

KEANEKARAGAMAN VEGETASI DAN CADANGAN KARBON PADA SISTEM AGROFORESTRI KEBUN BANGELAN, JAWA TIMUR

Vegetation Diversity and Carbon Stock in Agroforestry Systems Bangelan Estate, East Java

Pandu Swassono Jati Mulya¹, Nurheni Wijayanto¹, dan Adisti Permatasari Putri Hartoyo¹

(Diterima 24 Juni 2025 /Disetujui 19 Agustus 2025)

ABSTRACT

*PTPN I Regional 5 Bangelan Plantation is located in Bangelan Village, Wonosari District, Malang Regency, East Java. The total concession area of the Bangelan Plantation spans 883.20 hectares and consists of two divisions: Afdeling Besaran and Afdeling Kampung Baru. Due to climate change, the Bangelan Plantation is facing a decline in coffee production. The causes of this decline include disruptions to the flowering system from unpredictable climate patterns, pest attacks on coffee plants, and the proliferation of weeds that compete with the main coffee plants for nutrients. The objectives of this research were to analyze vegetation diversity within the coffee agroforestry systems and estimate carbon stocks across different agroforestry patterns. The method used in this study was stratified random sampling, based on representative agroforestry stands. A total of 27 plots, each measuring 20 m x 20 m, were established. These plots were distributed across three plots per planting year, covering a total area of 1.08 hectares. The dominant combination in the agroforestry system implemented by Kebun Bangelan is a mix of sengon, jabon, lamtoro, and robusta coffee plants. One of the purposes of this planting pattern, referred to by the Bangelan management as the "star sprinkle" method, is to regulate the intensity of incoming sunlight. The dominant species across all growth stages (seedlings, saplings, poles, and trees) are *Leucaena leucocephala* and *Coffea robusta*. The study found an average carbon stock of 21.86 tons per hectare and a total carbon stock of 196.74 tons per hectare across the sampled area. The highest total carbon stock, 29.24 tons per hectare, was found in the 1935 planting year block. Agroforestry patterns with managed vegetation diversity can address the challenges of climate change through carbon stock while simultaneously increasing the economic value and quality of robusta coffee.*

Keywords: agroforestry, rehabilitation, species composition

ABSTRAK

Perkebunan Bangelan PTPN I Regional 5 terletak di Desa Bangelan, tepatnya di Kecamatan Wonosari, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Total luas areal konsesi Perkebunan Bangelan adalah 883,20 hektare, yang terdiri dari dua divisi perkebunan: Afdeling Besaran dan Afdeling Kampung Baru. Akibat perubahan iklim, Perkebunan Bangelan mengalami penurunan produksi kopi. Penyebab penurunan ini antara lain terganggunya sistem pembungaan akibat perubahan iklim yang tidak menentu, serangan hama yang menyerang tanaman kopi, serta serangan gulma yang menyerap hara sehingga terjadi persaingan dengan tanaman kopi utama. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis keanekaragaman vegetasi dalam sistem agroforestri kopi dan mengestimasi cadangan karbon pada berbagai pola agroforestri. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *stratified random sampling*, berdasarkan tegakan agroforestri yang representatif. Sebanyak 27 plot dibuat dengan ukuran masing-masing 20 m x 20 m. Plot-plot tersebut tersebar pada tiga plot per tahun tanam, dengan luas total 1,08 ha. Kombinasi dominan pada sistem agroforestri yang diterapkan Kebun Bangelan dalam penelitian ini adalah campuran tanaman sengon, jabon, lamtoro, dan kopi robusta. Salah satu tujuan pola tanam ini adalah untuk mengatur intensitas cahaya matahari yang masuk, yang oleh pengelola Bangelan sebut sebagai metode "tabur bintang". Jenis tanaman yang dominan untuk semua kelas semai, tiang, pancang, dan pohon adalah *Leucaena leucocephala* dan *Coffea robusta*. Rata-rata stok karbon sebesar 21,86 ton/ha, dan total stok karbon sebesar 196,74 ton/ha. Total stok karbon tertinggi sebesar 29,24 ton/ha, yaitu pada tahun tanam 1935. Pola agroforestri dengan keanekaragaman vegetasi terkelola dapat menjawab tantangan perubahan iklim melalui stok karbon serta secara simultan meningkatkan nilai ekonomi dan kualitas kopi robusta.

Kata kunci: agroforestri, rehabilitasi, komposisi spesies

¹ Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, IPB University

*Penulis korespondensi:

e-mail: panduswassono@apps.ipb.ac.id

PENDAHULUAN

Kopi adalah salah satu komoditas perkebunan yang mampu meningkatkan nilai devisa ekspor Indonesia. Indonesia menjadi negara urutan ketiga sebagai negara pengekspor kopi terbesar dengan pangsa pasar 7% dengan pasar utama ekspor di negara-negara Eropa sedangkan urutan pertama diduduki oleh Brazil dan di urutan kedua diduduki oleh Kolombia (Kurnia 2023), maka hal ini dapat meningkatkan serapan tenaga serta lapangan kerja. Tenaga kerja berperan sebagai faktor produksi aktif dalam pengelolaan dan organisasi kegiatan usaha Perkebunan, namun peran kopi tidak hanya terbatas pada aspek produksi. Berdasarkan aspek budaya, kopi awalnya berkembang di daerah Afrika dan Timur Tengah yang kemudian menjadi minuman favorit di seluruh dunia, selain itu berdasarkan aspek lingkungan, kopi berperan penting dalam konservasi sumber daya alam.

Sistem agroforestri didefinisikan sebagai sistem penggunaan lahan di mana tanaman tahunan berkayu dikelola bersama dengan tanaman pangan dan/atau hewan, dan di mana interaksi ekologi dan ekonomi terjadi di antara komponen-komponennya sebagai hasil dari pengaturan spasial dan temporal (Solis *et al.* 2020). Pengembangan sistem agroforestri kopi tidak hanya berperan dalam peningkatan pendapatan petani, tetapi juga menjadi solusi berbasis alam (*nature-based solution*) dalam upaya konservasi lingkungan dan mitigasi perubahan iklim. Kopi banyak dibudidayakan melalui sistem agroforestri, misalnya di Desa Kluncing, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur (Kurnianto *et al.* 2024) dengan spesies pohon peneduh yang umum meliputi *Gliricidia sepium* (gamal) dan *Erythrina subumbrans* (dadap serep). Agroforestri kopi memiliki potensi besar dalam mengoptimalkan fungsi ganda konservasi karbon dan biodiversitas, terutama di kawasan dengan tekanan penggunaan lahan yang tinggi. Pada lanskap terfragmentasi, agroforestri kopi dipercaya sebagai solusi konservasi berbasis lahan yang efektif. Agroforestri berbasis kopi tidak hanya berpotensi dalam mitigasi perubahan iklim melalui serapan karbon, namun juga dalam pelestarian biodiversitas di wilayah tropis (Sari *et al.* 2020). Agroforestri kopi memiliki potensi besar untuk menstabilkan cadangan karbon dan mendukung spesies lokal, terutama di kawasan yang mengalami tekanan penggunaan lahan (Kusumawati 2022). Tanaman penaung yang biasa digunakan oleh petani untuk budidaya tanaman kopi yaitu lamtoro, sengon, dadap, alpukat, pete, jengkol dan sukun (Panggabean 2011; Arif *et al.* 2011). Namun, meskipun agroforestri kopi di Indonesia telah banyak dipraktikkan, kajian mendalam tentang kontribusi spesifiknya terhadap cadangan karbon dan biodiversitas masih terbatas dilakukan (Sari *et al.* 2020). Penelitian yang secara spesifik membandingkan potensi *carbon stock* dan tingkat keanekaragaman hayati pada berbagai kombinasi spesies pohon penaung dalam sistem agroforestri kopi masih sangat jarang ditemukan, terutama untuk wilayah Jawa Timur. Informasi mengenai struktur vegetasi dan estimasi stok karbon pada sistem agroforestri kopi

dengan sejarah pengelolaan yang panjang, menjadi sangat penting untuk didokumentasikan.

Perkebunan Bangelan merupakan salah satu bagian organisasi induk dari PT Perkebunan Nusantara I Regional 5. Kebun Bangelan merupakan salah satu perkebunan yang membudidayakan dan mengolah kopi jenis Robusta serta memasarkannya dalam bentuk kopi pasar atau *other stripped equivalent* (OSE). Ketinggian Kebun Bangelan berkisar 450–680 meter di atas permukaan laut (mdpl) menjadikannya wilayah yang ideal untuk budidaya tanaman kopi, khususnya jenis *Coffea robusta*. Kebun Bangelan memiliki areal Hak Guna Usaha (HGU) seluas 883,20 ha yang terdiri atas dua afdeling yaitu Afdeling Besaran (466,92 ha) dan Afdeling Kampung Baru (416,28 ha). Komoditas utama pada Kebun Bangelan adalah kopi robusta dengan hasil biji kopi *green beans*. Selain itu juga terdapat bibit, kebun *entrys*, kebun koleksi, dan kebun percobaan dari tanaman kopi dan tanaman cengkeh, kelapa, serta merica. Klon-klon kopi robusta yang dibudidayakan di Kebun Bangelan meliputi klon Bangelan (BGN) terdiri atas BGN 300, BGN 325, BGN 371, BGN 372, dan klon Balai Penelitian (BP) terdiri atas BP 42, BP 254, BP 358, BP 409, BP 450. Tanaman lamtoro dikelola dan diperbanyak tajuknya melalui stek batang yang dimana tanaman lamtoro memiliki banyak manfaat bagi Poktan Tanaka, di antaranya sebagai pakan ternak seperti kambing, lalu sebagai bahan bakar untuk kayu bakar, serta polongnya yang biasa disebut petai cina dimanfaatkan sebagai sayuran untuk makanan sehari-hari. Meskipun secara geografis dan ekologis sangat mendukung untuk produksi kopi berkualitas tinggi, Kebun Bangelan menghadapi sejumlah permasalahan yang memengaruhi aspek keberlanjutan lingkungan maupun produktivitas karena tekanan perubahan iklim yang mengakibatkan turunnya produktivitas tanaman kopi. Selain itu Kebun Bangelan terletak di Malang, Jawa Timur memiliki sejarah yang panjang karena sudah melakukan kegiatan proses pengelolaan kopi dari kebun sampai pasca panen sejak 1901 yang didirikan oleh Departemen *Nijvorheiden Handels Afd Over Jarig Gewassen* Bogor.

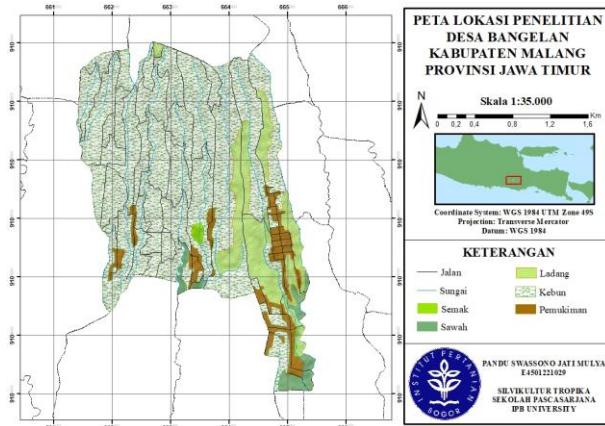
Perubahan iklim telah menjadi masalah serius dalam skala global, termasuk Indonesia yang dampaknya dirasakan dalam berbagai sektor mulai dari masalah air, kesehatan, dan produktivitas tanaman. Tanaman kopi robusta merupakan jenis tanaman yang sangat sensitif terhadap perubahan suhu dan pola curah hujan. Penurunan produktivitas kopi di berbagai wilayah menunjukkan urgensi untuk mencari solusi berbasis ekosistem, namun untuk mengoptimalkan manfaatnya, tidak bisa hanya menerapkan agroforestri secara umum, diperlukan pemahaman mendalam tentang bagaimana struktur dan komposisi sistem tersebut berfungsi. Tingkat keragaman vegetasi yang tinggi dalam sistem agroforestri kopi memiliki banyak fungsi ekologis, pohon naungan dengan kanopi yang beragam dapat menciptakan iklim mikro yang stabil, serta melindungi tanaman kopi dari suhu ekstrem dan stres kekeringan. Keragaman vegetasi juga mendukung kesehatan tanah dan mengurangi risiko serangan hama penyakit secara massal.

Agroforestri memiliki potensi besar untuk menyerap karbon dari atmosfer dan menyimpannya dalam biomassa atas tanah (AGB) maupun biomassa bawah tanah (BGB), sebuah proses yang dikenal sebagai sekuestrasi karbon. Pengukuran estimasi stok karbon pada berbagai pola agroforestri kopi dapat memberi bukti kuantitatif mengenai kontribusi sistem agroforestri terhadap mitigasi perubahan iklim, meskipun agroforestri kopi telah banyak diterapkan, studi yang memverifikasi hubungan antara struktur vegetasi dan cadangan karbon masih terbatas, khususnya di Jawa Timur. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keanekaragaman vegetasi pada agroforestri kopi serta menduga cadangan karbon pada beragam pola agroforestri kopi.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus sampai dengan September 2024 di Kebun Bangelan, Kecamatan Wonosari, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Kebun Bangelan berada di ketinggian 450-680 meter di atas permukaan laut. Luas lahan 883,20 ha. Iklim Kebun Bangelan termasuk tipe iklim C (tipe iklim hujan suhu sedang) menurut klasifikasi Schmidt-Ferguson. Koordinat Kebun Bangelan berada pada 8°0'43.71"S 112°28'58.6"E dengan peta lokasi pada gambar 1.



Gambar 1 Peta Lokasi penelitian Kebun Bangelan.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah GPS, alat tulis, kompas, meteran, phi band, hagameter, tambang plastik 50 m, tali raffia, kamera, oven, timbangan, palu, Microsoft Excel, Microsoft Word, hygrometer, lux meter, thermometer/termograf. Objek yang digunakan adalah tegakan pada Kebun Bangelan.

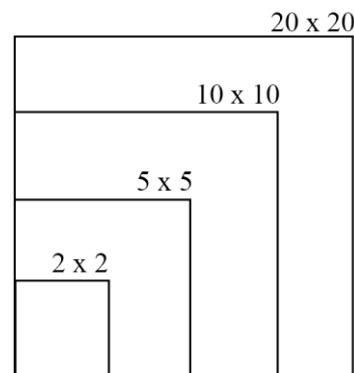
Prosedur Penelitian

Pembangunan Plot Contoh

Penentuan titik sampel pada penelitian ini menggunakan *stratified random sampling* yang dipilih berdasarkan keterwakilan dari jenis tanaman yang ada dalam area penelitian. Plot contoh yang dibangun adalah sebanyak 27 plot dengan ukuran setiap plot adalah 20 x

20 m. Plot tersebut terdiri atas 3 plot pada tiap tahun tanam diantaranya 1935, 1954, 1955, 1961, 1965, 1975, 1978, 1988, 2013.

Plot berukuran 20 m × 20 m digunakan untuk mengamati pohon, 10 m × 10 m digunakan untuk mengamati tiang, 5 m × 5 m digunakan untuk mengamati pancang, dan 2 m × 2 m digunakan untuk mengamati semai serta tumbuhan bawah (Hairiah et al. 2011).



Gambar 2 Petak contoh analisis vegetasi dan pendugaan karbon

Studi Keanekaragaman Vegetasi

Studi keanekaragaman vegetasi didapatkan dari data jumlah jenis serta jumlah individu lalu diolah dengan rumus indeks keanekaragaman (Pretzsch 2009) dan perhitungan komposisi jenis (Indriyanto 2008) yang meliputi kerapatan (K), kerapatan relatif (KR), frekuensi (F), frekuensi relatif (FR), dominansi (D), dominansi relatif (DR), INP semai dan pancang, INP tiang dan pohon.

$$K = \frac{\text{Jumlah individu setiap spesies (N)}}{\text{Luas petak contoh (ha)}}$$

$$KR = \frac{\text{Kerapatan suatu spesies (N/ha)}}{\text{Kerapatan seluruh spesies } (\frac{N}{\text{ha}})} \times 100\%$$

$$F = \frac{\text{Jumlah petak dijumpai spesies}}{\text{Jumlah seluruh petak}}$$

$$FR = \frac{\text{Frekuensi suatu spesies}}{\text{Frekuensi seluruh spesies}} \times 100\%$$

$$D = \frac{\text{Jumlah luas bidang dasar suatu spesies}}{\text{Luas petak contoh (ha)}} \times 100\%$$

$$DR = \frac{\text{Dominasi suatu spesies}}{\text{Dominasi seluruh spesies}} \times 100\%$$

$$\text{INP (\%)} \text{tiang dan pohon} = KR + FR + DR$$

$$\text{INP (\%)} \text{semai dan pancang} = KR + FR$$

Tingkat keanekaragaman jenis pada suatu kawasan dapat diketahui dengan cara mengukur beberapa indeks keanekaragaman. Indeks keanekaragaman dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

Indeks keanekaragaman Shannon-Weiner (H')

$$H' = \sum_{i=1}^s (p_i \ln p_i) = \sum_{i=1}^s \left[\left(\frac{n_i}{N} \right) \ln \left(\frac{n_i}{N} \right) \right]$$

Keterangan:

H' = Indeks keanekaragaman Shannon-Weiner

n_i = Jumlah individu setiap jenis

N = Jumlah individu seluruh jenis

p_i = Kelimpahan setiap jenis

Indeks kekayaan jenis Margalef (R)

$$R = \frac{(S - 1)}{\ln N}$$

Keterangan:

R = Indeks kekayaan jenis Margalef

S = Jumlah jenis

N = Jumlah total individu seluruh jenis dalam habitat

Indeks kemerataan jenis (E)

$$E = \frac{H'}{\ln S}$$

Keterangan:

E = Indeks kemerataan jenis

H' = Indeks keanekaragaman Shannon-Weiner

S = Jumlah jenis

Indeks dominansi jenis (C)

$$C = \sum_{i=1}^n \left(\frac{n_i}{N} \right)^2$$

Keterangan:

n_i = nilai kerapatan jenis ke-i

N = total kerapatan

Pendugaan Biomassa dan Karbon

Pendugaan biomassa semai dan tumbuhan bawah dihitung menurut pedoman SNI 7724 (2019) dengan rumus berikut:

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

Keterangan:

BK = berat kering (gram)

BB = berat basah (gram)

Pendugaan karbon dari biomassa yang telah diperoleh kemudian dihitung dengan menggunakan nilai konversi karbon berdasarkan pedoman SNI 7724 (2019) dengan rumus berikut:

$$Cb = B \times \% C$$

Keterangan:

Cb = kandungan karbon dari biomassa(kg)

B = total biomassa (kg)

% C = nilai persentase kandungan karbon (0,47)

Pendugaan karbon kemudian dihitung cadangan karbon per hektarnya. Penghitungan cadangan karbon per hektar untuk biomassa diatas permukaan tanah menggunakan pedoman SNI 7724 (2019) dengan rumus berikut:

$$Cn = \frac{Cx}{1000} \times \frac{10000}{Lplot}$$

Keterangan:

Cn = Kandungan karbon per hektar pada masing-masing carbon pool pada tiap plot (ton/ha)

Tabel 1 Model alometrik pendugaan biomassa

| Jenis Pohon | Rumus Alometrik | Sumber |
|-----------------------|---|--|
| Kopi dipangkas | $Y = 0.281 D^{2.0635}$ | Arifin (2001) dalam Hairiah <i>et al.</i> (2011) |
| Sengon | $Y = 0.3196 D^{1.9834}$ | Siregar (2007) |
| Jabon | $Y = 0,014 D^{2.958}$ | Siarudin dan Indrajaya (2014) |
| Cengkih | $Y = 0,0275 D^{0.00018} H^{0.000033}$ | Krisnawati <i>et al.</i> (2012) |
| Pohon bercabang | $Y = \rho \times \exp (-1,499 + 2,148 \ln(D) + 0,207 (\ln(D))^2 - 0,0281 (\ln(D))^3)$ | Chave <i>et al.</i> (2005) |
| Pohon tidak bercabang | $Y = (\pi/40) \rho H D^2$ | Hairiah <i>et al.</i> (2002) |

Y: biomassa, D: dbh (cm), H: tinggi total pohon (m), dan ρ : berat jenis

Cx = Kandungan karbon pada masing-masing carbon pool pada tiap plot(kg)

Lplot = luas plot pada masing-masing pool (m^2)

Pendugaan biomassa dan karbon dianalisis menggunakan rumus alometrik serta rumus yang mengacu pada SNI 7724 (2019). Adapun model alometrik yang digunakan untuk menghitung Cadangan karbon di areapenelitian dapat dilihat di Tabel 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi Jenis dan Struktur Tegakan Pohon

Analisis vegetasi dilakukan pada 27 plot dengan luas 1,08 ha ditemukan 6 jenis tumbuhan yang berasal dari 4 famili. Famili yang banyak ditemukan adalah Fabaceae dan Rubiceae yang masing-masing sebanyak 2 jenis. Kombinasi dominan pada sistem agroforestri yang diterapkan oleh Kebun Bangelan pada penelitian ini adalah kombinasi antara tanaman sengon, jabon, lamtoro, dan kopi robusta. Tujuan dari pola penanaman ini adalah salah satunya untuk mengatur intensitas cahaya matahari yang masuk dengan istilah “tabur bintang” yang digunakan oleh pihak bangelan, selain itu naungan juga dapat mengubah iklim mikro dengan mengurangi suhu dan mengurangi kehilangan air melalui penguapan tanah yang lebih rendah dan transpirasi tanaman (Gomes *et al.* 2020). Penyertaan pohon naungan juga dapat meningkatkan layanan ekosistem lainnya, seperti penyerapan karbon (Ehrenbergerová *et al.* 2016).

Perbedaan kombinasi agroforestri pada Kebun Bangelan didasarkan pada kebutuhan naungan dan fokus ekonomi yang dibutuhkan karena kombinasi-kombinasi yang dipilih sebagai tanaman naungan adalah tanaman yang memiliki nilai ekonomi dengan pemanfaatan mulai dari kayu sampai kepada hasil bukan kayu seperti cengkih berupa rempah. Pertimbangan dari pemilihan tanaman kayu sebagai naungan juga didasarkan pada faktor waktu dengan menanam jenis yang memiliki karakter cepat tumbuh, seperti pemilihan tanaman sengon karena sengon merupakan salah satu komoditi di hutan tanaman yang cepat tumbuh (*fast growing species*) (Rumondang *et al.* 2025). Pemanfaatan kayu pada Kebun Bangelan juga tidak hanya difokuskan untuk penjualan namun tanaman seperti lamtoro juga dimanfaatkan sebagai bahan pakan ternak dan bahan bakar untuk pembakaran pada pabrik pengolahan pasca panen kopi robusta dengan tujuan untuk memangkas atau meminimalisir pengeluaran biaya dalam proses pengolahan kopi robusta. Jumlah jenis yang ditemukan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Jumlah jenis ditemukan pada lahan agroforestri Bangelan PTPN I Regional 5

| Tingkat pertumbuhan | Jumlah jenis yang ditemukan pada masing-masing tahun tanam kopi | | | | | | | | |
|------------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2013 | 1975 | 1961 | 1988 | 1965 | 1935 | 1955 | 1954 | 1978 |
| Semai | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pancang | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| Tiang | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 |
| Pohon | 3 | 2 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| Jumlah seluruh tingkat pertumbuhan | 8 | 7 | 7 | 8 | 10 | 6 | 6 | 6 | 8 |

Tabel 3 Indeks nilai penting (INP) pada tingkat pertumbuhan dan tahun tanam

| Tingkat Pertumbuhan | Nama lokal | INP (%) |
|---------------------|--------------|---------|
| Semai | Kopi robusta | 177,78 |
| Pancang | Kopi robusta | 172,79 |
| | Lamtoro | 48,97 |
| Tiang | Kopi robusta | 125,67 |
| | Sengon | 36,45 |
| | Lamtoro | 154,08 |
| Pohon | Jabon | 140,92 |
| | Kopi robusta | 30,87 |
| | Jati emas | 79,01 |
| | Sengon | 65,91 |
| | Cengkoh | 48,78 |
| | Lamtoro | 158,60 |

Jumlah jenis pada tahun tanam 1965 ditemukan lebih banyak dibandingkan kelas lainnya, yaitu sebanyak 1 jenis semai dan 9 jenis tumbuhan berkayu pada seluruh tingkat pertumbuhan. Jumlah jenis terendah ditemukan pada tingkat semai, karena terjadi persaingan antara permudaan pohon dan pohon utama. Lahan agroforestri Kebun Bangelan PTPN I Regional 5 termasuk ke dalam zona hutan produksi dengan ketinggian 450-680 mdpl

Jumlah jenis yang didapatkan pada area penelitian ini berkaitan dengan Indeks Nilai Penting (INP). INP menggambarkan seberapa pentingnya suatu jenis tumbuhan dalam suatu komunitas hutan. INP menunjukkan jumlah kerapatan jenis, frekuensi jenis, dan tutupan relatif yang dinyatakan dalam %. (Agustini *et al.* 2016), serta INP digunakan untuk menganalisis dominansi atau penguasaan suatu jenis dalam suatu komunitas (Pamoengkas dan Zamzam 2017). Jenis yang mendominasi dengan hasil rata-rata INP tertinggi pada semua kelas tahun ditunjukkan pada Tabel 3.

Terdapat 1 jenis tumbuhan pada tingkat semai dengan nilai INP yang tinggi sebesar 177,77% (Tabel 3), karena pada tingkat semai hanya ditemukan tanaman kopi robusta. Jenis kopi robusta juga menempati urutan pertama dengan INP tertinggi pada tingkat pancang yaitu sebesar 172,79%. Perhitungan INP menunjukkan semakin besar nilai indeks nilai penting maka semakin besar peran jenis dalam komunitasnya, begitu juga sebaliknya. Lamtoro menempati urutan pertama sebagai jenis dengan nilai INP tertinggi pada tingkat tiang dan pohon dengan nilai INP berturut-turut sebesar 154,07% dan 158,60% karena tanaman lamtoro memiliki banyak manfaat diantaranya sebagai bahan bakar dan hijauan pakan ternak, lamtoro merupakan jenis tanaman legum yang mampu bertahan saat kekeringan sehingga dapat menjadi alternatif sumber hijauan pakan ternak selain itu kandungan proteininya yang cukup tinggi, pemberian lamtoro sebagai pakan mampu meningkatkan pertambahan bobot badan sapi dibandingkan hanya

dengan rumput (Tiro *et al.* 2021). Lamtoro juga bisa digunakan sebagai biopestisida Harmileni *et al.* (2019) menunjukkan bahwa konsentrasi ekstrak daun lamtoro 80 % dapat membunuh ulat api dalam waktu 132,5 menit dan efektif dalam mengendalikan hama ulat api instar II. Dalam daun lamtoro terdapat kandungan senyawa saponin yang dapat memberikan efek sitotoksik dan menghambat pertumbuhan serangga pengganggu tanaman. Fungsi utama dari tanaman lamtoro yang sudah diterapkan dalam skala global adalah kemampuannya dalam fiksasi nitrogen karena tanaman lamtoro termasuk ke dalam jenis tanaman leguminose, dalam agroforestri legum berkayu sangat bermanfaat dengan membentuk simbiosis bintil akar pengikat nitrogen dengan *Rhizobium* spp. *Rhizobium* spp juga termasuk kedalam jenis bakteri *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) yang memainkan peran penting dalam menjaga kesuburan tanah dan pertumbuhan tanaman (Naylor dan Colemanderr 2018), termasuk kemampuan melarutkan fosfat dan mengikat nitrogen (Sukmawati *et al.* 2020). Jenis kopi robusta juga banyak ditemukan pada tingkat semai dan pancang masing-masing sebesar 177,78% dan 172,79%, hal ini mengindikasikan bahwa potensi regenerasi alami dalam strata bawah cukup tinggi, namun regenerasi alami kopi robusta dalam strata bawah dikategorikan sebagai tanaman pengganggu yang nantinya akan dibersihkan oleh pihak Bangelan. Regenerasi alami ini bisa terjadi karena pada saat pemanenan kopi terdapat losses/rontokan kopi yang dipanen dan dalam waktu yang cukup lama bisa menjadi anakan kopi dalam satu piringan kopi tersebut, hal itu yang menyebabkan jenis dari tanaman kopi mendominasi strata bawah sementara tanaman lamtoro mendominasi strata atas, selain itu jenis tersebut banyak ditemukan karena area Kebun Bangelan memiliki status area hutan produksi yang berfokus pada tanaman perkebunan kopi robusta. Masyarakat sekitar Kebun Bangelan yang tergabung dalam kelompok tani juga ikut memanfaatkan

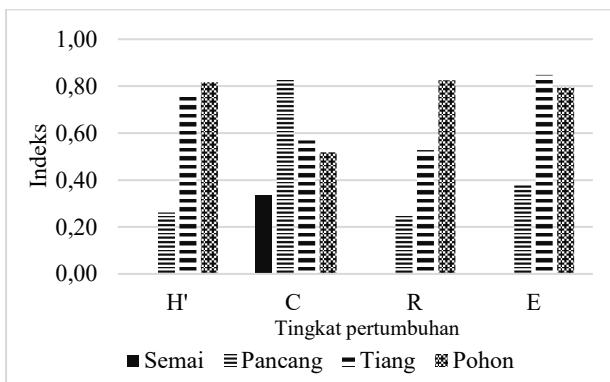
dan mengurus tanaman penaung yang ditanam dengan melakukan stek pada batang tanaman terutama lamtoro, tanaman sengon dan lamtoro juga dimanfaatkan ranting dan daunnya sebagai pakan ternak, masyarakat poktan Kebun Bangelan rata-rata memelihara kambing dan ayam untuk sektor peternakan mereka. Masyarakat lokal masih mendapatkan keuntungan ekonomi dan ekologi dari hasil komoditas yang ditanam dengan tetap menjaga fungsi ekologi. Dalam sistem agroforestri terjadi interaksi ekologi antara pohon dengan komponen agroforestri lainnya baik di atas permukaan lahan maupun dibawah permukaan lahan seperti adanya naungan atau interaksi perakaran untuk pengambilan unsur hara dan air (Samal 2021).

Tingkat keanekaragaman jenis dapat dilihat dari nilai indeks keanekaragaman jenis (H'), indeks dominansi jenis (C), indeks kekayaan jenis (R), dan indeks kemerataan jenis (E). Indeks keanekaragaman vegetasi pada lokasi pengamatan tersaji pada Gambar 3.

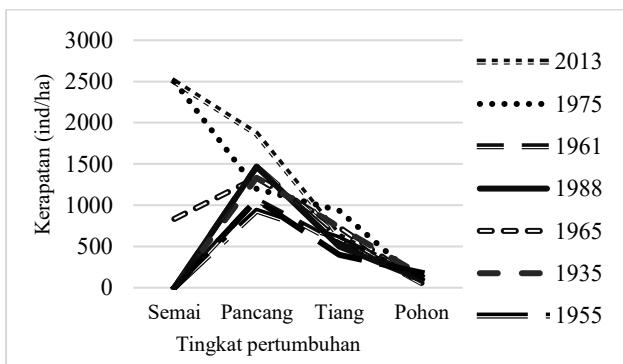
Apabila suatu komunitas disusun oleh banyak jenis maka dapat dikatakan komunitas tersebut memiliki keanekaragaman jenis yang tinggi. Nilai H' tertinggi dari semua tingkat pertumbuhan ditunjukkan oleh tingkat pertumbuhan pohon yaitu sebesar 0,82, sedangkan nilai H' paling rendah ditunjukkan oleh tingkat semai yaitu sebesar 0. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa lokasi penelitian dapat dikatakan tidak stabil terhadap gangguan (Putri dan Indriyanto 2021). Analisis vegetasi di lokasi penelitian menunjukkan tingkat keanekaragaman yang rendah, yang ditandai dengan rendahnya nilai Indeks Keanekaragaman Shannon (H'). Kondisi ini sejalan dengan nilai Indeks Dominansi (C) yang tinggi dan Indeks Kemerataan (E) yang rendah, terutama pada tingkat semai dan pancang. Hal ini mengindikasikan bahwa komunitas vegetasi hanya didominasi oleh beberapa jenis tertentu, sehingga kelimpahan jenis tidak merata. Lebih lanjut, rendahnya Indeks Kekayaan Jenis Margalef (R) di semua tahun tanam, yang nilainya berada di bawah ambang batas, mengonfirmasi bahwa jumlah total jenis yang ditemukan di area tersebut memang sedikit, sesuai dengan prinsip bahwa komunitas dengan jumlah individu melimpah cenderung memiliki jumlah jenis yang lebih sedikit. Jørgensen *et al.* (2005) menetapkan nilai batas bawah indeks kekayaan jenis sebesar 2,05. Pertambahan jumlah jenis berbanding terbalik dengan pertambahan jumlah individu (Ismaini *et al.* 2015).

Struktur horizontal vegetasi menunjukkan tingkat kerapatan vegetasi pada setiap tingkat pertumbuhan. Struktur horizontal tegakan hutan dipengaruhi kerapatan individu pohon per satuan luas. Kerapatan individu pohon di lahan agroforestri Kebun Bangelan PTPN I Regional 5 dapat dilihat pada Gambar 3.

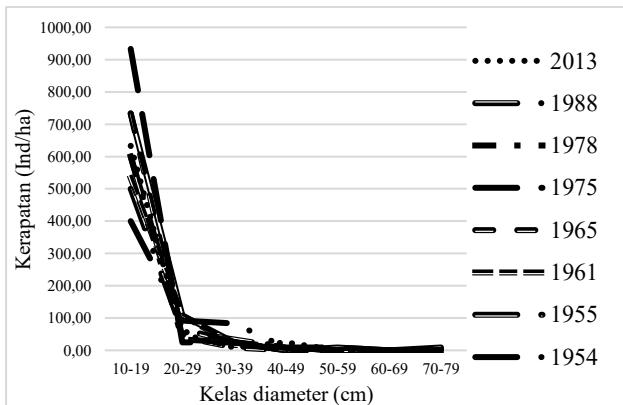
Hasil penelitian menunjukkan bahwa permudaan alami pada tingkat pancang rata-rata lebih banyak daripada tingkat semainya (Gambar 3), sementara pada tahun 2013 dan 1975 nilai semai lebih tinggi dibandingkan nilai pancangnya. Rendahnya jumlah semai dibandingkan jumlah tingkat pancang yang ditemukan disebabkan karena terjadinya persaingan antara tanaman utama serta pembersihan yang dilakukan rutin oleh pihak Kebun Bangelan.



Gambar 3 Rata-rata tingkat keanekaragaman jenis semua kelas tahun



Gambar 4 Kerapatan individu pohon dengan regenerasinya



Gambar 5 Sebaran individu pohon berdasarkan kelas diameter.

Semakin besarnya ukuran diameter pohon maka jumlah individu pohon akan semakin sedikit (Gambar 4). Rentang diameter tertinggi pada lokasi penelitian adalah pada rentang 70-79 cm. Kerapatan individu pohon pada rentang 10-19 cm, jumlah individunya lebih tinggi di tahun 1975 namun pada rentang 20-29 cm jumlah individunya lebih tinggi di tahun 1935 dan 1961. Nilai LBDS pada tahun 1935 dan 1975 memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan pada tahun lainnya. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tegakan pada agroforestri Kebun Bangelan memiliki rata-rata tegakan yang seumur. Besarnya rentang diameter pohon yang berbeda-beda disebabkan oleh faktor genetik, perbedaan usia, kualitas tempat tumbuh, persaingan nutrisi serta kebutuhan cahaya matahari (Mutia dan Pamengkas 2014), pernyataan tersebut sesuai dengan kondisi area

penelitian karena jarak tanam yang digunakan di lahan agroforestri tersebut cukup lebar. Semakin tinggi kelas diameter maka kerapatan individu pohon semakin menurun. Kurva struktur horizontal vegetasi yang dihasilkan membentuk huruf "J" terbalik. Hal tersebut terjadi karena tegakan pada lahan agroforestri Kebun Bangelan didominasi oleh tingkat tiang dengan diameter 10-19 cm.

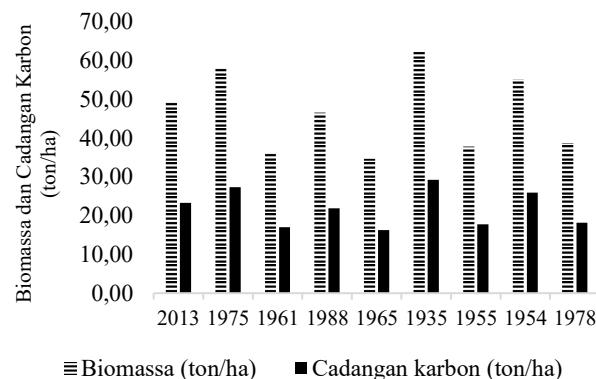
Pendugaan Biomassa dan Cadangan Karbon

Biomassa yang dihitung pada penelitian ini adalah *aboveground biomass* atau biomassa di atas permukaan tanah. Nilai biomassa dapat memberikan dugaan cadangan karbon untuk vegetasi hutan dengan mengalikan nilai biomassa dengan faktor konversi 0,47. Konsentrasi unsur karbon (C) yang terkandung di dalam biomassa vegetasi atau bahan organik hutan lainnya adalah sebesar 47% (IPCC 2008).

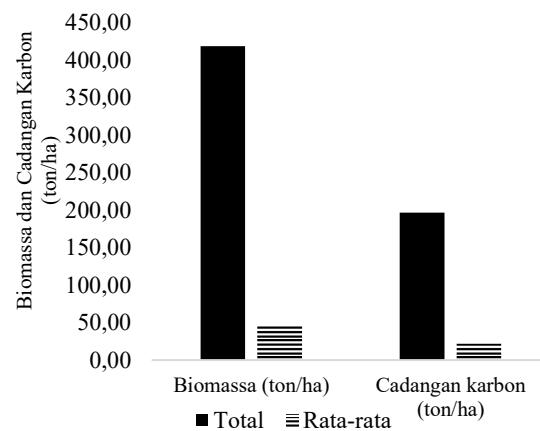
Hasil pendugaan simpanan biomassa dan karbon pada area penelitian didapatkan masing-masing untuk variabel biomassa memiliki rata-rata sebesar 46,51 ton/ha dengan total 418,59 ton/ha, serta untuk variabel cadangan karbon didapatkan rata-rata sebesar 21,86 ton/ha dengan total 196,74 ton/ha. Kontribusi pendugaan cadangan karbon pada area penelitian berasal dari Tahun 1935 dengan total 29,24 ton/ha yang dimana nilai tersebut berbeda jauh dari Tahun 1965 yaitu sebesar 16,28 ton/ha. Tahun 1935 dapat memiliki nilai kontribusi yang tinggi disebabkan oleh beberapa faktor seperti diameter pohon yang lebih besar karena memiliki umur yang sudah tua serta kerapatan yang tinggi antar tanamannya, sebaliknya pada Tahun 1965 nilai yang rendah disebabkan karena terdapat beberapa area kosong pada lokasi Tahun 1965 walaupun jumlah jenis tanaman yang ditemukan pada area 1965 tinggi namun untuk tingkat kerapatan individunya sangat rendah, hal inilah yang menyebabkan nilai dari cadangan karbon pada lokasi Tahun 1965 rendah daripada lokasi lain. Jumlah stok karbon di lokasi penelitian cenderung lebih rendah bila dibandingkan dengan beberapa penelitian serupa pada jenis penggunaan lahan yang berbeda seperti hutan alam. Onrizal dan Auliah (2020) melaporkan stok C sebesar 261,6 t C/ha di kawasan Bukit Lawang Taman Nasional Gunung Leuseur (TNGL), serta stok C sebesar 81,3 – 451,6 t C/ha pada hutan primer Taman Nasional Bromo Tengger Semeru (TNBTS) (Noor'an *et al.* 2015). Hal ini terjadi karena perbedaan komposisi dan kelimpahan pohon. Kawasan konservasi seperti TNGHS, TNGP, dan TNGL, memiliki kondisi vegetasi yang tidak terganggu dengan demikian, kelimpahan pohon yang masih terjaga dengan baik di kawasan konservasi memberikan kontribusi yang besar terhadap tingginya stok karbon di hutan tersebut (Ibrahim dan Lukman 2022).

Perbedaan jumlah cadangan karbon ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti banyaknya keberadaan tegakan dalam suatu tegakan, dimana untuk tingkat pohon tanaman penaung tidak lebih banyak dari tanaman utama yang rata-rata memiliki pertumbuhan yang tidak termasuk kedalam kategori pohon, selain itu Nurania *et al.* (2020) juga menyatakan bahwa faktor umur tegakan, diameter tegakan, kesuburan tanah, dan pengelolaan lahan juga berpengaruh pada perbedaan jumlah cadangan karbon pada suatu kawasan hutan.

Dengan demikian, berdasarkan hasil penelitian, budidaya kopi dalam sistem agroforestri menunjukkan kapasitas untuk mengurangi dampak perubahan iklim melalui cadangan karbon. Sistem agroforestri juga mendukung jasa lingkungan lainnya seperti kualitas tanah, kualitas air, penyebukan, dan keanekaragaman hayati. Perubahan tata guna lahan, dari sistem budidaya konvensional ke sistem agroforestri, harus diimplementasikan, yang merupakan keunggulan global dan strategi cerdas iklim (Gomes *et al.* 2025).



Gambar 6 Nilai biomassa dan cadangan karbon (per tahun), total biomassa dan cadangan karbon.



Gambar 7 Rata-rata biomassa dan cadangan karbon.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Kombinasi agroforestri dominan dan paling efektif di lokasi penelitian adalah campuran sengon (*Falcariaria falcata*), jabon (*Neolamarckia cadamba*), lamtoro (*Leucaena leucocephala*), dan kopi robusta, di mana lamtoro dan kopi robusta menjadi spesies yang paling mendominasi di seluruh fase pertumbuhan. Sistem ini mampu menyimpan rata-rata biomassa sebesar 46,51 ton/ha dan rata-rata cadangan karbon sebesar 21,86 ton/ha, serta untuk total biomassa sebesar 418,59 ton/ha dan total karbon 196,74 ton/ha diseluruh area pengamatan yang menunjukkan perannya sebagai solusi berbasis alam (*nature-based solution*) untuk mitigasi perubahan iklim. Pola yang sama terbukti unggul dalam menciptakan iklim mikro yang mendukung produktivitas kopi secara optimal. Pola agroforestri dengan keanekaragaman vegetasi terkelola dapat menjawab

tantangan perubahan iklim melalui pengukuran *carbon stock* serta secara simultan meningkatkan nilai ekonomi dan kualitas kopi robusta.

Saran

Keanekaragaman vegetasi dan cadangan karbon pada PTPN I Regional 5 dapat dilakukan penelitian lanjutan dengan menambah area tanam yang lain serta pengamatan data *time series* untuk melihat kekonsistennan vegetasi dan perubahan cadangan karbon, sehingga dari data yang diperoleh dapat dilakukan pemodelan untuk memprediksi vegetasi dan cadangan karbon pada area tersebut untuk beberapa tahun berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [BSN] Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Pengukuran dan Perhitungan Cadangan Karbon - Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (Ground based Forest Carbon Accounting)*. Jakarta (ID): Badan Standarisasi Nasional.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2008. *2008 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Hayama (JP): Inst for Global Environmental Strategies.
- Agustini NT, Ta' Alidin Z, Purnama D. 2016. Struktur Komunitas Mangrove di Desa Kahyapu Pulau Enggano. *Jurnal Enggano*. 1(1) :19-31.
- Arif MCW, Tarigan M, Saragih R, Lubis I, Rahmadani F. 2011. Panduan Sekolah Lapang Budidaya Kopi Konservasi, Berbagi Pengalaman dari Kabupaten Dairi Provinsi Sumatera Utara. Conservation International. Jakarta. 59.
- Arifin B. 2022. Impacts Of Coffee Agroforestry And Sustainability Certification On Farmers' Livelihood In Sumatra-Indonesia. sus.sc.res. 2(1):77–95. doi:10.55168/ssr2809-6029.2022.2005.
- Chave J, Andalo C, Brown S, Cairns MA, Chambers JQ, Eamus D, Fölster H, Fromard F, Higuchi N, Kira T, et al. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*. 145(1):87–99. doi:10.1007/s00442-005-0100-x.
- Ehrenbergerová L, Cienciala E, Kučera A, Guy L, Habrová H. 2016. Carbon stock in agroforestry coffee plantations with different shade trees in Villa Rica, Peru. *Agrofor Syst*. 90:433–445. <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9865-z>
- Gomes VM, Junior MSM, Silva LJ, Teixeira MV, Teixeira G, Schossler K, Freitas DAF, Oliveira DMS. 2025. A Global Meta-Analysis of Soil Carbon Stock in Agroforestry Coffee Cultivation. *Agronomy*. 2025;15(2):480. <https://doi.org/10.3390/agronomy15020480>
- Gomes LC, Bianchi FJJA, Cardoso IM, Fernandes RBA, Filho EF, Schulte RPO. 2020. Agroforestry systems can mitigate the impacts of climate change on coffee production: a spatially explicit assessment in Brazil. *Agric Ecosyst Environ*. 294:106858. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106858>
- Hairiah K, Arifin J, Prayogo C, Widianto, Sunaryo. 2002. Prospek agroforestri berbasiskopi sebagai cadangan karbon. *Agroteksos*. 12 (2): 145-150.
- Hairiah K, Ekadinata A, Sari RR, Rahayu S. 2011. *Petunjuk Praktis Pengukuran Cadangan Karbon: Dari Tingkat Lahan Ke Bentang Lahan*. Edisi ke-2. Bogor (ID): World Agroforestry Centre (ICRAF). SEA Regional Office.
- Harmileni, Wijaya K, Pratomo B, Hardianingsih S, Fachrial E. 2019. Uji Efektivitas Daun Lamtoro (*Leucaena Leucocephala* Lam.) Sebagai Biopesisida Dalam Pengendalian Hama Ulat Api (Setothesea asigna v.Ecke). *Seminar Nasional Teknologi Komputer & Sains* (SAINTEKS). Januari 2019. Hal: 177-181.
- Ibrahim A, Lukman AH. 2022. Carbon stock in tree biomass in forest- agricultural land use in west java (case study: cijendil village, cianjur). *Ecodevelopment*. 2022 [accessed 2025 Aug 2];3(1). <http://jurnal.unpad.ac.id/ecodev/article/view/39111> <https://doi.org/10.24198/ecodev.v3i1.39111>
- Indriyanto. 2008. *Ekologi Hutan*. Jakarta (ID): Bumi Aksara.
- Indriyanto. 2008. *Pengantar Budidaya Hutan*. Jakarta: Bumi Aksara
- Ismaini L, Lailati M, Rustandi, Sunandar D. 2015. Analisis komposisi dan keanekaragaman tumbuhan di Gunung Dempo, Sumatera Selatan. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon*. 1(6):1397-1402.
- Jørgensen SE, Costanza R, Xu FL. 2005. *Handbook of Ecological Indicators for Assessment of Ecosystem Health*. Boca Raton (US): CRC Pr.
- Krisnawati H, Adinugroho WC, Imanuddin R. 2012. *Monografi Model-model Alometrik untuk Pendugaan Biomassa Pohon pada Berbagai Tipe Ekosistem Hutan di Indonesia*. Jakarta (ID): Kementerian Kehutanan.
- Kurnianto AS, Dewi N, Sulistyowati H, Siddiq AM, Ratnasari T, Khowatini H, Yulianto R, Firdaus AS. 2024. Sustaining Biodiversity and Ecological Roles in a Heritage Landscape: The Role of Coffee Agroforestry in Kluncing, Indonesia. *HAYATI J Biosci*. 32(2):459–471. doi:10.4308/hjb.32.2.459-471.
- Kusumawati IA. 2022. Multifungsi Agroforestri Kopi Berdasarkan Pengetahuan Ekologi Lokal Petani di Kabupaten Malang Universitas Brawijaya. Malang.
- Mutia L, Pamoengkas P. 2014. Hubungan lebar jalur tanam dengan pertumbuhan Meranti Merah (*Shorea leprosula Miq.*) dalam sistem silvikultur tebang pilih tanam jalur. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 5(2):131-136.
- Noor'An RF, Jaya INS, Puspaningsih N. 2015. Pendugaan Perubahan Stok Karbon Di Taman Nasional Bromo Tengger Semeru. *Media Konservasi*. 2015;20(2):177-186.
- Nuranisa S, Sudiana E, Yani E. 2020. Hubungan umur dengan stok karbon pohon duku (*Lansium parasiticum*) di Desa Kalikajar Kecamatan Kaligondang Kabupaten Purbalingga. *BioEksakta: Jurnal Ilmiah Biologi Unsoed*. 2(1) :146–151. <https://doi.org/10.20884/1.BIOE.2020.2.1.1866>

- Onrizal O, Auliah NL. 2020. Stand structure and carbon storage of Bukit Lawang's tropical rain forest of Gunung Leuser National Park. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020;1542(1):012061. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1542/1/012061>
- Pamoengkas P, Zamzam AK. 2017. Komposisi functional species group pada sistem silvikultur tebang pilih tanam jalur di area IUPHHK-HA PT. Sarpatim, Kalimantan Tengah. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 8(3):160-169.
- Panggabean E. 2011. *Buku Pintar Kopi*. Agromedia Pustaka. Jakarta. 226.
- Pretzsch H. 2009. Forest Dynamics, Growth, and Yield. Di dalam: Forest Dynamics, Growth and Yield: From Measurement to Model. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. hlm 1–39.
- Putri SM, Indriyanto I. 2021. Keanekaragaman tumbuhan penyusun vegetasi hutan lindung Bengkunat di Resor III KPH Unit I Pesisir Barat. *Jurnal Hutan Tropis*. 9(1):212-221.
- Rumondang J, Ratna Puri S, Rif'atunaudina R, Handayani R, Hardiyanti RA, Dinanty F. 2025. Shade and NPK Effects on Calliandra and Sengon Seedling Growth Differences. *JBT*. 25(1):1104–1112. doi:10.29303/jbt.v25i1.8763.
- Samal SI. 2021. Implementasi sistem agroforestry sebagai solusi pertanian berkelanjutan di Indonesia. *RADAR*. 2(1):1–10.
- Sari R, Saputra D, Hairiah K, Rozendaal D, Roshetko J, van Noordwijk M. 2020. *Gendered Species Preferences Link Tree Diversity And Carbon Stocks In Cacao Agroforest In Southeast Sulawesi, Indonesia*. *Land*. 9(4). <https://doi.org/10.3390/land9040108>
- Siarudin M, Indrajaya Y. 2014. Persamaan Allometrik Jabon (*Neolamarckia cadamba* Miq) Untuk Pendugaan Biomassa Di Atas Tanah Pada Hutan Rakyat Kecamatan Pakenjeng Kabupaten Garut. *Jur.pen.hut.tanaman*. 11(1):1–9. doi:10.20886/jpht.2014.11.1.1-9.
- Siregar Z. 2009. *Kayu Sengon*. Bogor: Penebar Swadaya
- Solis R, Vallejos-Torres G, Arévalo L, Marín-Díaz J, Niique-Alvarez M, Engedad T, Bruun T. 2020. Carbon stocks and the use of shade trees in different coffee growing systems in the Peruvian Amazon. *The Journal of Agricultural Science*. 158: 450–460.
- Sukmawati S, Ala A, Patandjengi B, Gusli S. 2020. Exploring of promising bacteria from the rhizosphere of maize, cocoa and lamtoro: Diversity, phosphate solubilizing and nitrogen fixing. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 2020 [accessed 2025 Aug 3];21(12). <https://smujo.id/biodiv/article/view/6810>. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d211224>
- Tiro BMW, Tirajoh S, Usman, Beding PA, Palobo F. 2021 Pertumbuhan Tanaman Lamtoro (*Leucaena Leucocephala* Cv. Tarramba) Mendukung Penyediaan Pakan Di Kawasan Pengembangan Sapi Potong. *Jurnal Pertanian Agros*. 2021; 23(1): 74-83