



## Estimasi Biomassa Karbon dan Serapan CO<sub>2</sub> Ekuivalen Pohon Kemiri dan Kopi dalam Sistem Agroforestri di Kabupaten Buton

*(Estimation of Carbon Biomass and Carbon Sequestration (CO<sub>2</sub> Equivalent) of Candlenut and Coffee Trees in an Agroforestry System in Buton Regency)*

La Ode Midi<sup>1\*</sup>, Sahindomi Bana<sup>2</sup>, Nabilah Al Fadiyah Wahid Ode<sup>1</sup>, Laode Sabaruddin<sup>3</sup>, La Gandri<sup>1</sup>, La Ode Muhammad Erif<sup>1</sup>, Ema Hermawati Garusu<sup>1</sup>, Surya Cipta Ramadhan Kete<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Ilmu Lingkungan, Fakultas Kehutanan dan Ilmu Lingkungan, Universitas Halu Oleo, Kampus Bumi Tridharma Anduonohu, Jl. H.E.A. Mokodompit, Kambu, Kendari, Sulawesi Tenggara, Indonesia

<sup>2</sup> Jurusan Kehutanan, Fakultas Kehutanan dan Ilmu Lingkungan, Universitas Halu Oleo, Kampus Bumi Tridharma Anduonohu, Jl. H.E.A. Mokodompit, Kambu, Kendari, Sulawesi Tenggara, Indonesia

<sup>3</sup> Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Halu Oleo, Kampus Bumi Tridharma Anduonohu, Jl. H.E.A. Mokodompit, Kambu, Kendari, Sulawesi Tenggara, Indonesia

### Informasi Artikel:

Submission : 23 Februari 2026  
Revised : 02 Juni 2026  
Accepted : 03 Juni 2026  
Published : 04 Juni 2026

### \*Penulis Korespondensi:

La Ode Midi  
Jurusan Ilmu Lingkungan, Fakultas  
Kehutanan dan Ilmu Lingkungan,  
Universitas Halu Oleo, Kampus Bumi  
Tridharma Anduonohu, Jl. H.E.A.  
Mokodompit, Kambu, Kendari,  
Sulawesi Tenggara, Indonesia  
e-mail: [laodemidi@uho.ac.id](mailto:laodemidi@uho.ac.id)  
Telp: +62 853-3345-3177

Makila 20 (1) 2026: 182-197

DOI:

<https://doi.org/10.30598/makila.v20i1.24891>



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License

Copyright ©2026 Author(s) La Ode Midi, Sahindomi Bana, Nabilah Al Fadiyah Wahid Ode, Laode Sabaruddin, La Gandri, La Ode Muhammad Erif, Ema Hermawati Garusu, Surya Cipta Ramadhan Kete

Journal homepage:

<https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/makila>

Journal e-mail: [makilajournal@gmail.com](mailto:makilajournal@gmail.com)

Research Article · Open Access

### ABSTRACT

Agroforestry is a land-use system with the potential to increase biomass, carbon stock, and estimated CO<sub>2</sub>-equivalent sequestration, thereby contributing to climate change mitigation. This study aimed to estimate aboveground biomass, carbon stock, and CO<sub>2</sub>-equivalent sequestration in a candlenut (*Aleurites moluccanus*)–coffee (*Coffea canephora*) agroforestry system in Kaongkeongkea Village, Pasarwajo District, Buton Regency, Southeast Sulawesi. Field measurements were conducted from November to December 2024 using a non-destructive method by measuring diameter at breast height (DBH) in 11 plots measuring 20 m × 20 m, with a total sample area of 0.44 ha. Biomass was estimated using species-specific allometric equations, carbon stock was calculated using a carbon fraction of 47%, and CO<sub>2</sub>-equivalent sequestration was estimated using a conversion factor of 3.67. The results showed that the agroforestry system was dominated by coffee, with a density of 215.91 trees ha<sup>-1</sup>, while candlenut had a density of 113.64 trees ha<sup>-1</sup>. The average biomass of candlenut reached 117.06 tons ha<sup>-1</sup>, higher than that of coffee at 12.35 tons ha<sup>-1</sup>. The carbon stock of candlenut was 55.02 tons C ha<sup>-1</sup>, while coffee stored 5.81 tons C ha<sup>-1</sup>. Meanwhile, CO<sub>2</sub>-equivalent sequestration was 201.74 tons CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> for candlenut and 21.29 tons CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> for coffee. Across the 43 ha agroforestry area, total CO<sub>2</sub>-equivalent sequestration was estimated at 9,589.97 tons CO<sub>2</sub>. These findings indicate that candlenut contributes dominantly to carbon stock in the agroforestry system.

**KEYWORDS:** Agroforestry, carbon stock, CO<sub>2</sub> equivalent sequestration, *Aleurites moluccanus*, Southeast Sulawesi

### INTISARI

Agroforestri merupakan sistem penggunaan lahan yang berpotensi meningkatkan biomassa, cadangan karbon, dan serapan CO<sub>2</sub> ekuivalen sehingga berkontribusi terhadap

mitigasi perubahan iklim. Penelitian ini bertujuan mengestimasi biomassa di atas permukaan tanah, cadangan karbon, dan serapan CO<sub>2</sub> ekuivalen pada sistem agroforestri kemiri (*Aleurites moluccanus*)–kopi (*Coffea canephora*) di Desa Kaongkeongkea, Kecamatan Pasarwajo, Kabupaten Buton, Sulawesi Tenggara. Pengukuran dilakukan pada November–Desember 2024 secara non-destruktif melalui pengukuran diameter batang setinggi dada (DBH) pada 11 plot berukuran 20 m × 20 m dengan total luas sampel 0,44 ha. Biomassa diestimasi menggunakan persamaan alometrik spesifik jenis, cadangan karbon dihitung dengan fraksi karbon 47%, dan serapan CO<sub>2</sub> ekuivalen menggunakan faktor konversi 3,67. Hasil penelitian menunjukkan bahwa agroforestri didominasi kopi dengan kerapatan 215,91 pohon ha<sup>-1</sup>, sedangkan kemiri 113,64 pohon ha<sup>-1</sup>. Biomassa rata-rata kemiri mencapai 117,06 ton ha<sup>-1</sup>, lebih tinggi dibandingkan kopi sebesar 12,35 ton ha<sup>-1</sup>. Cadangan karbon kemiri sebesar 55,02 ton C ha<sup>-1</sup> dan kopi 5,81 ton C ha<sup>-1</sup>, sedangkan serapan CO<sub>2</sub> ekuivalen masing-masing sebesar 201,74 ton CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> dan 21,29 ton CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>. Pada areal 43 ha, total serapan CO<sub>2</sub> ekuivalen diperkirakan mencapai 9.589,97 ton CO<sub>2</sub>. Hasil ini menunjukkan bahwa kemiri berkontribusi dominan terhadap stok karbon agroforestri.

**KATA KUNCI:** Agroforestri, cadangan karbon, serapan CO<sub>2</sub> ekuivalen, *Aleurites moluccanus*, Sulawesi Tenggara

## PENDAHULUAN

Perubahan iklim global merupakan salah satu tantangan lingkungan utama yang dihadapi dunia saat ini. Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca, terutama karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), yang berasal dari pembakaran bahan bakar fosil, aktivitas industri, dan perubahan penggunaan lahan telah berkontribusi terhadap peningkatan suhu global serta berbagai gangguan ekosistem (IPCC, 2021). Dalam konteks tersebut, pengelolaan lahan yang mampu meningkatkan penyimpanan karbon dan sekuestrasi karbon menjadi salah satu strategi penting dalam upaya mitigasi perubahan iklim.

Agroforestri merupakan sistem penggunaan lahan yang mengintegrasikan pohon dengan tanaman pertanian dalam satu unit pengelolaan lahan. Sistem ini tidak hanya memberikan manfaat ekonomi bagi petani (Nair *et al.*, 2009), tetapi juga berperan dalam meningkatkan biomassa vegetasi, cadangan karbon, dan serapan CO<sub>2</sub> ekuivalen dibandingkan dengan sistem budidaya monokultur (Gochar & Gurjar, 2024; Raj *et al.*, 2025; Yadav *et al.*, 2025; ; Johnson, 2025). Kehadiran komponen pohon dalam agroforestri memungkinkan akumulasi biomassa yang lebih besar sehingga berkontribusi terhadap peningkatan penyimpanan karbon dalam vegetasi. Selain itu, agroforestri juga mendukung konservasi tanah, pengurangan erosi, peningkatan keanekaragaman hayati, serta ketahanan sistem pertanian terhadap perubahan iklim (Abbas *et al.*, 2017; Kalra *et al.*, 2025).

Di Indonesia, agroforestri banyak dikembangkan dengan memadukan berbagai jenis tanaman tahunan yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Salah satu bentuk agroforestri yang umum

dijumpai adalah kombinasi kemiri (*Aleurites moluccanus*) dan kopi (*Coffea canephora*). Kemiri berfungsi sebagai pohon penaung sekaligus penghasil hasil hutan bukan kayu, sedangkan kopi menjadi komoditas utama yang mendukung pendapatan petani. Struktur vegetasi yang terbentuk dari kombinasi kedua jenis tanaman tersebut berpotensi menghasilkan biomassa dan cadangan karbon yang cukup besar sehingga dapat berkontribusi dalam mitigasi perubahan iklim. Meskipun berbagai penelitian telah melaporkan potensi penyimpanan karbon pada sistem agroforestri di berbagai wilayah tropis, informasi mengenai biomassa, cadangan karbon, dan serapan CO<sub>2</sub> ekuivalen pada sistem agroforestri kemiri-kopi di Kabupaten Buton, Sulawesi Tenggara, masih sangat terbatas. Padahal, data tersebut diperlukan untuk mendukung pengelolaan agroforestri berkelanjutan, pengembangan program mitigasi perubahan iklim, serta penyusunan kebijakan berbasis bukti terkait pengelolaan sumber daya lahan di tingkat lokal. Keterbatasan data ini menunjukkan adanya kesenjangan informasi yang perlu diisi melalui penelitian lapangan pada sistem agroforestri yang dikelola oleh masyarakat lokal.

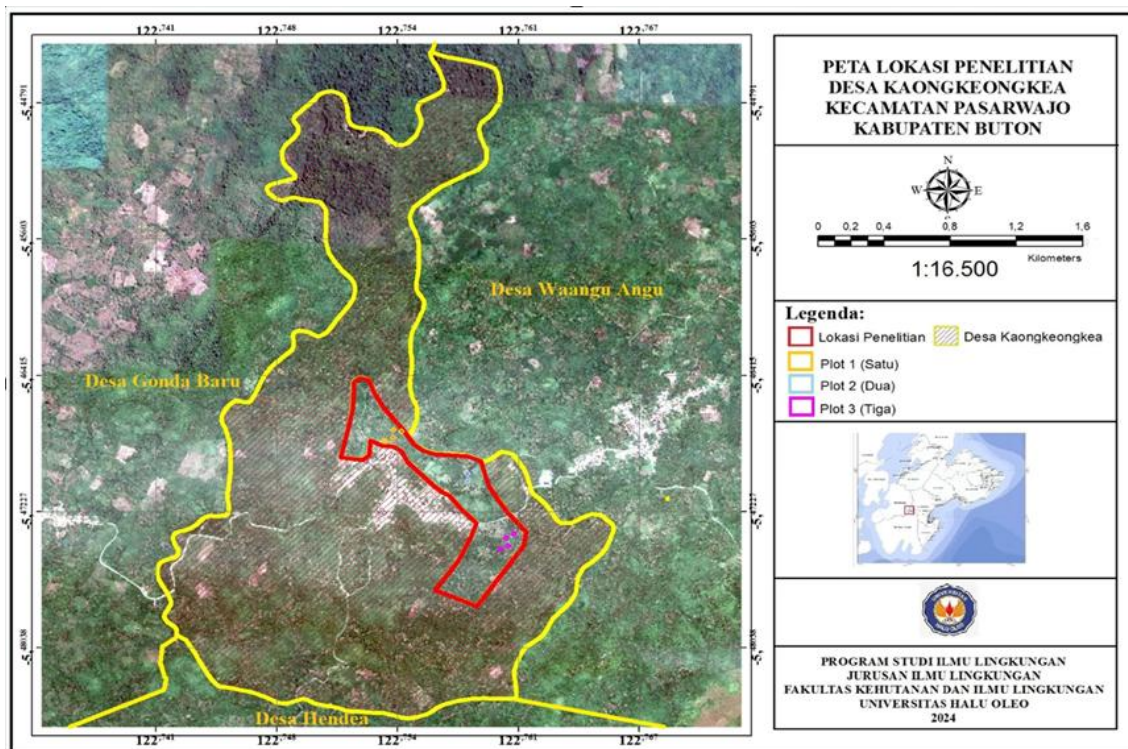
Desa Kaongkeongkea, Kecamatan Pasarwajo, Kabupaten Buton, merupakan salah satu wilayah yang telah lama menerapkan sistem agroforestri berbasis kemiri dan kopi. Namun demikian, informasi kuantitatif mengenai biomassa atas permukaan tanah, cadangan karbon, dan potensi serapan CO<sub>2</sub> ekuivalen pada sistem tersebut belum tersedia secara memadai. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengestimasi biomassa atas permukaan tanah, cadangan karbon, dan serapan CO<sub>2</sub> ekuivalen pada tanaman kemiri dan kopi dalam sistem agroforestri di Desa Kaongkeongkea menggunakan pendekatan non-destruktif melalui pengukuran diameter batang setinggi dada (DBH) dan persamaan alometrik. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam pengelolaan agroforestri yang berkelanjutan serta mendukung upaya mitigasi perubahan iklim di tingkat lokal dan regional.

## METODE PENELITIAN

### Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Desa Kaongkeongkea, Kecamatan Pasarwajo, Kabupaten Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara, yang terletak pada koordinat 5°28'16,08" LS dan 122°45'16,87" BT. Kegiatan penelitian berlangsung pada bulan November hingga Desember 2024. Secara biofisik, wilayah penelitian berada pada ketinggian sekitar 312–350 m dpl dengan topografi yang didominasi oleh perbukitan. Curah hujan rata-rata tahunan mencapai sekitar 2.223 mm tahun<sup>-1</sup> dan wilayah ini didominasi oleh jenis tanah yang mendukung kegiatan pertanian dan agroforestri. Kondisi tersebut memungkinkan berkembangnya sistem agroforestri berbasis kemiri (*Aleurites moluccanus*) dan kopi (*Coffea canephora*) yang dikelola oleh masyarakat setempat (Kementerian Pariwisata Republik Indonesia, 2025).

Lokasi penelitian dan distribusi plot pengamatan dalam sistem agroforestri disajikan pada **Gambar 1**. Peta tersebut memberikan informasi mengenai letak geografis Desa Kaongkeongkea, Kecamatan Pasarwajo, Kabupaten Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara, serta posisi relatif plot penelitian yang digunakan untuk pengukuran biomassa atas permukaan tanah, cadangan karbon, dan estimasi serapan CO<sub>2</sub> ekuivalen.



**Gambar 1.** Lokasi penelitian dan sebaran plot pengamatan pada sistem agroforestri kemiri (*Aleurites moluccanus*)–kopi (*Coffea canephora*) di Desa Kaongkeongkea, Kecamatan Pasarwajo, Kabupaten Buton, Sulawesi Tenggara

### Populasi dan Sampel

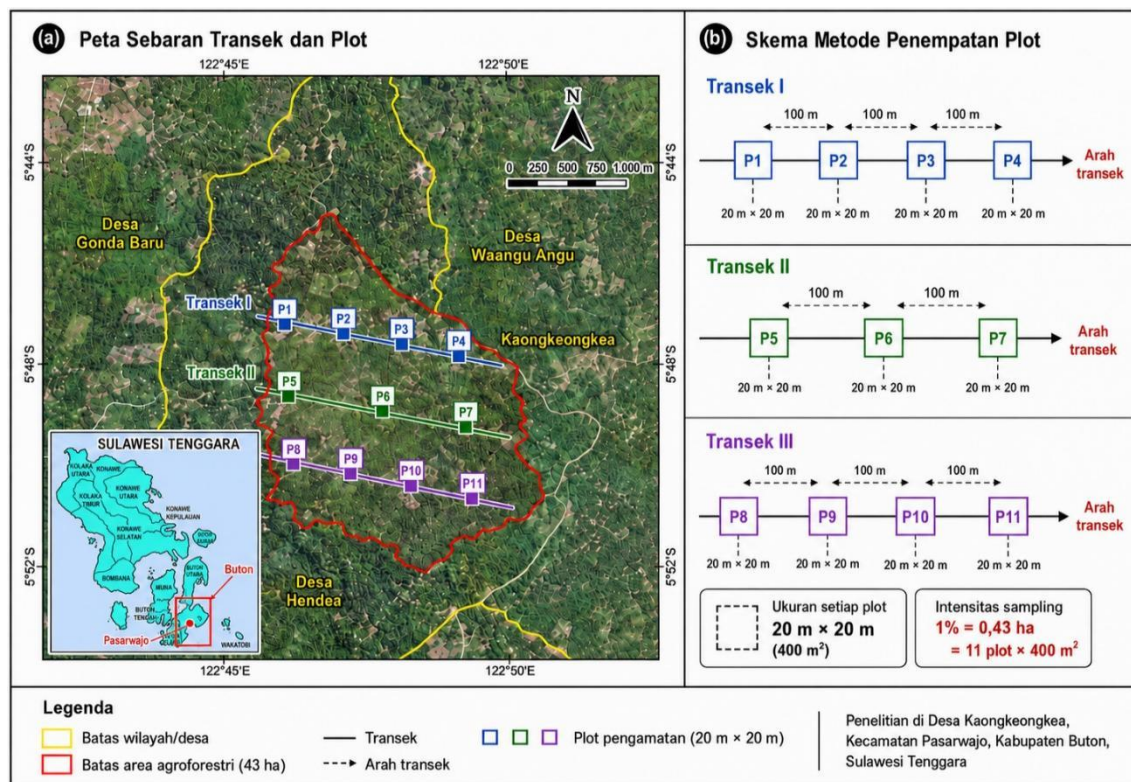
Populasi penelitian meliputi seluruh tegakan kemiri (*Aleurites moluccanus*) dan kopi (*Coffea canephora*) yang terdapat dalam sistem agroforestri di Desa Kaongkeongkea, Kecamatan Pasarwajo, Kabupaten Buton, dengan luas areal sekitar 43 ha. Luas areal tersebut diperoleh melalui deliniasi batas kawasan agroforestri menggunakan peta penggunaan lahan dan verifikasi lapangan dengan bantuan perangkat *Global Positioning System* (GPS). Area yang telah dideliniasi selanjutnya digunakan sebagai dasar penentuan populasi penelitian.

Penentuan sampel dilakukan menggunakan metode *purposive sampling* dengan intensitas sampling sebesar 1% mengacu pada Permenhut P.33/Menhut-II/2009. Berdasarkan intensitas tersebut, luas sampel yang diperlukan adalah sekitar 0,43 ha atau 4.300 m<sup>2</sup>. Dalam pelaksanaannya digunakan 11 plot pengamatan berukuran 20 m × 20 m (400 m<sup>2</sup>) sehingga luas total area sampel menjadi 4.400 m<sup>2</sup> atau 0,44 ha.

Plot pengamatan ditempatkan pada tiga transek yang mewakili variasi kondisi agroforestri dalam areal penelitian. Transek 1 terdiri atas empat plot (Plot 1–4), Transek 2 terdiri atas tiga plot

(Plot 5–7), dan Transek 3 terdiri atas empat plot (Plot 8–11). Penempatan transek mempertimbangkan sebaran tegakan kemiri dan kopi, aksesibilitas lapangan, serta variasi kondisi topografi sehingga dapat mewakili karakteristik vegetasi pada seluruh areal penelitian.

Dalam setiap transek, plot ditempatkan secara sistematis dengan jarak antarplot sekitar 100 m mengikuti arah sebaran vegetasi dan kondisi lapangan. Distribusi plot dan posisi masing-masing transek dalam areal penelitian disajikan pada **Gambar 2**.



**Gambar 2.** Visualisasi Metode Penempatan Plot pada Area Agroforestry

### Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan secara non-destruktif melalui pengukuran diameter batang pada seluruh individu kemiri dan kopi yang berada di dalam plot pengamatan, tanpa melakukan penebangan atau perusakan tanaman. Karena parameter utama yang diamati adalah diameter batang, pengukuran dapat dilakukan selama periode penelitian tanpa dipengaruhi secara signifikan oleh variasi musim.

Pada tanaman kemiri, diameter batang diukur pada ketinggian 1,3 m dari permukaan tanah atau diameter at breast height (DBH), yang merupakan standar umum untuk mengukur diameter pohon. Individu kemiri dikategorikan sebagai pohon apabila memiliki diameter batang  $\geq 20$  cm. Jika percabangan terjadi di atas titik ukur 1,3 m, pengukuran tetap dilakukan pada batang utama. Namun, jika percabangan terjadi di bawah 1,3 m, setiap batang utama yang berasal dari satu individu diukur secara terpisah dan dicatat sebagai batang bercabang atau multi-stem.

Pada tanaman kopi, klasifikasi tidak menggunakan fase bibit berdasarkan diameter seperti standar kehutanan, karena kopi merupakan tanaman perkebunan berperawakan perdu dan sering

memiliki banyak batang. Oleh karena itu, kopi diklasifikasikan menjadi tanaman belum produktif dan tanaman produktif berdasarkan kondisi pertumbuhannya. Pengukuran diameter dilakukan pada batang utama untuk tanaman berbatang tunggal, sedangkan pada kopi multi-stem setiap batang utama dalam satu rumpun diukur secara terpisah agar karakter pertumbuhannya tetap terwakili dalam perhitungan biomassa dan cadangan karbon.

Instrumen yang digunakan meliputi pita diameter atau pita ukur, kaliper untuk batang berukuran kecil, serta tally sheet untuk mencatat nomor plot, jenis tanaman, jumlah individu, diameter batang, dan kondisi batang. Jika pengukuran dilakukan menggunakan keliling batang, nilai diameter dikonversi dengan rumus  $\text{diameter} = \text{keliling} / \pi$ .

### Variabel Penelitian

Variabel yang diamati dalam penelitian ini meliputi: Diameter batang kemiri pada ketinggian 1,3 m atau diameter *at breast height*/DBH (cm); Diameter batang kopi sesuai karakter pertumbuhan batang tunggal atau multi-stem (cm); Kondisi kesehatan tanaman secara visual, seperti batang normal, batang bercabang, batang rusak, atau tanaman mati; Biomassa atas permukaan tanah (kg pohon<sup>-1</sup>); Cadangan karbon atas permukaan tanah (kg pohon<sup>-1</sup>); dan Estimasi serapan CO<sub>2</sub> ekuivalen (kg CO<sub>2</sub> pohon<sup>-1</sup>). Dalam penelitian ini, variabel utama yang digunakan untuk estimasi biomassa adalah diameter batang. Pengukuran tinggi pohon tidak dilakukan karena persamaan alometrik yang digunakan dalam penelitian ini berbasis diameter batang. Oleh karena itu, tinggi pohon tidak dimasukkan sebagai variabel utama dalam analisis biomassa. Meskipun demikian, penambahan variabel tinggi pohon, terutama pada kemiri dewasa, dapat dipertimbangkan pada penelitian selanjutnya untuk meningkatkan ketelitian estimasi biomassa.

Kondisi kesehatan tanaman diamati secara visual untuk memberikan informasi tambahan terhadap keadaan individu tanaman di dalam plot. Kategori yang dicatat meliputi tanaman normal, tanaman bercabang banyak atau multi-stem, tanaman dengan batang rusak, dan tanaman mati. Tanaman mati tidak dimasukkan dalam perhitungan biomassa hidup, tetapi tetap dicatat sebagai bagian dari kondisi vegetasi di lapangan. Penelitian ini memiliki batasan bahwa estimasi biomassa dan cadangan karbon hanya dilakukan pada biomassa atas permukaan tanah. Komponen karbon bawah tanah, seperti akar, serta komponen karbon lain seperti serasah, nekromassa, dan karbon organik tanah tidak dihitung dalam penelitian ini. Oleh karena itu, hasil estimasi cadangan karbon dalam penelitian ini menggambarkan potensi karbon atas permukaan tanah pada tanaman kemiri dan kopi di area agroforestri, bukan total cadangan karbon ekosistem secara keseluruhan.

### Analisis Data

#### *Biomassa Atas Permukaan Tanah*

Biomassa atas permukaan tanah (*aboveground biomass*) diestimasi menggunakan persamaan alometrik spesifik jenis yang telah banyak digunakan dalam penelitian biomassa vegetasi tropis (Tabel 1). Penggunaan persamaan alometrik memungkinkan estimasi biomassa secara non-destruktif melalui pengukuran diameter batang setinggi dada (*diameter at breast height*; DBH).

**Tabel 1.** Persamaan alometrik dan faktor konversi yang digunakan dalam penelitian

| Komponen                                        | Persamaan/Faktor                                                                | Sumber                          |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Biomassa kemiri ( <i>Aleurites moluccanus</i> ) | $B = 0,11 \times \rho \times DBH^2 \cdot 62$ ; $\rho = 0,344 \text{ g cm}^{-3}$ | Ketterings <i>et al.</i> (2001) |
| Biomassa kopi ( <i>Coffea canephora</i> )       | $B = 0,2812(DBH)^2 \cdot 0636$                                                  | Krisnawati <i>et al.</i> (2012) |
| Cadangan karbon                                 | $C = B \times 0,47$                                                             | SNI 7724:2019                   |
| Serapan CO <sub>2</sub> ekuivalen               | $CO_2e = C \times 3,67$                                                         | Manuri <i>et al.</i> (2011)     |

Keterangan:

B = biomassa atas permukaan tanah (kg pohon<sup>-1</sup>); DBH = diameter batang setinggi dada (cm);  $\rho$  = kerapatan kayu (g cm<sup>-3</sup>); C = cadangan karbon (kg); CO<sub>2</sub>e = estimasi serapan CO<sub>2</sub> ekuivalen (kg CO<sub>2</sub>). Biomassa setiap individu pohon dijumlahkan untuk memperoleh biomassa total pada setiap plot, kemudian dikonversi ke satuan ton ha<sup>-1</sup>.

### Estimasi Cadangan Karbon

Cadangan karbon dihitung berdasarkan Standar Nasional Indonesia SNI 7724:2019 dengan asumsi bahwa kandungan karbon vegetasi sebesar 47% dari biomassa total.

Cadangan karbon dihitung menggunakan Persamaan 1:

$$C = B \times 0,47 \quad (1)$$

dengan: C = cadangan karbon (kg); B = biomassa atas permukaan tanah (kg)

Nilai cadangan karbon per hektar dihitung menggunakan Persamaan 2:

$$C_n = (C \times 10.000)/(L \times 1.000) \quad (2)$$

dengan: C<sub>n</sub> = cadangan karbon (ton C ha<sup>-1</sup>); C = cadangan karbon pada plot (kg); L = luas plot (m<sup>2</sup>)

10.000 = faktor konversi luas hektar. 1.000 = faktor konversi kilogram ke ton

### Estimasi Serapan CO<sub>2</sub> Ekuivalen

Estimasi serapan CO<sub>2</sub> ekuivalen dihitung dari cadangan karbon menggunakan faktor konversi 3,67 yang merupakan perbandingan massa molekul CO<sub>2</sub> (44) terhadap massa atom karbon (12) (Manuri *et al.*, 2011). Perhitungan dilakukan menggunakan Persamaan 3:

$$CO_2e = C \times 3,67 \quad (3)$$

dengan: CO<sub>2</sub>e = estimasi serapan CO<sub>2</sub> ekuivalen (kg CO<sub>2</sub>); C = cadangan karbon (kg); 3,67 = faktor konversi karbon menjadi CO<sub>2</sub> ekuivalen

Nilai biomassa, cadangan karbon, dan estimasi serapan CO<sub>2</sub> ekuivalen selanjutnya dianalisis secara deskriptif dan disajikan dalam satuan ton ha<sup>-1</sup> untuk menggambarkan potensi biomassa atas permukaan tanah, cadangan karbon, dan estimasi serapan CO<sub>2</sub> ekuivalen pada sistem agroforestri kemiri (*Aleurites moluccanus*)–kopi (*Coffea canephora*) di Desa Kaongkeongkea.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil utama terkait perkiraan penyerapan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) oleh tanaman kemiri dan kopi yang tumbuh dalam sistem agroforestri di Desa Kaongkeongkea, Kecamatan Pasarwajo, Kabupaten Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara. Temuan-temuan ini disajikan secara deskriptif berdasarkan analisis kuantitatif untuk menggambarkan biomassa, kandungan karbon, dan

kapasitas penyerapan CO<sub>2</sub> dari kedua jenis tanaman tersebut. Pembahasan berfokus pada interpretasi hasil terkait teori dan temuan penelitian sebelumnya, guna menunjukkan peran sistem agroforestri dalam meningkatkan cadangan karbon. Hasil disajikan secara berurutan, mulai dari karakteristik vegetasi, perkiraan biomassa, kandungan karbon, dan tingkat penyerapan CO<sub>2</sub>, beserta faktor-faktor yang mempengaruhinya.

### Komposisi Jenis dan Struktur Tegakan Agroforestri

Hasil inventarisasi vegetasi pada 11 plot pengamatan (luas total 0,44 ha) menunjukkan bahwa sistem agroforestri di Desa Kaongkeongkea tersusun oleh dua jenis utama, yaitu kemiri (*Aleurites moluccanus*) dan kopi (*Coffea canephora*). Total individu yang ditemukan sebanyak 145 pohon, terdiri atas 50 individu kemiri dan 95 individu kopi.

**Tabel 2.** Komposisi jenis, kerapatan, dan statistik diameter batang vegetasi pada sistem agroforestri kemiri-kopi di Desa Kaongkeongkea

| No           | Jenis spesies                          | Jumlah individu (n) | Kerapatan (pohon ha <sup>-1</sup> ) | DBH minimum (cm) | DBH maksimum (cm) | Rata-rata DBH ± SD (cm) |
|--------------|----------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|------------------|-------------------|-------------------------|
| 1            | Kemiri ( <i>Aleurites moluccanus</i> ) | 50                  | 113,64                              | 20,92            | 76,43             | 42,43 ± 16,74           |
| 2            | Kopi ( <i>Coffea canephora</i> )       | 95                  | 215,91                              | 5,51             | 9,55              | 6,76 ± 0,91             |
| <b>Total</b> |                                        | <b>145</b>          | <b>329,55</b>                       |                  |                   |                         |

Sumber: Data primer, 2024

Kerapatan kopi mencapai 215,91 pohon ha<sup>-1</sup>, lebih tinggi dibandingkan kemiri sebesar 113,64 pohon ha<sup>-1</sup>. Dengan demikian, kopi merupakan komponen vegetasi yang mendominasi sistem agroforestri, sedangkan kemiri berfungsi sebagai pohon penaung pada strata tajuk atas. Untuk menggambarkan struktur tegakan yang menjadi dasar estimasi biomassa dan cadangan karbon, dilakukan analisis distribusi diameter batang (DBH). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa diameter kemiri berkisar antara 20,92–76,43 cm dengan rata-rata 42,43 ± 16,74 cm, sedangkan diameter kopi berkisar antara 5,51–9,55 cm dengan rata-rata 6,76 ± 0,91 cm.

Sebagian besar individu kopi berada pada kelas diameter 5–8 cm, menunjukkan dominasi tanaman produktif pada fase pertumbuhan relatif seragam. Sebaliknya, kemiri memiliki sebaran diameter yang lebih luas, mulai dari kelas diameter 20–30 cm hingga lebih dari 70 cm, yang mengindikasikan adanya variasi umur dan ukuran pohon dalam sistem agroforestri. Keberadaan pohon kemiri berdiameter besar memberikan kontribusi yang signifikan terhadap akumulasi biomassa dan cadangan karbon karena biomassa pohon meningkat secara eksponensial seiring bertambahnya diameter batang. Selain itu, berdasarkan 11 plot pengamatan, rata-rata kerapatan vegetasi mencapai 13,18 ± 3,46 individu per plot, yang setara dengan 329,55 pohon ha<sup>-1</sup>. Rata-rata jumlah individu kemiri adalah 4,55 ± 1,51 pohon per plot, sedangkan kopi mencapai 8,64 ± 2,16 pohon per plot. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem agroforestri di Desa Kaongkeongkea

memiliki struktur multistrata yang didominasi oleh kopi sebagai komponen produksi utama dan kemiri sebagai penyusun strata tajuk atas.

### Perkiraan Biomassa Tanaman

Perhitungan biomassa menggunakan pendekatan persamaan alometrik menunjukkan adanya variasi yang cukup jelas antartransek, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Biomassa kemiri (*Aleurites moluccanus*) dan kopi (*Coffea canephora*) dalam sistem agroforestri di Desa Kaongkeongkea, Kecamatan Pasarwajo, Kabupaten Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara

| Jenis tanaman           | Transek | Biomassa total (kg petak <sup>-1</sup> ) | Biomassa total (ton petak <sup>-1</sup> ) | Rata-rata biomassa (ton ha <sup>-1</sup> ) |
|-------------------------|---------|------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Kemiri                  | 1       | 10.874,94                                | 10,87                                     | 67,97                                      |
| Kemiri                  | 2       | 27.179,75                                | 27,18                                     | 226,50                                     |
| Kemiri                  | 3       | 9.075,09                                 | 9,08                                      | 56,72                                      |
| <b>Total Kemiri</b>     |         | <b>47.129,78</b>                         | <b>47,13</b>                              |                                            |
| <b>Rata-rata Kemiri</b> |         | <b>4.284,53</b>                          | <b>4,28</b>                               | <b>107,11</b>                              |
| Kopi                    | 1       | 409,84                                   | 0,41                                      | 10,25                                      |
| Kopi                    | 2       | 332,93                                   | 0,33                                      | 11,10                                      |
| Kopi                    | 3       | 628,45                                   | 0,63                                      | 15,71                                      |
| <b>Total Kopi</b>       |         | <b>1.371,22</b>                          | <b>1,37</b>                               |                                            |
| <b>Rata-rata Kopi</b>   |         | <b>123,52</b>                            | <b>0,12</b>                               | <b>12,35</b>                               |

Sumber: Data Primer, 2024

**Tabel 3** menunjukkan bahwa biomassa kemiri tertinggi ditemukan pada transek 2 dengan rata-rata sebesar 226,50 ton ha<sup>-1</sup>, sedangkan biomassa terendah terdapat pada transek 3 sebesar 56,72 ton ha<sup>-1</sup>. Perbedaan ini diduga berkaitan dengan variasi kondisi tapak, terutama topografi dan ukuran tegakan kemiri pada masing-masing transek. Transek 2 memiliki pohon kemiri dengan diameter batang yang relatif lebih besar sehingga menghasilkan biomassa yang lebih tinggi. Sebaliknya, transek 3 didominasi oleh pohon berdiameter lebih kecil sehingga akumulasi biomassa lebih rendah. Kondisi topografi yang lebih curam juga dapat meningkatkan risiko erosi dan kehilangan unsur hara tanah sehingga memengaruhi pertumbuhan vegetasi. Temuan ini sejalan dengan Banjarnahor dkk. (2018) yang menyatakan bahwa erosi pada lahan berlereng dapat menurunkan produktivitas tanah dan pertumbuhan vegetasi. **Tabel 3** menunjukkan bahwa biomassa tanaman kopi juga bervariasi antartransek. Biomassa kopi tertinggi ditemukan pada transek 3 dengan rata-rata sebesar 15,71 ton ha<sup>-1</sup>, sedangkan biomassa terendah terdapat pada transek 1 sebesar 10,25 ton ha<sup>-1</sup>. Perbedaan ini diduga dipengaruhi oleh kepadatan tegakan, ukuran diameter batang, intensitas cahaya yang diterima tanaman, serta keberadaan pohon penaung dalam sistem agroforestri. Pohon kemiri berfungsi sebagai penaung yang membantu menciptakan kondisi mikroklimat yang lebih stabil bagi pertumbuhan kopi. Selain itu, diameter batang yang lebih besar berkontribusi terhadap peningkatan biomassa karena semakin banyak bahan organik yang tersimpan dalam jaringan tanaman. Sedjarawan dkk. (2014) menjelaskan bahwa kepadatan tegakan memengaruhi jumlah cahaya yang diterima vegetasi sehingga berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman. Bismark dkk. (2008) dan Tira dkk. (2021) juga menyatakan bahwa peningkatan biomassa berkaitan erat dengan ukuran pohon, terutama diameter batang dan tinggi tanaman.

Perbedaan biomassa yang sangat besar antara kemiri dan kopi juga dipengaruhi oleh karakteristik morfologi dan strategi pertumbuhan kedua spesies. Kemiri merupakan pohon berkayu berumur panjang yang memiliki diameter batang dan ukuran tajuk lebih besar dibandingkan kopi, sehingga mampu mengakumulasi biomassa dalam jumlah yang lebih tinggi. Sebaliknya, kopi merupakan tanaman strata bawah dengan ukuran batang relatif kecil dan pertumbuhan biomassa yang lebih terbatas. Dalam sistem agroforestri multistrata, sebagian besar biomassa umumnya tersimpan pada komponen pohon penabung berukuran besar, sedangkan tanaman bawah memberikan kontribusi yang lebih kecil terhadap total biomassa tegakan. Kondisi ini menjelaskan mengapa rata-rata biomassa kemiri mencapai 117,06 ton ha<sup>-1</sup>, sedangkan biomassa kopi hanya sebesar 12,35 ton ha<sup>-1</sup>. Temuan ini menunjukkan bahwa keberadaan pohon kemiri memiliki peran yang sangat penting dalam meningkatkan kapasitas penyimpanan biomassa pada sistem agroforestri di Desa Kaongkeongkea.

#### Cadangan Karbon di Atas Tanah

Cadangan karbon di atas permukaan tanah pada kemiri (*Aleurites moluccanus*) dan kopi (*Coffea canephora*) disajikan pada **Tabel 4**.

**Tabel 4.** Cadangan karbon kemiri (*Aleurites moluccanus*) dan kopi (*Coffea canephora*) berdasarkan transek dalam sistem agroforestri di Desa Kaongkeongkea, Kecamatan Pasarwajo, Kabupaten Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara

| Jenis tanaman           | Transek | Jumlah plot | Total cadangan karbon (kg) | Total cadangan karbon (ton) | Rata-rata cadangan karbon (ton C ha <sup>-1</sup> ) |
|-------------------------|---------|-------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------|
| Kemiri                  | 1       | 4           | 5.111,22                   | 5,11                        | 31,95                                               |
| Kemiri                  | 2       | 3           | 12.774,48                  | 12,77                       | 106,45                                              |
| Kemiri                  | 3       | 4           | 4.265,29                   | 4,27                        | 26,66                                               |
| <b>Total Kemiri</b>     |         | <b>11</b>   | <b>22.150,99</b>           | <b>22,15</b>                |                                                     |
| <b>Rata-rata Kemiri</b> |         |             | <b>2.200,76</b>            | <b>2,20</b>                 | <b>55,02</b>                                        |
| Kopi                    | 1       | 4           | 192,63                     | 0,19                        | 4,82                                                |
| Kopi                    | 2       | 3           | 156,48                     | 0,16                        | 5,22                                                |
| Kopi                    | 3       | 4           | 295,37                     | 0,30                        | 7,38                                                |
| <b>Total Kopi</b>       |         | <b>11</b>   | <b>644,48</b>              | <b>0,64</b>                 |                                                     |
| <b>Rata-rata Kopi</b>   |         |             | <b>58,05</b>               | <b>0,06</b>                 | <b>5,81</b>                                         |

Sumber: Data Primer, 2024.

Cadangan karbon diperoleh melalui konversi sebesar 47% dari biomassa total. Hasil penelitian Berdasarkan Tabel 4 menunjukkan bahwa kemiri memiliki rata-rata cadangan karbon sebesar 55,02 ton C ha<sup>-1</sup> berdasarkan rata-rata antartransek. Nilai tertinggi ditemukan pada transek 2 sebesar 106,45 ton C ha<sup>-1</sup>, sedangkan nilai terendah terdapat pada transek 3 sebesar 26,66 ton C ha<sup>-1</sup>. Perbedaan ini diduga berkaitan dengan variasi struktur tegakan, ukuran diameter batang, kerapatan vegetasi, dan umur pohon. Hairiah & Rahayu (2007) dan Lusiana dkk., (2005) menyatakan bahwa besarnya cadangan karbon dipengaruhi oleh struktur vegetasi, kepadatan tegakan, dan perkembangan pohon pada suatu lahan.

Cadangan karbon di atas permukaan tanah merupakan akumulasi karbon yang tersimpan pada biomassa vegetasi, termasuk pohon, tumbuhan bawah, serasah, dan komponen organik

lainnya. Semakin besar biomassa yang terbentuk, semakin besar pula cadangan karbon yang dapat disimpan. Mutuo *et al.* (2005) menjelaskan bahwa perbedaan cadangan karbon pada berbagai sistem penggunaan lahan dipengaruhi oleh komposisi vegetasi, struktur tegakan, kepadatan populasi pohon, dan umur tanaman. Oleh karena itu, keberadaan pohon kemiri yang berdiameter besar memberikan kontribusi penting terhadap peningkatan cadangan karbon dalam sistem agroforestri.

Tanaman kopi memiliki rata-rata cadangan karbon sebesar 5,81 ton C ha<sup>-1</sup> berdasarkan rata-rata antartransek. Nilai tertinggi ditemukan pada transek 3 sebesar 7,38 ton C ha<sup>-1</sup>, sedangkan nilai terendah terdapat pada transek 1 sebesar 4,82 ton C ha<sup>-1</sup>. Meskipun jumlah individu kopi lebih banyak dibandingkan kemiri, kemampuan penyimpanan karbonnya relatif lebih rendah karena ukuran batang dan biomassa per individu yang lebih kecil.

Perbedaan cadangan karbon antarlokasi dipengaruhi oleh diameter batang, kerapatan tegakan, kondisi lingkungan, serta pola pengelolaan lahan. Hairiah *dkk.*, (2011) menyatakan bahwa keragaman vegetasi dan sistem pengelolaan lahan berperan penting dalam menentukan besarnya cadangan karbon. Selain itu, Xia *et al.* (2023) menjelaskan bahwa faktor lingkungan seperti suhu udara dan curah hujan turut memengaruhi pembentukan biomassa dan akumulasi karbon pada tanaman. Dengan demikian, variasi cadangan karbon yang ditemukan pada penelitian ini mencerminkan perbedaan karakteristik vegetasi dan kondisi tapak pada masing-masing transek.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa rata-rata cadangan karbon pada tegakan kemiri mencapai 55,02 ton C ha<sup>-1</sup>, sedangkan pada kopi sebesar 5,81 ton C ha<sup>-1</sup>. Jika kedua komponen tersebut digabungkan, maka sistem agroforestri kemiri-kopi di Desa Kaongkeongkea memiliki potensi cadangan karbon sebesar 60,83 ton C ha<sup>-1</sup>. Nilai ini menunjukkan bahwa keberadaan pohon penayang berukuran besar, khususnya kemiri, memberikan kontribusi dominan terhadap penyimpanan karbon dalam sistem agroforestri. Perbedaan tersebut terutama disebabkan oleh ukuran diameter batang yang lebih besar, umur pohon yang lebih tua, serta akumulasi biomassa yang lebih tinggi pada kemiri dibandingkan kopi.

Bila dibandingkan dengan penelitian lain di Indonesia, nilai cadangan karbon yang diperoleh masih berada dalam kisaran yang umum ditemukan pada sistem agroforestri berbasis pohon. Lestari dan Dewi (2023) melaporkan bahwa agroforestri kopi robusta sederhana di Kabupaten Jember memiliki potensi simpanan karbon sebesar 166,55 ton ha<sup>-1</sup>, sedangkan agroforestri kopi robusta kompleks sebesar 58,86 ton ha<sup>-1</sup>. Nilai cadangan karbon total pada penelitian ini (60,83 ton C ha<sup>-1</sup>) relatif sebanding dengan agroforestri kopi kompleks yang dilaporkan oleh Lestari & Dewi (2023). Kesamaan tersebut menunjukkan bahwa komposisi tegakan dan keberadaan pohon penayang merupakan faktor utama yang menentukan kapasitas penyimpanan karbon suatu sistem agroforestri.

Selain itu, penelitian Suli *dkk.* (2018) pada sistem agroforestri di Kabupaten Minahasa Selatan menunjukkan bahwa biomassa pada agroforestri dataran tinggi mencapai rata-rata 27,40 Mg ha<sup>-1</sup>, jauh lebih tinggi dibandingkan agroforestri dataran rendah yang hanya sebesar 3,47 Mg ha<sup>-1</sup>.

Hasil tersebut menegaskan bahwa variasi struktur vegetasi, jumlah jenis tanaman, dan kondisi tapak berpengaruh nyata terhadap akumulasi biomassa dan cadangan karbon. Dalam penelitian ini, tingginya cadangan karbon pada transek tertentu juga mencerminkan pengaruh ukuran tegakan kemiri yang lebih besar serta kondisi lahan yang mendukung pertumbuhan vegetasi.

Dari perspektif kebijakan, besarnya cadangan karbon yang tersimpan pada sistem agroforestri kemiri-kopi menunjukkan bahwa pengelolaan lahan berbasis agroforestri berpotensi mendukung upaya mitigasi perubahan iklim. Sistem agroforestri dapat berfungsi sebagai penyerap karbon (*carbon sink*) yang berkontribusi terhadap pencapaian target *Nationally Determined Contribution* (NDC) Indonesia dalam sektor kehutanan dan penggunaan lahan. Selain itu, potensi cadangan karbon yang cukup tinggi membuka peluang pengembangan skema insentif lingkungan, seperti *Payment for Environmental Services* (PES), perdagangan karbon sukarela (*voluntary carbon market*), maupun program berbasis REDD+ yang mendorong konservasi dan peningkatan stok karbon melalui pengelolaan lahan yang berkelanjutan. Oleh karena itu, sistem agroforestri kemiri-kopi di Desa Kaongkeongkea tidak hanya memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat, tetapi juga memiliki nilai strategis dalam mendukung agenda pembangunan rendah karbon dan ketahanan iklim di tingkat lokal maupun nasional.

#### Penyerapan Karbon Dioksida oleh Kacang Kemiri dan Kopi

Perkiraan penyerapan karbon dioksida oleh kemiri (*Aleurites moluccanus*) dan kopi (*Coffea canephora*) dalam sistem agroforestri di Desa Kaongkeongkea disajikan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Penyerapan karbon dioksida oleh kemiri (*Aleurites moluccanus*) dan kopi (*Coffea canephora*) berdasarkan transek dalam sistem agroforestri di Desa Kaongkeongkea, Kecamatan Pasarwajo, Kabupaten Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara

| Jenis tanaman                        | Transek | Jumlah plot | Total penyerapan CO <sub>2</sub> (kg) | Total penyerapan CO <sub>2</sub> (ton) | Rata-rata penyerapan CO <sub>2</sub> (ton CO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> ) |
|--------------------------------------|---------|-------------|---------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Kemiri                               | 1       | 4           | 18.741,14                             | 18,74                                  | 117,13                                                                       |
| Kemiri                               | 2       | 3           | 46.839,77                             | 46,84                                  | 390,33                                                                       |
| Kemiri                               | 3       | 4           | 15.639,61                             | 15,64                                  | 97,75                                                                        |
| <b>Total Kemiri</b>                  |         | <b>11</b>   | <b>81.220,52</b>                      | <b>81,22</b>                           |                                                                              |
| <b>Rata-rata antartransek Kemiri</b> |         |             |                                       |                                        | <b>201,74</b>                                                                |
| Kopi                                 | 1       | 4           | 706,30                                | 0,71                                   | 17,66                                                                        |
| Kopi                                 | 2       | 3           | 573,75                                | 0,57                                   | 19,12                                                                        |
| Kopi                                 | 3       | 4           | 1.083,03                              | 1,08                                   | 27,08                                                                        |
| <b>Total Kopi</b>                    |         | <b>11</b>   | <b>2.363,08</b>                       | <b>2,36</b>                            |                                                                              |
| <b>Rata-rata antartransek Kopi</b>   |         |             |                                       |                                        | <b>21,29</b>                                                                 |

Sumber: Data Primer, 2024.

**Tabel 5** menunjukkan bahwa kapasitas penyerapan karbon dioksida oleh kemiri bervariasi antartransek. Nilai rata-rata tertinggi ditemukan pada Transek 2 sebesar 390,33 ton CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>, sedangkan nilai terendah terdapat pada Transek 3 sebesar 97,75 ton CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>. Variasi tersebut diduga berkaitan dengan perbedaan ukuran pohon, kerapatan tegakan, dan kondisi topografi yang memengaruhi pertumbuhan tanaman. Pohon dengan diameter batang yang lebih besar memiliki

biomassa dan cadangan karbon yang lebih tinggi sehingga mampu menyerap karbon dioksida dalam jumlah lebih besar. Amanda dkk. (2021) menyatakan bahwa peningkatan diameter pohon berbanding lurus dengan peningkatan biomassa, cadangan karbon, dan serapan CO<sub>2</sub>. Selain itu, proses fotosintesis memungkinkan pohon menyerap CO<sub>2</sub> dari atmosfer dan menyimpannya dalam bentuk biomassa pada batang, cabang, daun, dan akar (Kusumaningrum & Izdiyar, 2022; Yaumieva et al., 2024).

Berdasarkan Tabel 5, penyerapan karbon dioksida oleh kopi juga menunjukkan variasi antartransek. Nilai rata-rata tertinggi ditemukan pada Transek 3 sebesar 27,08 ton CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>, sedangkan nilai terendah terdapat pada Transek 1 sebesar 17,66 ton CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>. Perbedaan tersebut diduga dipengaruhi oleh ukuran diameter batang, kepadatan tanaman, dan kondisi lingkungan yang memengaruhi laju fotosintesis serta akumulasi biomassa. Selain itu, keberadaan pohon penayang berupa kemiri dapat menciptakan kondisi iklim mikro yang lebih stabil sehingga mendukung pertumbuhan kopi dan meningkatkan kemampuan serapan karbon.

**Tabel 6.** Estimasi total penyerapan karbon dioksida pada areal agroforestri seluas 43 ha di Desa Kaongkeongkea, Kecamatan Pasarwajo, Kabupaten Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara

| No           | Nama Spesies                           | Estimasi Penyerapan CO <sub>2</sub> (ton) |
|--------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|
| 1            | Kemiri ( <i>Aleurites moluccanus</i> ) | 8.674,67                                  |
| 2            | Kopi ( <i>Coffea canephora</i> )       | 915,30                                    |
| <b>Total</b> |                                        | <b>9.589,97</b>                           |

Keterangan: Nilai diperoleh dari rata-rata penyerapan CO<sub>2</sub> per hektare dikalikan dengan luas areal agroforestri penelitian (43 ha).

Sumber: Data Primer, 2024.

Tabel 6 menunjukkan bahwa estimasi total penyerapan karbon dioksida pada areal agroforestri seluas 43 ha mencapai 9.589,97 ton CO<sub>2</sub>. Kontribusi terbesar berasal dari kemiri sebesar 8.674,67 ton CO<sub>2</sub> atau sekitar 90,45% dari total penyerapan, sedangkan kopi menyumbang 915,30 ton CO<sub>2</sub> atau sekitar 9,55%. Tingginya kontribusi kemiri berkaitan dengan ukuran batang yang lebih besar, biomassa yang lebih tinggi, serta kemampuan menyimpan karbon dalam jumlah lebih besar dibandingkan tanaman kopi. Perlu ditegaskan bahwa nilai 9.589,97 ton CO<sub>2</sub> merupakan estimasi total ekuivalen CO<sub>2</sub> yang tersimpan pada seluruh areal agroforestri seluas 43 ha, bukan nilai per hektar. Berdasarkan luas areal tersebut, rata-rata ekuivalen CO<sub>2</sub> tersimpan mencapai 222,79 ton CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>. Nilai ini merepresentasikan stok karbon (carbon stock) pada saat pengukuran, sehingga berbeda dengan laju serapan karbon tahunan (ton CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> tahun<sup>-1</sup>) yang memerlukan data pertumbuhan biomassa dari pengukuran berulang dalam periode waktu tertentu.

## KESIMPULAN

Sistem agroforestri kemiri (*Aleurites moluccanus*)–kopi (*Coffea canephora*) di Desa Kaongkeongkea, Kecamatan Pasarwajo, Kabupaten Buton, memiliki potensi besar dalam mendukung produksi lahan sekaligus mitigasi perubahan iklim. Hasil inventarisasi menunjukkan bahwa kopi memiliki kerapatan lebih tinggi, yaitu 215,91 pohon ha<sup>-1</sup>, sedangkan kemiri 113,64 pohon ha<sup>-1</sup> dan berperan

sebagai pohon penabung dalam sistem agroforestri multistrata. Meskipun kerapatannya lebih rendah, kemiri menyumbang biomassa, cadangan karbon, dan serapan CO<sub>2</sub> ekuivalen paling besar, yaitu 117,06 ton ha<sup>-1</sup> biomassa, 55,02 ton C ha<sup>-1</sup> cadangan karbon, dan 201,74 ton CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> serapan CO<sub>2</sub>. Sementara itu, kopi menghasilkan 12,35 ton ha<sup>-1</sup> biomassa, 5,81 ton C ha<sup>-1</sup> cadangan karbon, dan 21,29 ton CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> serapan CO<sub>2</sub>. Pada areal agroforestri seluas 43 ha, total estimasi serapan CO<sub>2</sub> ekuivalen mencapai 9.589,97 ton CO<sub>2</sub>, dengan kontribusi terbesar berasal dari kemiri. Temuan ini menunjukkan bahwa kemiri berperan dominan dalam penyimpanan karbon, dengan kontribusi lebih dari 90% terhadap total stok karbon dalam sistem agroforestri. Oleh karena itu, pengembangan agroforestri kemiri-kopi berpotensi menjadi strategi pengelolaan lahan berkelanjutan yang mendukung kesejahteraan masyarakat, mitigasi perubahan iklim, pencapaian target NDC Indonesia, serta peluang skema insentif lingkungan seperti *Payment for Environmental Services* dan perdagangan karbon berbasis masyarakat. Namun, penelitian ini masih terbatas pada biomassa di atas permukaan tanah dan belum mencakup karbon bawah tanah, serasah, nekromassa, serta karbon organik tanah. Penelitian selanjutnya disarankan mencakup seluruh pool karbon, melakukan pengukuran berulang, dan memperluas lokasi kajian agar hasilnya lebih representatif bagi pengembangan agroforestri rendah karbon di Sulawesi Tenggara.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dekan Fakultas Kehutanan dan Ilmu Lingkungan atas dukungan, arahan, serta fasilitasi yang diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini. Dukungan institusional yang diberikan sangat membantu dalam kelancaran proses penelitian hingga penyusunan naskah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, F., Hammad, H. M., Fahad, S., Cerdà, A., Rizwan, M., Farhad, W., Ehsan, S., & Bakhat, H. (2017). Agroforestry: A sustainable environmental practice for carbon sequestration under climate change scenarios-A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(12), 11177-11191. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8687-0>
- Amanda, Y., Mulyadi, A., & Siregar, Y. I. (2021). Estimasi stok karbon tersimpan pada hutan mangrove di Muara Sungai Batang Apar Kecamatan Pariaman Utara Kota Pariaman Provinsi Sumatera Barat. *Ilmu Perairan (Aquatic Science)*, 9(1). <https://doi.org/10.31258/jipas.9.1.p>
- Ararsa, F., & Endalamaw, T. B. (2024). Carbon storage potential of coffee-based agroforestry systems in Nono Sale Forest, Southwestern Ethiopia. *Environmental Protection and Policy*, 12(2), 44-52. <https://doi.org/10.11648/j.jjepp.20241202.12>
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 7724:2011 pengukuran dan perhitungan cadangan karbon-Pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon hutan (ground-based forest carbon accounting). Badan Standardisasi Nasional.
- Banjarnahor, N., Hindarto, K. S., & Fahrurrozi. (2018). Hubungan antara kemiringan lereng, kandungan kelembaban tanah, pH tanah, dan kemunculan jeruk gerga di Kabupaten Lebong. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*, 20(1), 13-18. <https://doi.org/10.31186/jipi.20.1.13-18>

- Bismark, M., Heriyanto, N. M., & Iskandar, S. (2008). Kandungan biomassa dan karbon di hutan produksi pada Cagar Biosfer Pulau Siberut, Sumatera Barat. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 5(5), 397-407. <https://doi.org/10.20886/jphka.2008.5.5.397-407>
- Dossa, E. L., Fernandes, E. C. M., Reid, W. S., & Ezui, K. (2008). Above- and belowground biomass, nutrient and carbon stocks contrasting open-grown and shaded coffee plantations. *Agroforestry Systems*, 72(2), 103-115. <https://doi.org/10.1007/s10457-007-9075-4>
- Eshetu, S., Yeshiwas, E. M., & Feleke, T. G. (2025). A systematic review on the role of agroforestry practices in climate change mitigation and adaptation. *Climate Resilience and Sustainability*, 4(2). <https://doi.org/10.1002/cli2.70018>
- Gochar, P. S., & Gurjar, R. (2024). Role of agroforestry in land management and carbon sequestration. *Trends in Agriculture Science*, 3(11), 2272-2276.
- Hairiah, K., & Rahayu, S. (2007). Pengukuran karbon tersimpan di berbagai macam penggunaan lahan. World Agroforestry Centre (ICRAF).
- Hairiah, K., Ekadinata, A., Sari, R. R., & Rahayu, S. (2011). Pengukuran cadangan karbon: Dari tingkat lahan ke bentang lahan (Edisi ke-2). World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Regional Office.
- Hussain, D., Ikhlaiq, M., Hussain, G., & Hamza, R. M. (2024). Role of agroforestry trees in carbon sequestration and climate change mitigation: A review. *Global Forests*, 3(1), 38-45. <https://doi.org/10.54219/globalforests.03.01.2024.227>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge University Press.
- Johnson, R. (2025). Carbon sequestration potential of agroforestry systems in tropical environments. *Journal of Environment*, 5(2), 55-71. <https://doi.org/10.47941/je.2678>
- Kalra, C., Prasad, S., Kain, D., & Kumari, R. (2025). Enhancing soil health, soil carbon sequestration, and climate change mitigation through agroforestry. In *Advances in Environmental Engineering and Green Technologies Book Series* (pp. 22-31). <https://doi.org/10.1201/9781003669463-2>
- Kementerian Pariwisata Republik Indonesia. (2025). Desa Wisata Kaongkeongkea. Jejaring Desa Wisata. <https://jadesta.kemenpar.go.id/desa/kaongkeongkea>
- Ketterings, Q. M., Coe, R., van Noordwijk, M., Ambagau, Y., & Palm, C. A. (2001). Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management*, 146(1-3), 199-209. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00460-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00460-6)
- Krisnawati, H., Adinugroho, W. C., & Imanuddin, R. (2012). Model-model alometrik untuk pendugaan biomassa pohon pada berbagai tipe ekosistem hutan di Indonesia. Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi.
- Kusumaningrum, L., & Izdihar, R. S. (2022). Potential Carbon Storage In The Forest Area Of Mount Merbabu National Park (MMbNP) Resort Selo Central Java. *IOP Conference Series*, 1098(1), 012055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1098/1/012055>
- Lestari, K. W., & Dewi, N. (2023). Potensi penyimpanan karbon pada beberapa jenis sistem agroforestri berbasis kopi robusta di Desa Rowosari, Jember. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 14(2), 150-157. <https://doi.org/10.29244/j-siltrop.14.02.150-157>
- Lusiana, B., van Noordwijk, M., & Rahayu, S. (Eds.). (2005). *Cadangan karbon di Kabupaten Nunukan, Kalimantan Timur: Monitoring secara spasial dan pemodelan*. World Agroforestry Centre (ICRAF).
- Manuri, S., Putra, C. A. S., & Saputra, A. D. (2011). Teknik pendugaan cadangan karbon hutan. Merang REDD Pilot Project-GIZ.
- Mutuo, P. K., Cadisch, G., Albrecht, A., Palm, C. A., & Verchot, L. V. (2005). Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 71(1), 43-54. <https://doi.org/10.1007/s10705-004-5285-6>
- Nair, P. K. R., Kumar, B. M., & Nair, V. D. (2009). Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(1), 10-23. <https://doi.org/10.1002/jpln.200800030>
- Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia. (2009). Peraturan Menteri Kehutanan Nomor P.33/Menhut-II/2009 tentang Pedoman Inventarisasi Hutan Menyeluruh Berkala (IHMB).

- Rahayu, S., Lusiana, B., & van Noordwijk, M. (2014). Pendugaan cadangan karbon di atas permukaan tanah pada berbagai sistem penggunaan lahan di Kabupaten Nunukan, Kalimantan Timur. World Agroforestry Centre (ICRAF).
- Sedjarawan, W., Akhbar, & Arianingsih, I. (2014). Biomassa dan karbon pohon di atas permukaan tanah di tepi jalan Taman Nasional Lore Lindu. *Warta Rimba*, 2(2), 105-111.
- Suli, A., Husain, J., & Walangitan, H. (2018). Sistem agroforestri dataran tinggi dan dataran rendah Kabupaten Minahasa Selatan Provinsi Sulawesi Utara. *Eugenia*, 24(1), 1-9. <https://doi.org/10.35791/eug.24.1.2018.21651>
- Tira, A. D., Dwi, P. A., & Sudadi. (2021). Perkiraan tingkat biomassa dan simpanan karbon pada berbagai kemiringan dan jenis tutupan lahan di Hutan Pendidikan Gunung Bromo UNS. *Jurnal Agroteknologi*, 32(2), 112-119. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v32i2.32344>
- Xia, J., Chen, Y., Yuan, W., et al. (2023). The effects of multiple environmental factors on global carbon allocation. *Ecological Processes*, 12, Article 60. <https://doi.org/10.1186/s13717-023-00477-2>
- Yadav, D. K., Singh, A., Singh, A., & Shashidhar, K. S. (2025). Agroforestry: Integrating trees and crops for sustainability. *The Science World*, 5(9), 9071-9077.
- Yaumieva, E., Baysangurova, A., & Gumaev, I. (2024). The role of forests in the carbon cycle: Mechanisms of carbon absorption and storage. *Reliability: Theory & Applications*, 19(Special Issue 6(81), Part-3), 1216-1223.