

Reforestation Impact: Contrasting Carbon Stock and Biodiversity of Clove in Monoculture and Mixed Gardens Over 25 Years

Yovi Avianto^{1*}, Amir Noviyanto¹, Muhamad Fajar Sidiq¹, Hernowo², Ananta Bayu Pratama³

¹Institut Pertanian STIPER Yogyakarta, Jurusan Agroteknologi, Sleman, Indonesia;

²Institut Pertanian STIPER Yogyakarta, Jurusan Agribisnis, Sleman, Indonesia;

³Universitas Gadjah Mada, Departemen Agronomi, Sleman, Indonesia;

Article History

Received : June 08th, 2024

Revised : June 28th, 2024

Accepted : July 23th, 2024

*Corresponding Author:

Yovi Avianto, Institut Pertanian STIPER Yogyakarta, Sleman, Indonesia;

Email:

yovi@instiperjogja.ac.id

Abstract: Tropical forests, vital for absorbing CO₂ and maintaining ecosystem balance, are threatened by deforestation and unsustainable agricultural practices. Mixed garden or clove agroforestry systems, which combine clove cultivation with other crops, offer a sustainable alternative to traditional monoculture practices. This study aims to assess the biomass potential, carbon storage, and biodiversity in clove monoculture and mixed garden systems. The research was conducted in February 2024 at smallholder clove plantations and secondary forests in Pesaren, Sukorejo, Kendal, Central Java. The study involved primary data collection on clove monoculture and mixed garden systems using standardized plot sampling techniques. Biomass, carbon storage and carbon sequestration was calculated through field measurements utilizing allometric equations, while biodiversity was assessed using the Shannon-Wiener index based on species richness and evenness within the sampled plots. The mixed garden system closely approximates secondary forests in terms of biomass, carbon storage, CO₂ sequestration, biodiversity, and species evenness, with respective values of 100.36 tons/ha, 47.17 tons/ha, 173.11 tons/ha, 2.837, and 0.91. In contrast, the clove monoculture system recorded the lowest values across all parameters: 67.03 tons/ha for biomass, 31.50 tons/ha for carbon storage, and 115.61 tons/ha for CO₂ sequestration, with a dominance of one species and a Shannon-Wiener index and evenness value of 0. These results highlight the superior ecological benefits of mixed garden systems over monoculture clove plantations.

Keywords: Biodiversity, carbon stock, clove, ecosystem services, sustainability.

Pendahuluan

Resiliensi ekosistem adalah kemampuan ekosistem untuk pulih dari gangguan dan beradaptasi dengan perubahan lingkungan. Ekosistem hutan yang memiliki keanekaragaman hayati tinggi umumnya lebih resilien terhadap perubahan iklim karena memiliki lebih banyak spesies yang dapat beradaptasi dengan kondisi baru (Weiskopf et al., 2020). Upaya reforestasi dan pengelolaan hutan yang berkelanjutan menjadi kunci untuk memitigasi perubahan iklim dan melestarikan keanekaragaman hayati. Cengkik (*Syzygium aromaticum* L.), merupakan salah satu tanaman hutan tropis yang memiliki nilai ekonomi

tinggi dan potensi besar untuk reforestasi (Hariyadi et al., 2019). Tanaman ini tidak hanya menghasilkan bunga kering yang berharga sebagai bahan baku rempah-rempah, tetapi juga berperan penting dalam menjaga kelestarian hutan dan keanekaragaman hayati.

Cengkik telah lama dibudidayakan di berbagai negara tropis, terutama di Asia Tenggara dengan produksi utama berupa bunga cengkik kering dan produksi sampingan adalah minyak atsiri dari daun, batang, dan ranting (Alfikri et al., 2020). Di Indonesia, cengkik merupakan salah satu komoditas perkebunan penting yang berkontribusi pada perekonomian nasional. Namun, praktik budidaya cengkik tradisional sering kali dilakukan dengan sistem

monokultur (Setiawan et al., 2021).

Sistem pertanaman monokultur cengkih disinyalir dapat menyebabkan degradasi lahan, berkurangnya keanekaragaman hayati, dan emisi CO₂ yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem agroforestri berbasis cengkih (Arimalala et al., 2019). Sistem kebun campuran, di sisi lain, menawarkan alternatif yang lebih berkelanjutan untuk budidaya cengkih. Sistem ini melibatkan penanaman cengkih bersama dengan tanaman lain, seperti kopi, kakao, atau kayu-kayuan (Mariel et al., 2021). Keuntungan dari sistem kebun campuran antara lain dilihat dari sisi ekonomis dan ekologis.

Segi ekonomi, kebun campuran berpotensi menawarkan diversifikasi sumber pendapatan bagi petani karena tidak hanya satu jenis tanaman saja yang bisa dipanen. Ditambah lagi, karena jenis tanaman yang ditanam cukup banyak, sehingga risiko kegagalan panen dan fluktuasi harga pasar dapat diatasi (Iskandar et al., 2016). Selain itu, dengan meningkatkan kesehatan tanah dan mengurangi penggunaan bahan kimia, kebun campuran dapat menurunkan biaya produksi jangka panjang dan meningkatkan ketahanan pangan lokal.

Secara ekologis, kebun campuran memiliki kemampuan meningkatkan keanekaragaman hayati dengan menyediakan habitat bagi berbagai spesies tanaman dan hewan. Dengan demikian, akan tercipta ekosistem yang lebih seimbang dan tahan terhadap gangguan lingkungan (Norgrove & Beck, 2016). Sistem kebun campuran juga meningkatkan kesuburan tanah disebabkan adanya interaksi antara berbagai jenis tanaman yang berbeda. Seresah yang gugur ke tanah dari berbagai macam tanaman dapat memperkaya kandungan nutrisi tanah (Steinfeld et al., 2023). Dalam jangka waktu yang panjang, tanaman akan tercukupi nutrisinya dari bahan organik saja sehingga pemberian input pupuk kimiawi akan menjadi minim. Kebun campuran juga berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim global karena memiliki kemampuan penyerapan CO₂ yang tinggi.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Betemariyam et al. (2020) menunjukkan bahwa kemampuan penyerapan karbon kebun campuran berbasis kopi lebih tinggi dibandingkan monokultur. Total stok karbon biomassa (di atas dan bawah tanah) di kebun campuran kopi adalah $63,1 \pm 31,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$, sedangkan di monokultur

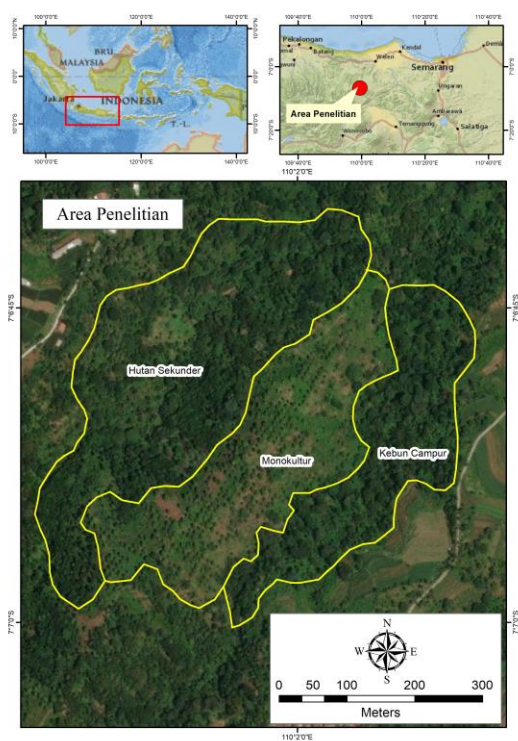
kopi hanya $27,4 \pm 16,9 \text{ Mg C ha}^{-1}$. Selain itu, total stok karbon (termasuk biomassa dan tanah hingga kedalaman 60 cm) juga lebih tinggi di kebun campuran ($194,96 \pm 34,65 \text{ Mg C ha}^{-1}$) dibandingkan dengan monokultur ($157,77 \pm 29,20 \text{ Mg C ha}^{-1}$). Penelitian lain oleh Santhyami et al. (2018), perbandingan karbon stok di kebun campuran (agroforestri berbasis kakao) dengan monokultur kakao menunjukkan bahwa kebun campuran memiliki stok karbon yang jauh lebih tinggi ($103,42 \text{ Mg C ha}^{-1}$). Beberapa penelitian lain di tanaman seperti teh (Sasaki et al., 2021); karet (Muhdi et al., 2020); dan kebun campuran umum (Siarudin et al., 2021) juga menunjukkan pola serapan karbon yang lebih tinggi dibandingkan monokulturnya.

Penelitian yang dilakukan untuk mengukur tingkat potensi biomassa, simpanan karbon, dan serapan CO₂ maupun keanekaragaman hayati pada sistem pertanaman cengkih monokultur dan agroforestri masih sangat minim. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai serapan karbon di sistem pertanaman cengkih serta indeks keanekaragaman hayatinya. Dengan mengetahui informasi nilai-nilai tersebut, hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan untuk pembuatan kebijakan pengembangan pertanaman cengkih yang berkelanjutan.

Bahan dan Metode

Waktu dan lokasi penelitian

Penelitian dilakukan pada Februari 2024 di perkebunan cengkih rakyat dan hutan sekunder daerah Pesaren, Sukorejo, Kendal, Jawa Tengah (-7.115075725946041, 110.03192650033319). Sejarah dari lahan yang digunakan adalah tanaman cengkih dan hutan sekunder ditanam pada tahun 1999 setelah dilakukan reforestasi. Beberapa petani menerapkan sistem pertanaman monokultur cengkih, dan sebagian di antaranya menanam dengan sistem kebun campuran. Lahan cengkih bersebelahan dengan hutan sekunder dan kebun campuran sesuai Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Penghitungan biomassa monokultur cengkih

Pengambilan data primer dilakukan dengan mengamati dua variabel utama yaitu diameter pohon setinggi dada (DBH) dan tinggi tanaman pohon cengkih. Pengamatan diawali dengan pembuatan plot sampel berukuran 20 m × 20 m sebanyak 5 plot. Plot ini digunakan untuk mengumpulkan data pohon dengan DBH > 20 cm. Plot sampel ini kemudian dibagi menjadi subplot berukuran 10 m × 10 m untuk pengamatan pohon cengkih dengan DBH 10 cm – 20 cm. Di dalam sub plot ini dibagi kembali menjadi anak plot dengan ukuran 5 m × 5 m untuk pengamatan pohon cengkih dengan DBH 5 – 9 cm. Terakhir anak plot dibuat dengan ukuran 2 m × 2 m untuk pengamatan jenis semai dengan ukuran DBH < 5 cm. Persamaan alometrik yang digunakan untuk menghitung biomassa tanaman cengkih pada persamaan 1 (Ketterings et al., 2001).

$$B = 0,11 \cdot \rho \cdot D^{2,62} \quad (1)$$

Dimana:

- B = Biomassa (kg pohon⁻¹)
- ρ = Densitas Batang Cengkih (0,6 g cm⁻³)
- D = Diameter Setinggi Dada (cm)

Selanjutnya, biomassa per ha dihitung dengan mengalikan biomassa per pohon dengan jumlah populasi cengkih per ha.

Penghitungan Biomassa Kebun Campur dan Hutan Sekunder

Data inventarisasi lapangan dikumpulkan dari petak sampel yang tersebar di lima plot penelitian secara acak. Diameter pohon pada tinggi dada (DBH) dan tinggi pohon diukur dalam petak bersarang. Pohon dengan >20 cm DBH diukur dalam petak 20 x 20 m, pohon lebih besar dari 10 cm dan kurang dari atau sama dengan 20 cm DBH diukur dalam petak 10 x 10 m dan pohon lebih besar dari 5 cm dan kurang dari atau sama dengan 10 cm DBH diukur dalam 5 x 5 m plot. Data yang diambil kemudian dianalisis biomasanya menggunakan kalkulator berbasis excel yang dikembangkan oleh Michigan State University dalam project USAID (2018). Model alometrik yang digunakan untuk kebun campuran dan hutan sekunder pada persamaan 2.

$$B = 0,75 \cdot \rho \cdot D^{2,23} \quad (2)$$

Dimana:

- B = Biomassa (kg pohon⁻¹)
- ρ = Densitas Batang (g cm⁻³)
- D = Diameter Setinggi Dada (cm)

Penghitungan Simpanan Karbon dan Serapan CO₂

Hasil penghitungan biomassa kemudian digunakan untuk menghitung simpanan karbon dan serapan CO₂ dari atmosfer dengan rumus (Badan Standarisasi Nasional, 2011) pada persamaan 3.

$$Cb = B \times \%C \quad (3)$$

Dimana:

- Cb = Kandungan Karbon Biomassa (kg)
- B = Biomassa Total (kg)
- %C = Faktor pengali C (0,47)

$$S_{CO_2} = C \times FK_{CO_2} \quad (4)$$

Dimana:

- S_{CO₂} = Serapan CO₂ (kg)
- C = Kandungan Karbon (kg)
- FK_{CO₂} = Faktor Konversi C ke CO₂ (3,67)

Penghitungan Indeks Biodiversitas

Kekayaan spesies dihitung dengan cara menghitung jumlah total spesies pohon yang terdapat dalam plot. Langkah yang dilakukan adalah dengan mengidentifikasi setiap spesies yang ditemukan dalam sampel, kemudian jumlah total spesies tersebut dicatat. Kemudian jumlah spesies akan digunakan untuk penghitungan proporsi (frekuensi relatifnya) dan dihitung indeks Shannon-Wiener dengan rumus pada persamaan 5.

$$H' = \sum_{i=1}^S Pi \ln(Pi) \quad (5)$$

Dimana:

H' = Indeks Shannon-Wiener

S = Jumlah Total Spesies

Pi = Proporsi untuk setiap Spesies

Data indeks Shannon-Wiener dapat digunakan untuk menghitung pemerataan spesies pada persamaan 6.

$$J' = H' / \ln(S) \quad (6)$$

Dimana:

J' = Indeks Kemerataan

S = Jumlah Total Spesies

H' = Indeks Shannon-Wiener

Hasil dan Pembahasan

Biomassa, simpanan karbon dan serapan CO₂ pada berbagai jenis lahan

Tabel 1 membandingkan tiga jenis penggunaan lahan, yaitu monokultur cengkih, kebun campur, dan hutan sekunder, berdasarkan tiga parameter utama: Biomassa per hektar, simpanan karbon per hektar, dan penyerapan CO₂ per hektar. Biomassa per hektar pada hutan sekunder memiliki nilai tertinggi, yaitu 116,38 ± 7,97 ton, diikuti oleh kebun campur dengan 100,36 ± 15,13 ton, dan monokultur cengkih dengan 67,03 ± 7,67 ton. Simpanan karbon per hektar pada hutan sekunder juga dicatat sebagai yang tertinggi, dengan nilai 54,70 ± 3,45 ton, sedangkan kebun campur mencatat 47,17 ± 4,78 ton, dan monokultur cengkih memiliki nilai terendah sebesar 31,50 ± 3,61 ton. Penyerapan CO₂ per hektar pada hutan sekunder dilaporkan mencapai 200,48 ± 15,46 ton, yang merupakan

nilai tertinggi dibandingkan dengan kebun campur dan monokultur cengkih yang masing-masing mencatat 173,11 ± 12,43 ton dan 115,61 ± 13,23 ton. Data ini menunjukkan bahwa hutan sekunder masih memiliki kapasitas yang lebih besar dalam hal biomassa, simpanan karbon, dan penyerapan CO₂ dibandingkan dengan sistem pertanian monokultur atau kebun campur.

Tabel 1. Biomassa, simpanan karbon, dan serapan CO₂ pada berbagai sistem pertanaman

Parameter	Monokultur Cengkih	Kebun Campur	Hutan Sekunder
Biomassa per ha (ton)	67,03 ± 7,67	100,36 ± 15,13	116,38 ± 7,97
Simpanan Karbon per ha (ton)	31,50 ± 3,61	47,17 ± 4,78	54,70 ± 3,45
Serapan CO ₂ per ha (ton)	115,61 ± 13,23	173,11 ± 12,43	200,48 ± 15,46

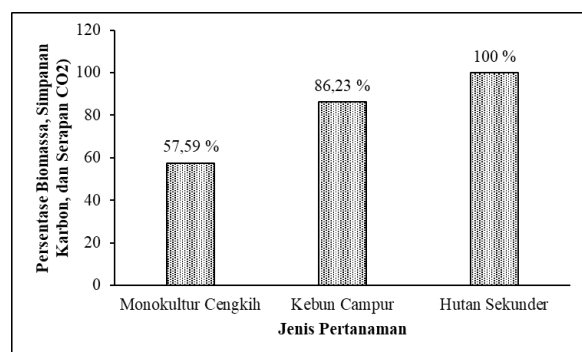
Keterangan: Data yang ditampilkan berupa rata-rata yang diikuti oleh ± standar deviasi

Hutan sekunder memiliki kandungan biomassa, simpanan karbon, dan serapan CO₂ yang lebih tinggi dibandingkan kebun campur berbasis cengkeh maupun sistem monokultur karena beberapa faktor. Dari segi tutupan lahan, hutan sekunder memiliki tutupan yang lebih padat dan beragam jenis tanaman kayu yang tumbuh dengan kerapatan tinggi, sehingga memiliki biomassa atas tanah yang tinggi (Dayamba *et al.*, 2016; Pellikka *et al.*, 2018). Wang *et al.* (2020) melaporkan bahwa kesuburan tanah di hutan sekunder cenderung lebih baik karena siklus nutrisi yang lebih alami dan berkelanjutan, yang diperkuat oleh serasah daun dan materi organik yang terus-menerus memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan kandungan organik. Hal ini menciptakan kondisi ideal bagi pertumbuhan tanaman kayu.

Tanaman kayu di hutan memiliki kemampuan menyerap CO₂ yang lebih efisien dibanding tanaman non-kayu. Hal ini didasari pada kemampuan fotosintesis tanaman kayu yang lebih tinggi (Pompa-Garcia & Sigala Rodríguez, 2017). Sebaliknya, kebun campur berbasis cengkeh dan sistem monokultur biasanya memiliki keanekaragaman hayati yang

lebih rendah dan sering kali menghadapi masalah degradasi tanah akibat praktik pertanian intensif, yang mengurangi kemampuan tanaman dalam menyimpan karbon dan menyerap CO₂ secara efektif.

Berdasarkan Gambar 2, persentase parameter monokultur cengkih dan kebun campuran dibandingkan dengan hutan sekunder telah dianalisis untuk melihat sejauh mana kedua sistem tersebut mendekati nilai yang ada pada hutan sekunder. Biomassa, simpanan karbon, dan serapan CO₂ per hektar pada monokultur cengkih tercatat sebesar 57,59% dari biomassa yang terdapat pada hutan sekunder, sedangkan pada kebun campuran mencapai 86,23% dari biomassa hutan sekunder. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa kebun campuran mendekati kemampuan hutan sekunder dalam hal biomassa, simpanan karbon, dan penyerapan CO₂ (Young, 2017), serta menunjukkan potensi sebagai alternatif yang lebih berkelanjutan dibandingkan dengan monokultur cengkih.



Gambar 2. Persentase Biomassa, Simpanan Karbon dan Serapan CO₂ pada Berbagai Sistem Pertanian

Biodiversitas pada berbagai sistem pertanian

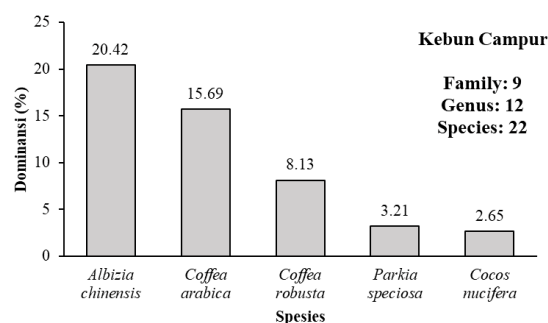
Tabel 2 menunjukkan perbandingan kelimpahan spesies, Indeks Shannon-Wiener, dan kemerataan spesies antara monokultur cengkih, kebun campuran, dan hutan sekunder. Monokultur cengkih hanya memiliki satu spesies, sehingga tidak ada data kelimpahan, indeks Shannon-Wiener, atau kemerataan spesies. Kebun campuran memiliki 22 spesies, 12 genus, dan 9 famili dengan Indeks Shannon-Wiener 2,837 dan kemerataan spesies 0,91, yang menunjukkan keanekaragaman spesies yang cukup tinggi dengan distribusi individu yang relatif merata. Hutan sekunder memiliki 45 spesies, 31 genus, dan 24 famili dengan Indeks

Shannon-Wiener 3,598 dan kemerataan spesies 0,94, menunjukkan tingkat keanekaragaman hayati yang sangat tinggi dan distribusi spesies yang lebih merata dibandingkan kebun campuran.

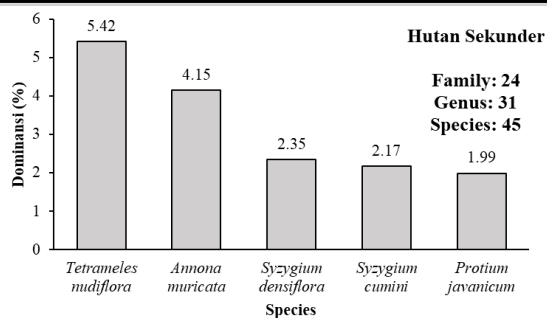
Tabel 2. Indeks biodiversitas pada berbagai sistem pertanian

Parameter	Monokultur Cengkih	Kebun Campur	Hutan Sekunder
Kelimpahan Spesies	-	22	45
Indeks Shannon-Wiener	-	2,837	3,598
Kemerataan Spesies	-	0,91	0,94

Gambar 3 mengenai dominansi spesies di kebun campuran menunjukkan bahwa *Albizia chinensis*/sengon (20,42%) dan *Coffea arabica*/kopi arabika (15,69%) adalah spesies yang paling dominan, diikuti oleh *Coffea robusta*/kopi robusta (8,13%), *Parkia speciosa*/petai (3,21%), dan *Cocos nucifera*/kelapa (2,65%). Spesies yang dominan pada kebun campuran dipilih yang memiliki nilai ekonomis oleh petani dan tidak mengganggu tanaman cengkih sebagai tanaman utama. Sebaliknya, di hutan sekunder, *Tetrameles nudiflora*/kayu winong (5,42%) dan *Annona muricata*/sirsak (4,15%) adalah spesies dominan, diikuti oleh *Syzygium densiflora*/jambu hutan (2,35%), *Syzygium cumini*/duwet (2,17%), dan *Protium javanicum*/trenggulun (1,99%), tetapi dengan dominansi yang relatif rendah, menunjukkan bahwa tidak ada spesies yang terlalu mendominasi ekosistem (Gambar 4).



Gambar 3. Dominansi Spesies di Kebun Campur



Gambar 4. Dominansi Spesies di Hutan Sekunder

Keanekaragaman yang tinggi dan distribusi spesies yang merata di hutan sekunder menunjukkan bahwa ekosistem ini lebih stabil dan resilien terhadap gangguan eksternal. Sisi lain, meskipun kebun campur memiliki keanekaragaman yang cukup tinggi, dominansi spesies tertentu menandakan perlunya pengelolaan yang lebih baik untuk menjaga stabilitas ekosistem (Demie et al., 2023). Dari segi biodiversitas, kebun campur merupakan alternatif yang lebih baik dibandingkan monokultur cengkih. Menurut Burgess et al. (2022), keanekaragaman hayati yang lebih tinggi di kebun campur meningkatkan resiliensi ekosistem terhadap gangguan eksternal seperti OPT dan perubahan iklim. Kebun campur juga memiliki stabilitas ekosistem yang lebih baik, karena distribusi spesies yang lebih merata membantu menjaga ekosistem meskipun ada spesies yang hilang.

Kebun campur tidak hanya memiliki manfaat ekologis tetapi juga dapat memberikan manfaat dari sisi ekonomi. Dengan berbagai tanaman yang bisa dimanfaatkan untuk produk yang berbeda seperti kayu, tanaman pakan, maupun tanaman industri seperti kopi, petani dapat meningkatkan pendapatan dan ketahanan pangan (Lehmann et al., 2020; Staton et al., 2022). Secara keseluruhan, kebun campur lebih unggul dalam hal keanekaragaman hayati, stabilitas ekosistem, dan resiliensi dibandingkan dengan monokultur cengkih.

Kesimpulan

Kebun campur mendekati hutan sekunder dalam hal biomassa, simpanan karbon, penyerapan CO₂, keanekaragaman hayati dan pemerataan spesies. Nilai variabel ini berturut-turut adalah 100,36 ton/ha; 47,17 ton/ha; 173,11

ton/ha; 2,837; dan 0,91. Sementara, monokultur cengkih memiliki nilai terendah dalam semua parameter secara berturut-turut yaitu 67,03 ton/ha; 31,50 ton/ha; dan 115,61 ton/ha dengan dominansi 1 spesies, nilai indeks shannon-wiener maupun pemerataan 0. Kebun campur merupakan alternatif yang lebih berkelanjutan dibandingkan monokultur cengkih. Dengan pengelolaan yang baik, kebun campur dapat meningkatkan stabilitas ekosistem dan manfaat ekonomi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak pemerintah Desa Pesaren yang telah memberikan ijin untuk melakukan kegiatan pengamatan sehingga penelitian dapat berjalan dengan lancar.

Referensi

- Alfikri, F. N., Pujiarti, R., Wibisono, M. G., & Hardiyanto, E. B. (2020). Yield, Quality, and Antioxidant Activity of Clove (*Syzygium aromaticum* L.) Bud Oil at the Different Phenological Stages in Young and Mature Trees. *Scientifica*, 2020, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2020/9701701>
- Arimalala, N., Penot, E., Michels, T., Rakotoarimanana, V., Michel, I., Ravaomanalina, H., Roger, E., Jahiel, M., Leong Pock Tsy, J.-M., & Danthu, P. (2019). Clove based cropping systems on the east coast of Madagascar: How history leaves its mark on the landscape. *Agroforestry Systems*, 93(4), 1577–1592. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0268-9>
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). *Pengukuran dan penghitungan cadangan karbon—pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon hutan (ground based forest carbon accounting) SNI 7724:2011*. Badan Standarisasi Nasional.
- Betemariyam, M., Negash, M., & Worku, A. (2020). Comparative Analysis of Carbon Stocks in Home Garden and Adjacent Coffee Based Agroforestry Systems in Ethiopia. *Small-Scale Forestry*, 19(3),

- 319–334. <https://doi.org/10.1007/s11842-020-09439-4>
- Burgess, A. J., Correa Cano, M. E., & Parkes, B. (2022). The deployment of intercropping and agroforestry as adaptation to climate change. *Crop and Environment*, 1(2), 145–160.
<https://doi.org/10.1016/j.crope.2022.05.001>
- Dayamba, S. D., Djoudi, H., Zida, M., Sawadogo, L., & Verchot, L. (2016). Biodiversity and carbon stocks in different land use types in the Sudanian Zone of Burkina Faso, West Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 216, 61–72.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.023>
- Demie, G., Negash, M., Asrat, Z., & Bohdan, L. (2023). Perennial plant species composition and diversity in relation to socioecological variables and agroforestry practices in central Ethiopia. *Agroforestry Systems*. <https://doi.org/10.1007/s10457-023-00924-1>
- Hariyadi, Mahulette, A. S., Yahya, S., & Wachjar, A. (2019). Measuring the potential of biomass, carbon storage, and carbon sink of forest cloves. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 399(1), 012063.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/399/1/012063>
- Iskandar, J., Iskandar, B. S., & Partasasmita, R. (2016). Responses to environmental and socio-economic changes in the Karangwangi traditional agroforestry system, South Cianjur, West Java. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 17(1).
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d170145>
- 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)
- Lehmann, L. M., Smith, J., Westaway, S., Pisanelli, A., Russo, G., Borek, R., Sandor, M., Gliga, A., Smith, L., & Ghaley, B. B. (2020). Productivity and Economic Evaluation of Agroforestry Systems for Sustainable Production of Food and Non-Food Products. *Sustainability*, 12(13), 5429. <https://doi.org/10.3390/su12135429>
- Mariel, J., Carrière, S. M., Penot, E., Danthu, P., Rafidison, V., & Labeyrie, V. (2021). Exploring farmers' agrobiodiversity management practices and knowledge in clove agroforests of Madagascar. *People and Nature*, 3(4), 914–928.
<https://doi.org/10.1002/pan3.10238>
- Muhdi, M., Hanafiah, D. S., & Butar-Butar, R. D. (2020). Diversity, biomass, and carbon stock of understory plants in the rubber agroforestry and rubber monoculture systems in Central Tapanuli District, North Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 21(8).
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d210812>
- Norgrove, L., & Beck, J. (2016). Biodiversity Function and Resilience in Tropical Agroforestry Systems Including Shifting Cultivation. *Current Forestry Reports*, 2(1), 62–80.
<https://doi.org/10.1007/s40725-016-0032-1>
- Pelikka, P. K. E., Heikinheimo, V., Hietanen, J., Schäfer, E., Siljander, M., & Heiskanen, J. (2018). Impact of land cover change on aboveground carbon stocks in Afremontane landscape in Kenya. *Applied Geography*, 94, 178–189.
<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.03.017>
- Pompa-Garcia, M., & Sigala Rodríguez, J. Á. (2017). Variation of carbon uptake from forest species in Mexico: A review. *Madera y Bosques*, 23(2), 225–235.
<https://doi.org/10.21829/myb.2017.2321512>
- Santhyami, S., Basukriadi, A., Patria, M. P., & Abdulhadi, R. (2018). The comparison of aboveground C-stock between cacao-based agroforestry system and cacao monoculture practice in West Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 19(2), 472–479.
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d190214>
- Sasaki, A., Kanzaki, M., Mochizuki, K., Choocharoen, C., & Preechapanaya, P. (2021). Aboveground biomass and carbon

- sequestration potential of tea and shade trees in *Miang* tea gardens, an agroforestry system in Northern Thailand. *Tropics*, 29(4), 105–119. <https://doi.org/10.3759/tropics.MS20-01>
- Setiawan A., Ito S., Mitsuda Y., Yamagishi K., Hirata R., & Umar Y. P. (2021). Plant species occurrence and spatial heterogeneity in the understory of a mixed-culture stand for clove (*Syzygium aromaticum* L.) production in East Java, Indonesia. *Vegetation Science*, 38, 37–47. <https://doi.org/10.15031/vegsci.38.37>
- Siarudin, M., Rahman, S. A., Artati, Y., Indrajaya, Y., Narulita, S., Ardha, M. J., & Larjavaara, M. (2021). Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems in Degraded Landscapes in West Java, Indonesia. *Forests*, 12(6), 714. <https://doi.org/10.3390/f12060714>
- Staton, T., Breeze, T. D., Walters, R. J., Smith, J., & Girling, R. D. (2022). Productivity, biodiversity trade-offs, and farm income in an agroforestry versus an arable system. *Ecological Economics*, 191, 107214. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107214>
- Steinfeld, J. P., J.J.A. Bianchi, F., Luiz Locatelli, J., Rizzo, R., Eduarda Bispo De Resende, M., Ramos Ballester, M. V., Cerri, C. E. P., Bernardi, A. C. C., & Creamer, R. E. (2023). Increasing complexity of agroforestry systems benefits nutrient cycling and mineral-associated organic carbon storage, in south-eastern Brazil. *Geoderma*, 440, 116726. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116726>
- Wang, J., Zou, Y., Di Gioia, D., Singh, B. K., & Li, Q. (2020). Conversion to agroforestry and monoculture plantation is detrimental to the soil carbon and nitrogen cycles and microbial communities of a rainforest. *Soil Biology and Biochemistry*, 147, 107849. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107849>
- Weiskopf, S. R., Rubenstein, M. A., Crozier, L. G., Gaichas, S., Griffis, R., Halofsky, J. E., Hyde, K. J. W., Morelli, T. L., Morissette, J. T., Muñoz, R. C., Pershing, A. J., Peterson, D. L., Poudel, R., Staudinger, M. D., Sutton-Grier, A. E., Thompson, L., Vose, J., Weltzin, J. F., & Whyte, K. P. (2020). Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States. *Science of The Total Environment*, 733, 137782. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137782>
- Young, K. J. (2017). Mimicking Nature: A Review of Successional Agroforestry Systems as an Analogue to Natural Regeneration of Secondary Forest Stands. In F. Montagnini (Ed.), *Integrating Landscapes: Agroforestry for Biodiversity Conservation and Food Sovereignty* (Vol. 12, pp. 179–209). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-69371-28>