pasirbatang Taman Nasional Gunung Ciremai. *Jurnal Ilmiah Biologi*, 2(3): 376-381.
- Ma'ruf A. 2017. Agrosilvopastura sebagai Sistem Pertanian Terencana Menuju Pertanian Berkelanjutan. *Jurnal Penelitian Pertanian Bernas*, 13(2): 81-90.
- Maulana SI. 2010. Pendugaan Densitas Karbon Tegakan Hutan Alam di Kabupaten Jayapura, Papua. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*, 7(4): 261-274.
- Nair PKR. 1993. *An Introduction to Agroforestry*. Canada: Kluwer Academic Publishers.
- Novita E, Huda MN, Pradana. 2021. Analisis Potensi Simpanan Karbon Agroforestri Perkebunan Kopi Robusta (*Coffea canephora*) di Pegunungan Argopuro, Kabupaten Bondowoso. *ECOTROPIC*, 15(2): 165-175.
- Novrianto, Ratnaningsih AT, Ikhwan M. 2018. Pendugaan Potensi Karbon Tumbuhan Bawah dan Serasa di Arboretum Universitas Lancang Kuning. *Jurnal Kehutanan*, 13(2): 144-155.
- Nunes LJR, Meireles CIR, Gomes CJP, Ribeiro NMC. 2020. Forest Contribution to Climate Change Mitigation: Management Oriented to Carbon Capture and Storage. *Climate*, 8(2): 1-20.
- Oderinde F, Afolayan OS. 2021. Evaluation of the Capacity of Agroforestry of Cocoa Trees in Atmospheric Carbon Dioxide Reduction. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 25(7): 1231-1237.
- Qirom MA, Yuwati TW, Santosa PB, Halwany W, Rachmanadi D. 2018. Potensi Simpanan Karbon pada Beberapa Tipologi Hutan Rawa Gambut di Kalimantan Tengah. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 12(2): 196-211.
- Rahayu D, Hardiansyah G, Widhanarto GO. 2013. Potensi Biomassa dan Karbon pada Hutan Tanaman *Eucalyptus pellita* PT. Finnantara Intiga Kabupaten Sintang. *Jurnal Hutan Lestari*, 1(2): 69-78.
- Rawung FC, 2015. Efektivitas Ruang Terbuka Hijau (RTH) dalam Mereduksi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Kawasan Perkotaan Boroko. *Media Matrasain*, 12(2): 17-32.
- Ristiara L, Hilmanto R, Duryyat. 2017. Estimasi Karbon Tersimpan pada Hutan Rakyat di Pekon Kelungu Kabupaten Tanggamus. *Jurnal Sylva Lestari*, 5(1): 128-138.
- Sari FD, Anwar G, Suharto, E. 2022. Potensi Biomassa dan Simpanan Karbon pada Agroforestri Kayu Bawang (*Azadirachta excelsa* Jacobs) dan Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Journal of Global Forest and Environmental Science*, 2(3): 52-62.
- Senjaya YA, Surakusumah W. 2008. Potensi Ekstrak Daun PINUS (*Pinus merkussi* Jungh et de Vriese) sebagai Bioherbisida Penghambat Perkecambah Echinochloa colonum L. dan Amaranthus viridis. *Jurnal Parential*, 4(1): 1-5
- Setiayu DP, Wibowo DN, Yani E. 2020. Keanekaragaman Tumbuhan Bawah pada Berbagai Umur Tegakan Jati (*Tectona grandis* L.) di KPH Banyumas Timur. *BioEksakta*, 2(1): 79-85.
- Sudalmi ES. 2010. Pembangunan Pertanian Berkelanjutan. *Jurnal Informasi Pertanian*, 9(2):15-28.
- Sutaryo D. 2009. *Perhitungan Biomassa: Sebuah Pengantar untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon*. Bogor: Wetlands International Indonesia Programme.
- Umesha S, Manukumar HMG, Chandrasekhar B. 2018. Sustainable Agriculture and Food Security. *Biotechnology for Sustainable Agriculture*, 67-92.
- Wahyuni H, Suranto. 2021. Dampak Deforestasi Hutan Skala Besar terhadap Pemanasan Global di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Ilmu Pemerintahan*, 6(1): 148-162.
- Wibowo A, Samsudin I, Nurtjahjawilasa, Subarudi, Muttaqin Z. 2013. *Petunjuk Praktis Menghitung Cadangan Karbon Hutan*. Bogor: UNESCO Office Jakarta.
- Widayani DP, Usodri KS. 2020. Kajian Kesesuaian Lahan Perkebunan Kopi Rakyat Kawasan Lereng Gunung Arjuna Kabupaten Malang. *Jurnal Arinika*, 4(2):108-118.
- Windusari Y, Sari NAP, Yustian I, Zulkifli H. 2012. Dugaan Cadangan Karbon Biomassa Tumbuhan Bawah dan Serasa di Kawasan Sukseksi Alami pada Area Pengendapan Talling PT Freeport Indonesia. *Biospecies*, 5(1): 22-28.
- World Agroforestry Center: *ICRAF Database-Wood Density*. Diakses dari <http://db.worldagroforestry.org/wd>
- Yulianingrum H, Yuniarti IK, Ulu MAN. 2020. Budidaya Kopi Rakyat dengan Pengelolaan Bahan Organik Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca dan Cadangan Karbon. *Jurnal Ilmu Lingkungan Hidup*, 18(1): 97-106.
- Yuniawati, Budiawan, & Elias. 2011. Estimasi Potensi Biomassa dan Massa Karbon Hutan Tanaman *Acacia crassicarpa* di Lahan Gambut (Studi Kasus di Areal HTI Kayu Serat di Pelalawan, Propinsi Riau). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 29(4). 343-355.
- Yuniawati, Dulsalam, Andini S. 2022. Potensi Simpanan Karbon dan Emisi CO₂ Akibat Penebangan di Hutan Alam Papua. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 40(2): 61-73.