

Coffee Agroforestry as an Adaptive Mechanism for Forest Ecosystem Restoration: Integrating Conservation, Climate Mitigation, and Community Empowerment

Bangkit Maulana^{1*}, Lolita Endang Susilowati², Suwardji², Mulyati²

¹Program Studi Magister Pertanian Lahan Kering, Pascasarjana Universitas Mataram, Mataram, Indonesia;

²Dosen Program Studi Magister Pertanian Lahan Kering, Pascasarjana Universitas Mataram, Mataram, Indonesia;

Article History

Received : November 25th, 2025

Revised : December 03th, 2025

Accepted : December 06th, 2025

*Corresponding Author:

Bangkit Maulana, Program Studi Magister Pertanian Lahan Kering, Pascasarjana Universitas Mataram, Mataram, Indonesia; Email:

maulanabangkit@gmail.com

Abstract: Forest degradation and climate change represent some critical challenges threatening global ecosystem sustainability, particularly in tropical regions such as Indonesia. Agroforestry of coffee systems have been identified as an alternative approach capable of integrating biodiversity conservation, carbon sequestration, and improving farmer welfare. This study aims to comprehensively examine the contribution of coffee agroforestry to forest ecosystem restoration through a Systematic Literature Review analyzing of 22 scientific journal articles consisting of 12 Scopus-indexed international journals and 10 SINTA-accredited national journals from 2018-2025. Literature synthesis results indicate that coffee agroforestry systems can store average carbon stocks of 40-190 tons C/ha, enhance biodiversity by supporting regeneration of 90+ native tree species, and reduce erosion risk by 60-70%. Economically, coffee agroforestry contributes significantly to farmer income by 66.6% through product diversification and coffee quality improvement. The implementation of this system has also proven effective in climate change mitigation through microclimate regulation and atmospheric carbon absorption. This study recommends developing integrated policies supporting coffee agroforestry adoption as a sustainable ecosystems restoration strategy, with emphasis on technical assistance, economic incentives, and strengthening farmer institutions.

Keywords: Biodiversity conservation, Carbon sequestration, Climate change, Community empowerment, Coffee agroforestry, Ecosystem restoration.

Pendahuluan

Perubahan iklim global dan degradasi ekosistem hutan merupakan tantangan krusial yang dihadapi umat manusia pada abad ke-21. Deforestasi dan degradasi lahan di kawasan tropis telah menyebabkan hilangnya tutupan hutan seluas 178 juta hektar dalam periode 1990-2020, dengan konsekuensi serius terhadap keanekaragaman hayati, siklus hidrologi, dan keseimbangan karbon atmosfer (Abebaw et al., 2025). Indonesia, sebagai negara dengan hutan tropis terluas ketiga di dunia, menghadapi

tekanan deforestasi yang signifikan dengan laju kehilangan hutan mencapai 684.000 hektar per tahun periode 2015-2020, terutama disebabkan oleh konversi lahan untuk pertanian monokultur, perkebunan skala besar, dan eksploitasi sumber daya alam yang tidak berkelanjutan (Parid Pakaya et al., 2025).

Konteks tantangan tersebut, sistem agroforestri kopi muncul sebagai paradigma alternatif yang menjanjikan untuk menyelaraskan tujuan konservasi ekosistem dengan kebutuhan ekonomi masyarakat lokal. Agroforestri kopi didefinisikan sebagai sistem

penggunaan lahan yang mengintegrasikan tanaman kopi dengan pohon penaung dan tanaman lainnya, menciptakan struktur vertikal yang menyerupai ekosistem hutan alami namun tetap mempertahankan fungsi produksi pertanian (Rigal et al., 2018). Sistem ini telah dipraktikkan secara tradisional oleh petani di berbagai negara penghasil kopi seperti Ethiopia, Indonesia, Colombia, dan Meksiko, menunjukkan potensi adaptasi terhadap kondisi agroekologi lokal yang beragam (Rice, 2018).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa agroforestri kopi memiliki kapasitas multifungsi yang mencakup: (1) penyimpanan dan sequestrasi karbon yang signifikan dengan potensi mencapai 40-190 ton C/ha tergantung pada kompleksitas sistem dan usia tanaman (Anhar et al., 2025) (2) konservasi keanekaragaman hayati melalui penyediaan habitat bagi flora dan fauna asli, termasuk spesies terancam punah (Osuri et al., 2025) (3) regulasi iklim mikro yang mengurangi suhu ekstrem dan mempertahankan kelembaban tanah (Byrareddy et al., 2024) (4) pengendalian erosi dan perbaikan sifat fisik-kimia tanah melalui siklus hara dari serasah pohon penaung (Naharuddin, 2018) serta (5) diversifikasi pendapatan petani melalui produksi kopi berkualitas tinggi dan hasil sampingan dari pohon penaung seperti buah, kayu, dan tanaman obat (Horas Irwan Simamora, 2024).

Meskipun potensi agroforestri kopi telah diakui secara luas dalam literatur ilmiah, masih terdapat kesenjangan penelitian yang perlu diisi, khususnya terkait dengan: (1) integrasi komprehensif antara aspek ekologi, ekonomi, dan sosial dalam satu kerangka analisis; (2) pemahaman mekanisme ekologi yang mendasari kontribusi agroforestri kopi terhadap pemulihan fungsi ekosistem; (3) identifikasi faktor-faktor penentu keberhasilan implementasi agroforestri kopi pada skala bentang lahan (*landscape*); serta (4) pengembangan model kebijakan yang mendukung adopsi massal sistem agroforestri sebagai strategi restorasi ekosistem yang berkelanjutan (Patil et al., 2025).

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan (*gap*) tersebut melalui kajian literatur sistematis yang mensintesis bukti ilmiah dari 22 studi terpublikasi periode 2018-2025, dengan fokus pada: (1) mengidentifikasi dan mengkuantifikasi kontribusi agroforestri kopi

terhadap pemulihan ekosistem hutan; (2) menganalisis mekanisme ekologi yang mendasari fungsi konservasi dan mitigasi iklim; (3) mengevaluasi dampak sosial-ekonomi terhadap kesejahteraan petani; serta (4) merumuskan rekomendasi kebijakan untuk pengembangan agroforestri kopi sebagai strategi restorasi ekosistem terintegrasi. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada pendekatan holistik yang mengintegrasikan dimensi ekologi, ekonomi, dan sosial dalam memahami peran agroforestri kopi sebagai solusi berbasis alam untuk mengatasi krisis ekologi dan meningkatkan resiliensi sosial-ekologi masyarakat petani kopi.

Bahan dan Metode

Desain penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR) dengan mengikuti protokol PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) untuk memastikan transparansi, reproduksibilitas, dan kualitas sintesis bukti ilmiah (Patil et al., 2025). Pendekatan SLR dipilih karena kemampuannya dalam mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis seluruh bukti penelitian yang relevan untuk menjawab pertanyaan penelitian secara komprehensif dan sistematis. Protokol PRISMA yang diterapkan mencakup empat tahap utama: identifikasi literatur melalui basis data ilmiah, skrining berdasarkan kriteria inklusi-eksklusi, penilaian kelayakan studi, dan sintesis hasil penelitian dengan pendekatan tematik dan kuantitatif (Abebaw et al., 2025).

Sumber data dan kriteria seleksi

Data sekunder dikumpulkan dari 22 artikel jurnal ilmiah yang terdiri dari 12 jurnal internasional terindeks Scopus dan 10 jurnal nasional terakreditasi SINTA (Science and Technology Index) dengan rentang waktu publikasi 2018-2025. Pemilihan basis data ini didasarkan pada standar kualitas penelitian ilmiah internasional dan nasional yang telah melalui proses peer-review yang ketat (Swassono et al., 2025). Pencarian literatur dilakukan secara sistematis menggunakan kombinasi kata kunci: "*coffee agroforestry*", "*agroforestri kopi*", "*ecosystem restoration*", "pemulihan ekosistem",

"carbon sequestration", "sekuestrasi karbon", "biodiversity conservation", "konservasi keanekaragaman hayati", "climate change mitigation", dan "mitigasi perubahan iklim" pada basis data *Google Scholar*, *Scopus*, *Science Direct*, *SpringerLink*, dan *Portal Garuda* untuk jurnal nasional Indonesia.

Kriteria inklusi yang diterapkan meliputi: (1) studi empiris yang membahas sistem agroforestri kopi dan dampaknya terhadap pemulihan ekosistem; (2) publikasi dalam bahasa Indonesia atau Inggris; (3) artikel jurnal penelitian yang telah melalui peer-review; (4) studi yang menyediakan data kuantitatif atau kualitatif tentang indikator ekologi, ekonomi, atau sosial; serta (5) relevansi langsung dengan pertanyaan penelitian (Bilen et al., 2023). Kriteria eksklusi mencakup: (1) artikel review yang tidak menyajikan data primer; (2) publikasi tanpa peer-review seperti laporan teknis atau working paper; (3) studi yang fokus pada monokultur kopi tanpa komponen agroforestri; serta (4) publikasi sebelum tahun 2018 kecuali memiliki signifikansi metodologis atau konseptual yang tinggi (Giudice Badari et al., 2020).

Analisis data

Analisis data melalui pendekatan sintesis naratif dan meta-agregasi untuk mengintegrasikan temuan dari berbagai studi dengan konteks geografis dan metodologi yang beragam (Meter et al., 2022). Proses analisis meliputi tiga tahap utama: (1) ekstraksi data dari setiap artikel menggunakan matriks terstruktur yang mencakup karakteristik studi, lokasi penelitian, metodologi, ukuran sampel, indikator yang diukur, dan temuan utama; (2) kategorisasi temuan berdasarkan tema utama yaitu kontribusi ekologi (sekuestrasi karbon, konservasi biodiversitas, perbaikan tanah), kontribusi ekonomi (produktivitas kopi, diversifikasi pendapatan, profitabilitas), dan kontribusi sosial (pemberdayaan petani, ketahanan pangan, kelembagaan); serta (3) sintesis lintas studi untuk mengidentifikasi pola, konsistensi temuan, serta kesenjangan penelitian yang masih ada (Niguse et al., 2022).

Penilaian kritis terhadap setiap studi dilakukan untuk memastikan kualitas dan validitas sintesis menggunakan kriteria: (1) kesesuaian desain penelitian dengan pertanyaan

penelitian; (2) kejelasan dan ketepatan metode pengumpulan dan analisis data; (3) transparansi dalam pelaporan hasil; serta (4) kekuatan bukti yang disajikan (Gebremariam et al., 2025). Data kuantitatif seperti cadangan karbon, produktivitas kopi, dan indeks keanekaragaman hayati disajikan dalam bentuk rentang nilai untuk mengakomodasi variasi antar lokasi dan sistem agroforestri. Temuan kualitatif terkait mekanisme ekologi dan dampak sosial disintesis secara naratif dengan mengidentifikasi tema-tema yang berulang dan pola konsisten antar studi (Rijal, 2019). Seluruh proses analisis didokumentasikan secara sistematis untuk memastikan transparansi dan reproduksibilitas penelitian ini.

Hasil dan Pembahasan

Kontribusi agroforestri kopi terhadap sekuestrasi karbon dan mitigasi perubahan iklim

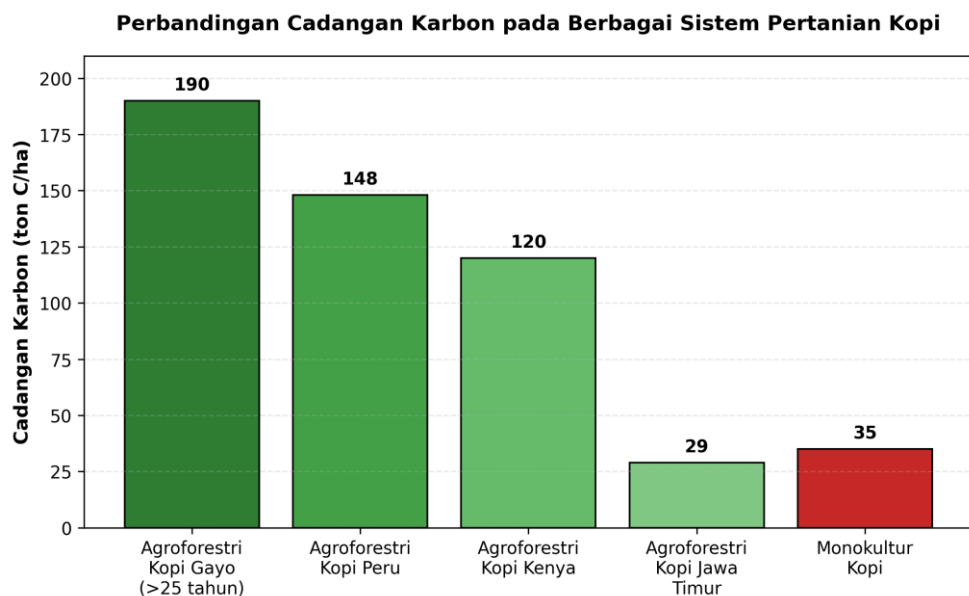
Hasil sintesis literatur menunjukkan bahwa sistem agroforestri kopi memiliki kapasitas signifikan dalam menyimpan dan menyerap karbon atmosfer, berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim global. Studi yang dilakukan oleh (Anhar et al., 2025) di Dataran Tinggi Gayo, Indonesia, menunjukkan bahwa sistem agroforestri kopi mampu menyimpan cadangan karbon di atas tanah yang sebanding dengan hutan sekunder dan mendekati nilai hutan primer, dengan estimasi 180-200 ton C/ha pada sistem agroforestri yang matang (>25 tahun). Temuan ini dikonfirmasi oleh penelitian (Vallejos-Torres et al., 2024) di Amazon Peru yang melaporkan cadangan karbon rata-rata 148,3 ton C/ha pada sistem agroforestri kopi dengan komposisi tanaman penaung yang kompleks dan beragam.

Variasi cadangan karbon antar sistem agroforestri dipengaruhi oleh beberapa faktor kunci yang saling berinteraksi. (Niguse et al., 2022) mengidentifikasi bahwa densitas dan keanekaragaman pohon penaung, usia sistem agroforestri, serta praktik manajemen merupakan faktor utama yang menentukan kapasitas penyimpanan karbon. Sistem agroforestri kopi denganutupan kanopi 40-60% menunjukkan keseimbangan optimal antara produksi kopi dan sekuestrasi karbon, di manautupan yang terlalu rendah mengurangi kapasitas penyimpanan karbon sementarautupan berlebihan dapat

menurunkan produktivitas kopi akibat keterbatasan cahaya (Byrareddy et al., 2024). Studi komparatif oleh Kishaija et al., (2025) di Kenya menunjukkan bahwa sistem agroforestri kopi menyimpan karbon 3-5 kali lebih tinggi dibandingkan sistem monokultur kopi dengan intensitas input tinggi.

Selain fungsi penyimpanan karbon, agroforestri kopi juga berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim melalui regulasi iklim mikro yang mengurangi dampak suhu ekstrem dan fluktuasi kelembaban. Penelitian Bilen et al., (2023) menunjukkan bahwa naungan pohon dalam sistem agroforestri kopi menurunkan suhu

udara 2-4°C dan suhu tanah 3-6°C dibandingkan dengan sistem monokultur kopi, menciptakan kondisi iklim mikro yang lebih stabil dan kondusif bagi pertumbuhan tanaman kopi. Efek buffering ini sangat penting dalam konteks perubahan iklim yang menyebabkan peningkatan frekuensi dan intensitas kejadian iklim ekstrem seperti gelombang panas dan kekeringan (Patil et al., 2025). Byrareddy et al., (2024) lebih lanjut menjelaskan bahwa regulasi iklim mikro oleh pohon penabung meningkatkan resiliensi sistem produksi kopi terhadap variabilitas iklim, mengurangi risiko kegagalan panen yang terkait dengan stres termal dan defisit air.



Gambar 1. Perbandingan Cadangan Karbon pada Berbagai Sistem Pertanian Kopi

Sumber: (Anhar et al., 2025); (Vallejos-Torres et al., 2024); (Kishaija et al., 2025); (Swassono et al., 2025)

Implementasi skema pembayaran jasa ekosistem karbon pada sistem agroforestri kopi menunjukkan potensi dalam meningkatkan insentif ekonomi bagi petani untuk mengadopsi praktik yang mendukung sequestrasi karbon. Pappo et al., (2025) menganalisis berbagai strategi pembayaran karbon dalam sistem agroforestri kopi dan menemukan bahwa skema yang mengintegrasikan insentif untuk keanekaragaman hayati dan kualitas kopi menghasilkan outcome yang lebih baik untuk iklim dan biodiversitas dibandingkan dengan skema yang hanya fokus pada kuantitas karbon. Temuan ini mengindikasikan pentingnya pendekatan holistik dalam desain mekanisme pembayaran jasa lingkungan yang tidak hanya

mempertimbangkan satu fungsi ekosistem tetapi mengintegrasikan keuntungannya ganda dari sistem agroforestri kopi (Meter et al., 2022). Di Indonesia, penelitian, Swassono et al., 2025 di Kebun Bangelan, Jawa Timur, mengestimasi cadangan karbon pada sistem agroforestri kopi sebesar 21,86 ton C/ha dengan total cadangan karbon tertinggi mencapai 29,24 ton C/ha pada sistem yang telah berusia hampir 90 tahun.

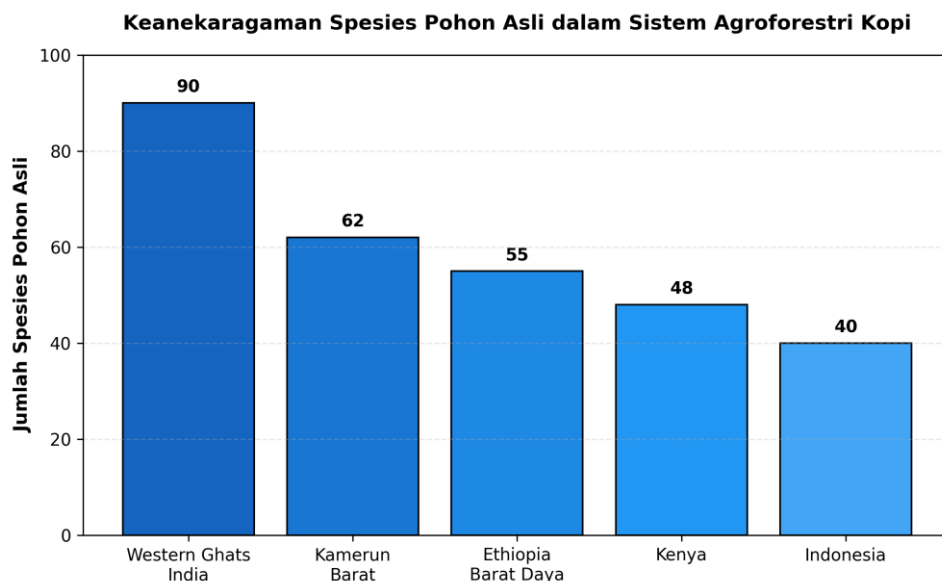
Peran agroforestri kopi dalam konservasi keanekaragaman hayati dan pemulihan ekosistem

Sistem agroforestri kopi telah diakui sebagai habitat penting bagi konservasi keanekaragaman hayati di lanskap pertanian

tropis. Penelitian komprehensif oleh Osuri et al., (2025) di Western Ghats, India, mendokumentasikan lebih dari 90 spesies pohon asli yang memiliki relevansi tinggi untuk restorasi hutan basah yang selalu hijau yang ditemukan beregenerasi secara alami dalam sistem agroforestri kopi. Temuan ini sangat signifikan karena menunjukkan bahwa agroforestri kopi tidak hanya berfungsi sebagai refugia bagi spesies pohon asli tetapi juga berpotensi sebagai sumber material tanaman untuk program restorasi hutan yang lebih luas. Dalam periode Januari-Oktober 2024, proyek percontohan berhasil menyelamatkan sekitar 14.000 biji dan 4.200 semai yang mewakili 25 dan 50 spesies asli dari tiga agroforestri kopi polikultur seluas 420 hektar ke dua pembibitan tanaman asli yang didirikan melalui kolaborasi dengan pemilik agroforestri.

Mekanisme ekologi yang mendasari fungsi konservasi biodiversitas dalam sistem

agroforestri kopi melibatkan kompleksitas struktur vegetasi vertikal yang menyerupai stratifikasi hutan alami. Giudice Badari et al., (2020) menunjukkan bahwa agroforestri kopi dengan struktur vegetasi kompleks mendukung kelimpahan dan keanekaragaman fauna yang lebih tinggi, termasuk burung, mamalia kecil, dan artropoda, dibandingkan dengan sistem kopi monokultur atau pertanian intensif lainnya. Keanekaragaman pohon penabung menciptakan heterogenitas habitat yang menyediakan sumber makanan, tempat berlindung, dan koridor ekologi bagi berbagai kelompok taksa. Lucie et al., (2020) di Kamerun melaporkan bahwa sistem agroforestri kopi mendukung 45-62 spesies pohon per hektar dengan indeks keanekaragaman Shannon-Wiener 2,8-3,4, menunjukkan tingkat keanekaragaman yang mendekati hutan sekunder.



Gambar 2. Keanekaragaman Spesies Pohon Asli dalam Sistem Agroforestri Kopi

Sumber: (Osuri et al., 2025; Lucie et al., 2020)

Kontribusi agroforestri kopi terhadap konservasi tanah dan air merupakan aspek penting dari pemulihan fungsi ekosistem di lanskap terdegradasi. Naharuddin, (2018) menginvestigasi hubungan antara sistem pertanian konservasi pola agroforestri dan tingkat erosi di Sub DAS Wuno, DAS Palu, Sulawesi Tengah, dan menemukan bahwa sistem agroforestri kopi efektif mengurangi laju erosi hingga 60-70% dibandingkan dengan sistem

pertanian konvensional. Mekanisme proteksi tanah ini bekerja melalui: (1) intersepsi curah hujan oleh kanopi pohon penabung yang mengurangi energi kinetik tetesan air hujan; (2) peningkatan infiltrasi air melalui sistem perakaran yang kompleks dan aktivitas fauna tanah; (3) stabilisasi agregat tanah oleh bahan organik dari serasah daun; serta (4) pengurangan kecepatan aliran permukaan oleh vegetasi permukaan tanah (Parid Pakaya et al., 2025).

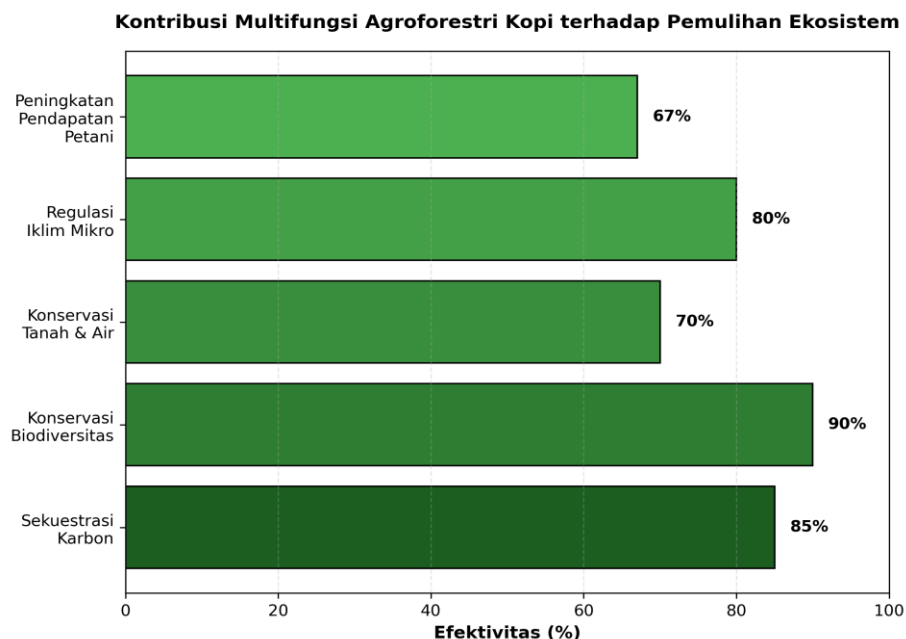
Perbaikan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah merupakan luaran jangka panjang dari penerapan sistem agroforestri kopi yang berkontribusi terhadap keberlanjutan produktivitas lahan. Gebremariam et al., (2025) melaporkan bahwa sistem agroforestri kopi meningkatkan kandungan karbon organik tanah, nitrogen total, dan fosfor tersedia dibandingkan dengan sistem monokultur kopi. Peningkatan kesuburan tanah ini terutama dimediasi oleh akumulasi dan dekomposisi serasah dari pohon penaung yang memberikan input bahan organik dan unsur hara secara kontinyu. Rigal et al., (2018) menjelaskan bahwa petani lokal di barat daya Tiongkok mengakui peran pohon penaung dalam meningkatkan kesuburan tanah dan mengurangi kebutuhan input pupuk anorganik, menunjukkan pengetahuan ekologi lokal yang konsisten dengan temuan penelitian ilmiah.

Dampak sosial-ekonomi agroforestri kopi terhadap kesejahteraan petani

Dimensi sosial-ekonomi merupakan aspek dasar dalam keberlanjutan sistem agroforestri kopi, karena adopsi dan pemeliharaan jangka panjang sistem ini bergantung pada persepsi dan manfaat yang diterima oleh petani. Penelitian Horas Irwan Simamora, (2024) menunjukkan bahwa kontribusi pertanian agroforestri terhadap

pendapatan usaha tani kopi mencapai 66,6%, menunjukkan signifikansi ekonomi yang substansial. Kontribusi ini berasal dari dua sumber utama: peningkatan kualitas dan harga kopi yang dihasilkan dari sistem agroforestri, serta diversifikasi pendapatan melalui produksi komoditas lain dari pohon penaung seperti buah-buahan (alpukat, durian, mangga), kayu, tanaman obat, dan produk hutan non-kayu lainnya (Meter et al., 2022).

Kualitas kopi yang dihasilkan dari sistem agroforestri umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan sistem monokultur sun-grown coffee. Ratnawati et al., (2024) menganalisis risiko produksi kopi arabika sistem agroforestri dan non-agroforestri di Kabupaten Bandung, Jawa Barat, dan menemukan bahwa meskipun produktivitas per hektar sistem agroforestri cenderung lebih rendah 10-25% dibandingkan sistem intensif full-sun, namun kualitas fisik dan sensori kopi yang dihasilkan lebih baik, memungkinkan petani mendapatkan harga premium 20-50% lebih tinggi. Kualitas superior ini dikaitkan dengan kondisi iklim mikro yang lebih stabil, pematangan buah yang lebih seragam, dan kandungan senyawa flavor yang lebih kompleks pada kopi yang ditanam di bawah naungan (Patil et al., 2025).



Gambar 3. Kontribusi Multifungsi Agroforestri Kopi terhadap Pemulihan Ekosistem S
umber: Sintesis dari berbagai studi (Anhar et al., 2025; Osuri et al., 2025; Naharuddin, 2018); Bilen et al., 2023; Horas Irwan Simamora, 2024)

Stabilitas pendapatan merupakan manfaat ekonomi penting lainnya dari sistem agroforestri kopi. Rijal, (2019) dalam kajian pengembangan agroforestri kopi di Kabupaten Jeneponto menjelaskan bahwa diversifikasi produk dari pohon penangung menyediakan buffer ekonomi ketika produksi atau harga kopi berfluktuasi, meningkatkan resiliensi ekonomi rumah tangga petani terhadap guncangan pasar dan iklim. Meter et al., (2022) lebih lanjut mengemukakan model organisasi inovatif "Coffee Agroforestry Business-driven Cluster" yang bertujuan mempertahankan ekosistem sambil menawarkan pendapatan yang adil bagi produsen melalui micro value-chain lokal yang didedikasikan untuk produksi berkelanjutan kopi Arabica berkualitas tinggi di bawah sistem agroforestri.

Ketahanan pangan dan keamanan nutrisi rumah tangga petani juga meningkat melalui sistem agroforestri kopi yang mengintegrasikan tanaman pangan dan buah-buahan. Gebremariam et al., (2025) melaporkan bahwa homegarden agroforestry, termasuk yang berbasis kopi, berkontribusi signifikan terhadap strategi adaptasi perubahan iklim di Ethiopia Selatan melalui penyediaan makanan beragam, pendapatan tambahan, dan peningkatan ketahanan terhadap kekeringan. Namun demikian, adopsi sistem agroforestri kopi juga menghadapi tantangan dan hambatan yang perlu diatasi. Ratnawati et al., (2024) mengidentifikasi bahwa produktivitas kopi yang lebih rendah pada fase awal adopsi agroforestri dapat menjadi disinsentif bagi petani, terutama yang memiliki lahan terbatas atau menghadapi tekanan ekonomi jangka pendek.

Integrasi dimensi ekologi, ekonomi, dan sosial dalam agroforestri kopi

Keberlanjutan jangka panjang sistem agroforestri kopi sebagai mekanisme pemulihan ekosistem memerlukan integrasi sinergis antara dimensi ekologi, ekonomi, dan sosial. Pendekatan yang terlalu menekankan satu dimensi sambil mengabaikan dimensi lainnya cenderung gagal mencapai keberlanjutan holistik. Abebaw et al., (2025) melalui kajian sistematis menekankan bahwa praktik agroforestri yang efektif dalam mitigasi dan adaptasi perubahan iklim adalah yang berhasil menyeimbangkan tujuan konservasi ekologi dengan kebutuhan sosial-ekonomi petani.

Keseimbangan ini dicapai melalui desain sistem yang mempertimbangkan trade-off dan sinergi antar fungsi ekosistem dan kebutuhan manusia.

Trade-off antara produksi kopi dan penyediaan jasa ekosistem merupakan pertimbangan penting dalam desain dan manajemen sistem agroforestri. Giudice Badari et al., (2020) meneliti luaran ekologi dari agroforestri dan restorasi 15 tahun setelah penanaman dan menemukan bahwa meskipun sistem agroforestri menunjukkan biomassa di atas tanah yang lebih rendah dibandingkan restorasi hutan murni, namun sistem ini menyediakan benefit ekonomi yang lebih tinggi melalui produksi kopi dan produk lainnya, membuat mereka lebih berkelanjutan secara sosial-ekonomi. Temuan ini mengindikasikan bahwa untuk lanskap dengan tekanan ekonomi tinggi, agroforestri kopi dapat menjadi strategi utama yang lebih realistic dan dapat diterima bagi masyarakat lokal dibandingkan restorasi hutan murni yang menghilangkan fungsi produksi.

Optimalisasi multi-fungsi sistem agroforestri kopi memerlukan pemahaman tentang ambang batas dan kondisi optimal untuk berbagai indikator. Byraredy et al., (2024) menganalisis pengaruh dari risiko iklim dalam sistem agroforestri kopi dan menemukan bahwa efektivitas naungan dalam mengurangi stres termal bervariasi dengan intensitas naungan dan kondisi iklim lokal, menunjukkan perlunya pendekatan adaptif yang disesuaikan dengan konteks spesifik. Patil et al., (2025) melalui meta-analisis global menunjukkan bahwa tutupan kanopi 40-60% menghasilkan keseimbangan optimal antara produksi kopi, sequestrasi karbon, dan konservasi biodiversitas untuk sebagian besar kondisi agroekologi, meskipun optimal lokal dapat bervariasi.

Dimensi sosial mencakup tidak hanya aspek ekonomi tetapi juga faktor kelembagaan, pengetahuan lokal, dan partisipasi masyarakat. Rigal et al., (2018) mendemonstrasikan bahwa pengetahuan lokal petani tentang penyediaan jasa ekosistem oleh pohon penangung dapat menjadi basis penting untuk memperkuat kemunculan lanskap agroforestri kopi yang berkelanjutan di barat daya Tiongkok. Integrasi pengetahuan ekologi lokal dengan pengetahuan ilmiah modern menciptakan sistem manajemen adaptif yang lebih robust dan relevan secara kontekstual.

Meter et al., (2022) lebih lanjut mengemukakan pentingnya inovasi organisasi melalui platform dialog dan kolaborasi antar stakeholder dalam rantai nilai kopi untuk memfasilitasi transisi menuju sistem agroforestri yang berkelanjutan.

Tabel 1. Ringkasan Indikator Kunci Kontribusi Agroforestri Kopi terhadap Pemulihan Ekosistem

Aspek	Indikator
Sekuestrasi Karbon	Cadangan karbon di atas tanah
Biodiversitas	Jumlah spesies pohon asli
Konservasi Tanah	Pengurangan laju erosi
Ekonomi	Kontribusi terhadap pendapatan petani
Iklim Mikro	Penurunan suhu udara

Sumber: (Anhar et al., 2025); (Vallejos-Torres et al., 2024); (Kishaija et al., 2025); (Swassono et al., 2025); (Osuri et al., 2025); (Lucie et al., 2020); (Naharuddin, 2018); (Horas Irwan Simamora, 2024); (Bilen et al., 2023)

Tantangan dan peluang dalam implementasi agroforestri kopi untuk pemulihan ekosistem

Meskipun bukti ilmiah menunjukkan benefit multidimensi dari agroforestri kopi, adopsi dan implementasi sistem ini menghadapi berbagai tantangan teknis, ekonomi, sosial, dan

kebijakan. Ratnawati et al., (2024) mengidentifikasi bahwa risiko produksi yang lebih tinggi pada fase transisi dari sistem konvensional ke agroforestri, terutama terkait dengan penurunan sementara produktivitas kopi selama pohon penaung masih muda, menjadi barrier signifikan bagi adopsi oleh petani yang menghadapi constraints ekonomi jangka pendek. Periode transisi ini dapat berlangsung 3-5 tahun sebelum sistem agroforestri mencapai produktivitas stabil dan mulai menghasilkan benefit penuh dari diversifikasi produk (Rijal, 2019).

Akses terhadap pasar kopi khusus yang bersedia membayar premium untuk kopi agroforestri merupakan faktor kritis dalam viabilitas ekonomi sistem ini. Meter et al., (2022) menunjukkan bahwa model "Coffee Agroforestry Business-driven Cluster" menunjukkan adanya komitmen pembelian produk dengan harga 1,3-2 kali harga standar dapat menjamin semua aktor, termasuk petani. Namun, akses terhadap pasar khusus ini tidak merata dan sering terbatas pada petani yang memiliki konektivitas dengan buyer internasional atau NGO yang memfasilitasi link tersebut (Horas Irwan Simamora, 2024).

Tabel 2. Tantangan dan Strategi dalam Implementasi Agroforestri Kopi

Kategori	Tantangan	Strategi Mengatasi
Teknis	Kompleksitas manajemen multiple species; Penurunan produktivitas fase transisi	Pelatihan intensif; Pendampingan berkelanjutan; Demplot dan farmer field school
Ekonomi	Akses pasar specialty terbatas; Modal investasi awal tinggi	Pengembangan value chain lokal; Micro-credit schemes; Payment for ecosystem services
Kelembagaan	Kelembagaan petani lemah; Koordinasi antar stakeholder rendah	Penguatan kelompok tani; Platform multi-stakeholder; Business-driven cluster
Kebijakan	Dukungan kebijakan terbatas; Insentif tidak memadai	Integrasi dalam NDCs; Subsidi transisi; Sertifikasi dan premium pricing
Perubahan Iklim	Ketidakpastian iklim meningkat; Risiko melampaui kapasitas adaptif	Adaptive management; Monitoring kontinyu; Diversifikasi spesies penaung

Sumber: (Ratnawati et al., 2024); (Rijal, 2019); (Meter et al., 2022); (Bilen et al., 2023); (Byrareddy et al., 2024); (Patil et al., 2025)

Kapasitas teknis petani dalam mengelola sistem agroforestri yang kompleks juga menjadi tantangan. Sistem agroforestri mengelola berbagai jenis tanaman dan pohon yang masing-masing memiliki kebutuhan ekologi yang berbeda, pemangkasan reguler untuk mengoptimalkan naungan, dan integrasi praktik konservasi tanah dan air. Bilen et al., (2023) menunjukkan bahwa training dan pendampingan

teknis yang intensif diperlukan untuk membangun kapasitas petani dalam merancang, mengimplementasikan, dan mengelola sistem agroforestri secara efektif. Platform inovasi dan dialog yang melibatkan peneliti, penyuluh, dan petani dapat menjadi mekanisme efektif untuk transfer pengetahuan dan teknologi serta pembelajaran bersama (Meter et al., 2022).

Perubahan iklim yang marak terjadi menciptakan ketidakpastian baru untuk sistem produksi kopi secara global. Byrareddy et al., (2024) memperingatkan bahwa meskipun agroforestri dapat meningkatkan resiliensi, perubahan iklim yang ekstrem dapat melampaui kapasitas adaptif sistem agroforestri, terutama jika ambang batas suhu kritis terlampaui atau perubahan pola curah hujan sangat drastis. Patil et al. (2025) menunjukkan bahwa agroforestri dapat mengurangi risiko iklim terhadap produksi kopi, tetapi besar kecilnya manfaat tersebut berbeda-beda tergantung lokasi dan tingkat intensitas pengelolaannya.

Sisi peluang, makin banyak konsumen di seluruh dunia yang peduli pada keberlanjutan dan sumber kopi yang etis, sehingga permintaan terhadap kopi yang diproduksi secara berkelanjutan terus meningkat. Pappo et al. (2025) menunjukkan bahwa skema pembayaran jasa ekosistem yang menggabungkan insentif untuk penyerapan karbon, pelestarian keanekaragaman hayati, dan mutu produk kopi dapat memberikan dorongan ekonomi yang kuat bagi petani untuk menerapkan sistem agroforestri kopi. Perkembangan teknologi remote sensing dan carbon accounting juga memfasilitasi monitoring dan verification yang lebih efisien untuk skema payment for ecosystem services. Kebijakan nasional dan internasional yang mendukung restorasi ekosistem dan mitigasi perubahan iklim membuka peluang untuk integrasi agroforestri kopi dalam program-program berskala besar (Gebremariam et al., 2025).

Kesimpulan

Berdasarkan sintesis sistematis terhadap 22 studi ilmiah periode 2018-2025, penelitian ini mengkonfirmasi bahwa sistem agroforestri kopi merupakan pendekatan multifungsi yang efektif untuk pemulihan ekosistem hutan di bentang lahan pertanian tropis. Sistem ini mampu mengintegrasikan tujuan konservasi biodiversitas, mitigasi perubahan iklim, dan peningkatan kesejahteraan masyarakat petani secara sinergis. Kontribusi ekologi agroforestri kopi meliputi penyimpanan cadangan karbon 40-190 ton C/ha, dukungan regenerasi 90+ spesies pohon asli, pengurangan erosi 60-70%, dan regulasi iklim mikro dengan penurunan suhu 2-

4°C. Kontribusi ekonomi ditunjukkan melalui peningkatan pendapatan petani hingga 66,6% melalui diversifikasi produk dan peningkatan kualitas kopi yang memungkinkan akses ke pasar premium. Keberhasilan implementasi agroforestri kopi sebagai mekanisme restorasi ekosistem memerlukan pendekatan holistik yang mengintegrasikan dimensi ekologi, ekonomi, dan sosial. Desain sistem yang optimal perlu mempertimbangkan trade-off antara produksi kopi dan penyediaan jasa ekosistem, dengan tutupan kanopi 40-60% menunjukkan keseimbangan yang baik untuk sebagian besar kondisi agroekologi. Integrasi pengetahuan ekologi lokal dengan pengetahuan ilmiah modern, penguatan kelembagaan petani, dan pengembangan model organisasi inovatif seperti *Coffee Agroforestry Business-driven Cluster* merupakan faktor kunci dalam meningkatkan adopsi dan keberlanjutan sistem agroforestri kopi. Walaupun menghadapi tantangan seperti pengelolaan yang rumit, sulitnya akses pasar, keterbatasan kemampuan teknis petani, dan ketidakpastian cuaca akibat iklim, peluang untuk memperluas agroforestri kopi semakin besar berkat meningkatnya permintaan kopi spesial di pasar, perkembangan program pembayaran jasa lingkungan, serta kesesuaian dengan target global seperti SDGs dan Paris Agreement.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih penulis ucapkan kepada Program Studi Magister Pertanian Lahan Kering, Pascasarjana Universitas Mataram, Mataram, Indonesia yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan artikel ini.

Referensi

- Abebaw, S. E., Yeshiwas, E. M., & Feleke, T. G. (2025). A Systematic Review on the Role of Agroforestry Practices in Climate Change Mitigation and Adaptation. In *Climate Resilience and Sustainability* (Vol. 4, Issue 2). John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/cli2.70018>
- Anhar, A., Hayati, D., Muslih, A. M., Siregar, A. W., Jamilah, M., Baihaqi, A., Muzaifa, M., Abubakar, Y., & Hanan, A. (2025). Comparing aboveground carbon stocks in

- coffee agroforestry and secondary and primary forests in Gayo Highlands, Indonesia. *Frontiers in Forests and Global Change*, 8. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2025.1541302>
- Bilen, C., El Chami, D., Mereu, V., Trabucco, A., Marras, S., & Spano, D. (2023). A Systematic Review on the Impacts of Climate Change on Coffee Agrosystems. In *Plants* (Vol. 12, Issue 1). MDPI. <https://doi.org/10.3390/plants12010102>
- Byrareddy, V. M., Kath, J., Kouadio, L., Mushtaq, S., & Geethalakshmi, V. (2024). Assessing scale-dependency of climate risks in coffee-based agroforestry systems. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58790-5>
- Gebremariam, M. S., Alito, T. A., & Fakana, S. T. (2025). Contribution of homegarden agroforestry to adaptation strategy of climate change in Boloso Sore Woreda, Wolaita zone, South Ethiopia. *Discover Environment*, 3(1). <https://doi.org/10.1007/s44274-025-00352-1>
- Giudice Badari, C., Bernardini, L. E., de Almeida, D. R. A., Brancalion, P. H. S., César, R. G., Gutierrez, V., Chazdon, R. L., Gomes, H. B., & Viani, R. A. G. (2020). Ecological outcomes of agroforests and restoration 15 years after planting. *Restoration Ecology*, 28(5), 1135–1144. <https://doi.org/10.1111/rec.13171>
- Horas Irwan Simamora. (2024). KontribusiPertanian Agroforestry Terhadap Pendapatan Usaha TaniKopi. *Fakultas Pertanian, Universitas HKBP Nommensen Medan*.
- Kishaija, N., Ocwa, A., Kuunya, R., Ssemugenze, B., & Heil, B. (2025). Climate change mitigation and livelihood components under smallholder coffee farming: a bibliographic and systematic review. In *Agriculture and Food Security* (Vol. 14, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s40066-025-00522-7>
- Lucie, F. T., Alex, B. D. E., Marie, C. M. S., Pricelia, T., & Junior, N. (2020). Woody species diversity conservation and carbon sequestration potential of coffee agroforestry systems in the Western Region of Cameroon. *Journal of Horticulture and Forestry*, 12(2), 35–48. <https://doi.org/10.5897/jhf2020.0627>
- Meter, A., Penot, E., Vaast, P., Etienne, H., Ponçon, E., & Bertrand, B. (2022). Local value-chains dedicated to sustainable production (coffee agroforestry business-driven clusters or CaFC): a new organizational model to foster social and environmental innovations through farm renovation. *Open Research Europe*, 2, 61. <https://doi.org/10.12688/openreseurope.14570.1>
- Naharuddin, N. (2018). Sistem Pertanian Konservasi Pola Agroforestri dan Hubungannya dengan Tingkat Erosi di Wilayah Sub-DAS Wuno, Das Palu, Sulawesi Tengah. *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*, 6(3), 183. <https://doi.org/10.14710/jwl.6.3.183-192>
- Niguse, G., Iticha, B., Kebede, G., & Chimdi, A. (2022). Contribution of coffee plants to carbon sequestration in agroforestry systems of Southwestern Ethiopia. *Journal of Agricultural Science*, 160(6), 440–447. <https://doi.org/10.1017/S0021859622000624>
- Osuri, A. M., Kumar, V. S., Dutta, V., Vidwath, S. M., Cariappa, K. M., Purnesh, C. D., & Shetty, S. (2025). Shade coffee agroforests as native plant sources for restoration. *Journal of Applied Ecology*, 62(6), 1330–1336. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.70046>
- Pappo, E., Cook-Patton, S., Beillouin, D., Cardinael, R., Cesario, F., Culbertson, K., Griffey, V., Hall, J., Hyppolite, S. S., Lovdal, A., Melikov, C., Rosenstock, T., Steward, P., Hart, D. T., & Bennett, R. (2025). Carbon payment strategies in coffee agroforests shape climate and biodiversity outcomes. In *Communications Earth and Environment* (Vol. 6, Issue 1). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02574-w>
- Parid Pakaya, Dewi Wahyuni K. Baderan, & Marini Susanti Hamidun. (2025). Efektivitas Sistem Agroforestri dalam Meningkatkan Kesehatan Tanah dan

- Produktivitas Pertanian. *Hidroponik : Jurnal Ilmu Pertanian Dan Teknologi Dalam Ilmu Tanaman*, 2(2), 12–27. <https://doi.org/10.62951/hidroponik.v2i2.329>
- Patil, S., Rudragouda, C. S., Govindappa, M., Roobakkumar, A., Machenahalli, S., Jingade, P., Nadaf, S. A., Mote, K., Uma, M. S., Tintumol, K., Yashasvi, H. R., Yashaswini, K. P., Chethan, J., Huded, A. K. C., Ranjini, A. P., Nandagopal, N., & Senthilkumar, M. (2025). Mitigating climate risks in coffee production through agroforestry: global evidence from a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Climate*, 7. <https://doi.org/10.3389/fclim.2025.16990>
- Ratnawati, M. I., Fariyanti, A., & Utami, A. D. (2024). Risiko Produksi Kopi Arabika Sistem Agroforestri Dan Non Agroforestri Di Kabupaten Bandung, Jawa Barat. *Forum Agribisnis*, 14(2), 30–40. <https://doi.org/10.29244/fagb.14.2.30-40>
- Rice, R. A. (2018). Coffee in the crosshairs of climate change: agroforestry as abatis. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 42(9), 1058–1076. <https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1476428>
- Rigal, C., Vaast, P., & Xu, J. (2018). Using farmers' local knowledge of tree provision of ecosystem services to strengthen the emergence of coffee-agroforestry landscapes in southwest China. *PLoS ONE*, 13(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204046>
- Rijal, S. (2019). Pengembangan Agroforestry Kopi dalam Mendukung Peran Hutan di Kawasan Highland Kabupaten Jeneponto. *Jurnal Hutan Dan Masyarakat*, 11(2), 150. <https://doi.org/10.24259/jhm.v11i2.6030>
- Swassono, P., Mulya, J., Wijayanto, N., Permatasari, A., & Hartoyo, P. (2025). Keanekaragaman Vegetasi Dan Cadangan Karbon Pada Sistem Agroforestri Kebun Bangelan, Jawa Timur Vegetation Diversity and Carbon Stock in Agroforestry Systems Bangelan Estate, East Java. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 16(02).
- Vallejos-Torres, G., Gaona-Jimenez, N., Pichis-García, R., Ordoñez, L., García-Gonzales, P., Quinteros, A., Lozano, A., Saavedra-Ramírez, J., Tuesta-Hidalgo, J. C., Reategui, K., Macedo-Córdova, W., Baselly-Villanueva, J. R., & Marín, C. (2024). Carbon reserves in coffee agroforestry in the Peruvian Amazon. *Frontiers in Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1410418>