



## PERAN LEGUM DALAM SISTEM AGROFORESTRI SEBAGAI KONTRIBUSI TERHADAP KEBERLANJUTAN PERTANIAN DAN KETAHANAN PANGAN

Sabila Awanis<sup>1</sup>, Syekh Zufadli Arofah Deli<sup>\*2</sup>, Hatika Rahmawan<sup>2</sup>,  
Nor Isnaeni Dwi Arista<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Fakultas Pertanian, Program Studi Agroteknologi,  
Universitas Jenderal Soedirman, Banyumas  
[\\*syekh.zufadli@unsoed.ac.id](mailto:syekh.zufadli@unsoed.ac.id)

### Abstrak

Sistem agroforestri terbukti efektif dalam meningkatkan produktivitas lahan, kualitas lingkungan, dan ketahanan pangan. Tanaman legum, melalui kemampuan fiksasi nitrogen biologis, berperan penting dalam memperbaiki kesuburan tanah dan mendukung keberlanjutan sistem pertanian. Meskipun demikian, manfaat legum dalam agroforestri dilaporkan bervariasi antar spesies, kondisi agroekologi, dan praktik pengelolaan, serta hasil penelitian yang ada masih menunjukkan temuan yang tidak konsisten. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara komprehensif peran legum dalam sistem agroforestri, mengidentifikasi tantangan utama dalam pemilihan spesies dan pengelolaan, serta merumuskan implikasinya terhadap keberlanjutan pertanian dan ketahanan pangan. Metode yang digunakan adalah systematic literature review dengan pendekatan PRISMA, melalui penelusuran artikel ilmiah bereputasi pada periode 2014–2024. Hasil kajian menunjukkan bahwa agroforestri berbasis legum memberikan manfaat ekologis penting, seperti peningkatan kesuburan dan karbon tanah, pengendalian erosi, peningkatan biodiversitas, serta pengurangan ketergantungan pada pupuk kimia. Namun, efektivitas manfaat tersebut sangat ditentukan oleh kesesuaian spesies legum, desain sistem agroforestri, dan kondisi lokal. Penelitian ini menegaskan pentingnya pendekatan spesifik lokasi dalam penerapan agroforestri berbasis legum serta memberikan dasar ilmiah bagi pengembangan strategi agroforestri yang lebih adaptif dan berkelanjutan, khususnya di wilayah tropis seperti Indonesia.

**Kata Kunci:** ekologi, integrasi, interaksi, kacang- kacangan, keanekaragaman hayati

## THE ROLE OF LEGUMES IN AGROFORESTRY SYSTEMS AS A CONTRIBUTION TO AGRICULTURAL SUSTAINABILITY AND FOOD SECURITY

### Abstract

Agroforestry systems have been proven effective in enhancing land productivity, environmental quality, and food security. Leguminous plants play an important role in agroforestry due to their ability to biologically fix nitrogen, improve soil fertility, and support agricultural sustainability. However, existing studies report variable and sometimes inconsistent outcomes regarding the benefits of legumes, depending on species selection, agroecological conditions, and management practices. This study aims to comprehensively review the role of legumes in agroforestry systems, identify key challenges related to species selection and management, and assess their implications for agricultural sustainability and food security. A systematic literature review was conducted following the PRISMA framework, focusing on peer-reviewed articles published between 2014 and 2024. The results indicate that legume-based agroforestry systems provide important ecological benefits, including improved soil fertility and carbon stocks, erosion control, enhanced biodiversity, and reduced dependence on synthetic fertilizers. Nevertheless, the magnitude and consistency of these benefits are highly dependent on site-specific conditions, agroforestry design, and appropriate management strategies. This review highlights the importance of adopting location-specific approaches in implementing legume-based agroforestry and provides a scientific basis for developing more adaptive and sustainable agroforestry strategies, particularly in tropical regions such as Indonesia.

**Keywords:** ecology, integration, interaction, legumes, biodiversity

### PENDAHULUAN

Peningkatan produktivitas pertanian secara berkelanjutan menjadi fokus utama dalam upaya memenuhi kebutuhan pangan global yang semakin berkembang. Sistem pertanian yang ramah lingkungan dan berkelanjutan sangat penting dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan degradasi lahan. Sistem agroforestri yang mengintegrasikan pohon dengan tanaman pertanian atau peternakan secara sengaja di suatu area dikenal sebagai salah satu solusi yang efektif dalam mengatasi tantangan tersebut (Santiago-Freijanes *et al.*, 2018). Agroforestri berperan dalam meningkatkan produktivitas tanah,

keanekaragaman hayati, mendorong pembentukan agregat, serta mitigasi perubahan iklim melalui penyerapan karbon (Fahad *et al.*, 2022). Agroforestri menyediakan layanan ekosistem penting dan meningkatkan resiliensi terhadap perubahan iklim (Dissanayaka *et al.*, 2023; Hossain, 2023). Secara sosial, agroforestri memperkuat ketahanan pangan lokal dengan menstabilkan pendapatan (Louman *et al.*, 2024). Secara keseluruhan sistem ini menjadi dasar utama sistem pertanian berkelanjutan yang menggabungkan keuntungan ekonomi, kelestarian lingkungan dan kesejahteraan sosial. Efektivitas praktik agroforestri bergantung pada pemilihan spesies tanaman yang tepat untuk mencapai manfaat optimal.

Legum menjadi salah satu jenis tanaman yang potensial untuk diterapkan dalam sistem agroforestri. Legum merupakan tanaman pangan kedua yang dikonsumsi oleh masyarakat di seluruh dunia setelah sereal. Kacang-kacangan kaya akan protein, karbohidrat, serat pangan, vitamin, omega-3, asam lemak dan beberapa mikronutrien penting (Fe, Ca, Zn, Mg, folat, dan tokoferol) (Abobatta *et al.*, 2021). Rööös *et al.*, (2020) menambahkan bahwa kandungan protein biji kacang-kacangan bergantung pada jenis, spesies, kultivar dan cara tumbuhnya. Tanaman legum dikenal memiliki kemampuan dalam memperbaiki kualitas tanah melalui fiksasi nitrogen sehingga dapat mengurangi input pupuk anorganik dan melestarikan sumber daya alam (Duchene *et al.*, 2017). Legum menjadi salah satu komponen penting dalam sistem agroforestri yang mendukung keberlanjutan pertanian dan meningkatkan ketahanan pangan. Sistem agroforestri berbasis legum memberikan manfaat baik ekologis, sosial dan ekonomi. Agroforestri berbasis legum dapat meningkatkan stok karbon tanah, memperbaiki kandungan bahan organik, dan meningkatkan aktivitas mikroba tanah (Ohiwal *et al.*, 2025), hasil yang sama ditunjukkan pada wilayah tropis seperti Indonesia dan Timor Leste (Guterres *et al.*, 2022). Tanaman legum sebagai tanaman sela di antara tanaman pokok seperti karet dan kopi juga dapat mengurangi erosi tanah, meningkatkan kapasitas retensi air, dan menyediakan pakan ternak yang dapat meningkatkan pendapatan petani secara berkelanjutan. Beberapa spesies legum seperti *Cratylia argentea*, *Gliricidia sepium* mampu memperbaiki kesuburan tanah dan meningkatkan biomassa tanaman (Duarte *et al.*, 2025), *Arachis hypogaea* mampu meningkatkan kandungan bahan organik dalam

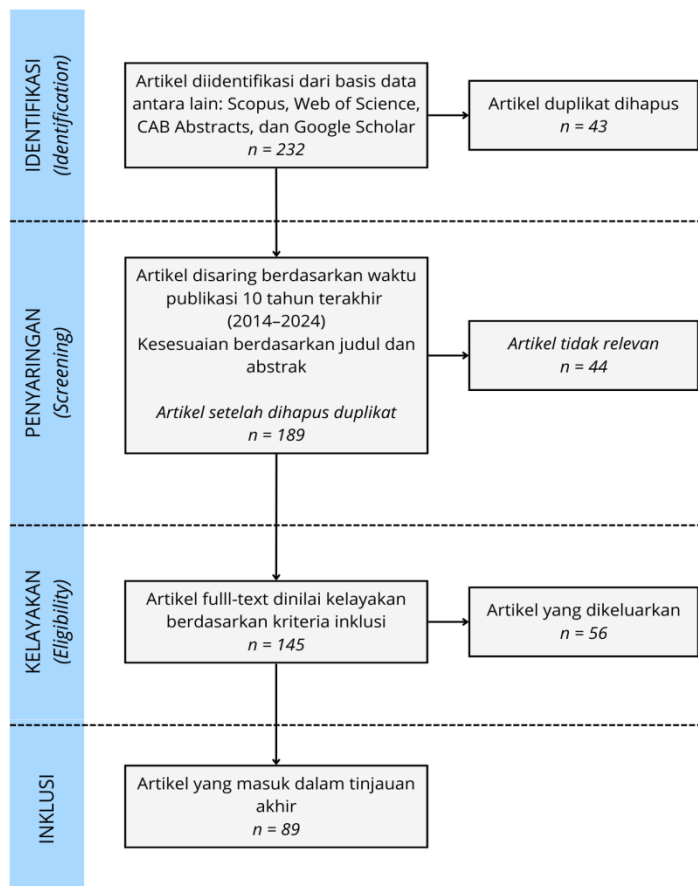
tanah, meningkatkan kapasitas tukar kation, dan memperbaiki struktur tanah (Fahruni, 2018; Fan, 2023).

Meskipun legum memiliki potensi besar dalam meningkatkan keberlanjutan sistem agroforestri melalui fiksasi nitrogen biologis dan peningkatan fungsi ekologi tanah, penerapannya di lapangan masih menghadapi berbagai tantangan, antara lain keberhasilan agroforestri berbasis legum sangat dipengaruhi oleh variasi spesies legum, kondisi agroekologi lokal, serta praktik manajemen yang diterapkan. Berbagai studi melaporkan hasil yang tidak konsisten terkait peran legum, baik sebagai tanaman penunjang maupun sebagai kompetitor terhadap tanaman utama, terutama dalam hal pemanfaatan cahaya, air, dan hara. Hingga saat ini, belum terdapat sintesis literatur yang komprehensif yang mengintegrasikan pengaruh spesies legum, pola interaksi antartanaman, dan strategi pengelolaan. Oleh karena itu, penting untuk memahami interaksi antara legum dan tanaman lainnya dalam sistem agroforestri. Penelitian ini bertujuan untuk (1) menganalisis peran tanaman legum dalam sistem agroforestri, (2) mengidentifikasi tantangan dalam pemilihan spesies legum yang sesuai dengan kondisi agroekologi lokal dan teknik pengelolaan yang tepat untuk mengoptimalkan manfaat agroforestri berbasis legum, (3) memberikan rekomendasi praktis bagi petani dan pengelola agroforestri dalam penerapan sistem agroforestri berbasis legum untuk mendukung ketahanan pangan dan keberlanjutan pertanian di Indonesia.

## METODE

Metode yang digunakan dalam penyusunan artikel ini menggunakan pendekatan *systematic literature review* untuk merangkum dan menganalisis perkembangan terbaru terkait peran kacang-kacangan dalam sistem agroforestri serta kontribusinya terhadap keberlanjutan pertanian dan ketahanan pangan. Penelusuran literatur dilakukan pada beberapa basis data ilmiah bereputasi, yaitu *Scopus*, *Web of Science*, *CAB Abstracts*, dan *Google Scholar*. Pencarian literatur menggunakan kombinasi kata kunci terstruktur, antara lain: *legume-based agroforestry*, *nitrogen fixation*, *soil health*, *biodiversity*, *sustainable agriculture*, dan *food security*. Artikel ilmiah yang ditelusuri dibatasi pada publikasi 10 tahun terakhir (2014–2024) untuk memastikan keterbaruan informasi. Kriteria inklusi meliputi: (1) artikel jurnal ilmiah bereputasi dan *peer-reviewed*; (2) penelitian yang membahas

peran kacang-kacangan dalam sistem agroforestri atau sistem pertanian berkelanjutan; (3) artikel berbahasa Inggris; dan (4) tersedia teks lengkap. Sementara itu, kriteria eksklusi mencakup: (1) artikel non-ilmiah (*prosiding non-reviewed*, opini, atau laporan populer); serta (2) penelitian yang tidak secara langsung membahas kacang-kacangan atau agroforestri.



Gambar 1. diagram alir proses peninjauan pustaka dalam kerangka Prisma

Proses seleksi artikel dilakukan secara bertahap, meliputi identifikasi, penyaringan, penilaian kelayakan, dan inklusi akhir. Proses penelusuran awal menghasilkan 232 artikel, yang kemudian dilakukan identifikasi dan menghapus sebanyak 43 artikel duplikat sehingga tersisa 189 artikel, langkah selanjutnya artikel disaring berdasarkan waktu publikasi, judul dan abstrak dengan mengeluarkan sebanyak 44 artikel yang tidak relevan sehingga tersisa 145 artikel. Selanjutnya, dilakukan evaluasi kelayakan melalui telaah teks lengkap berdasarkan kriteria inklusi-eksklusi dengan mengeluarkan sebanyak 56 artikel, sehingga diperoleh 89 artikel yang digunakan dalam peninjauan akhir. Data dari artikel terpilih kemudian diekstraksi dan dikelompokkan secara tematik untuk menjawab empat fokus kajian utama, yaitu mekanisme perbaikan tanah, manfaat agronomis dan ekosistem, kontribusi terhadap biodiversitas, serta strategi pengelolaan agroforestri berbasis kacang-kacangan. Untuk memperjelas alur seleksi literatur, diagram alir proses peninjauan pustaka dalam kerangka Prisma yang disajikan pada gambar 1.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Mekanisme Perbaikan Tanah

Tanaman legum memberikan kontribusi fundamental terhadap kualitas tanah melalui mekanisme fiksasi nitrogen biologis (BNF), penambahan bahan organik, serta peningkatan aktivitas mikroorganisme tanah (Soumaré *et al.*, 2020). Proses fiksasi ini dimungkinkan oleh simbiosis antara tanaman dengan bakteri *Rhizobium* yang mengubah nitrogen atmosfer menjadi amonia yang tersedia bagi tanaman. Berdasarkan studi pemodelan, kemampuan fiksasi spesies tertentu seperti kedelai diperkirakan mencapai  $132 \pm 21$  kg N ha<sup>-1</sup>, meskipun hasil ini sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah dan variabel iklim (Ma *et al.*, 2022). Nitrogen yang dihasilkan kemudian didistribusikan ke tanaman non-legum melalui dekomposisi residu, eksudat akar, atau transfer langsung di zona perakaran (Luo *et al.*, 2024).

Terdapat pola yang menunjukkan bahwa efektivitas kontribusi nitrogen legum tidak bersifat seragam, melainkan memperlihatkan kontradiksi berdasarkan status kesuburan tanah awal. Pada lahan dengan ketersediaan hara rendah, aktivitas nodulasi dan fiksasi cenderung meningkat secara signifikan sebagai mekanisme

kompensasi hara. Sebaliknya, pada tanah yang memiliki kandungan nitrogen tinggi, efisiensi simbiosis sering kali menurun karena tanaman cenderung memanfaatkan nitrogen tanah yang tersedia daripada melakukan fiksasi yang membutuhkan energi tinggi. Temuan ini didukung oleh fakta bahwa spesies seperti *Gliricidia sepium* menunjukkan peran yang lebih krusial sebagai penyedia hara pada lahan marginal dibandingkan pada lahan yang sudah subur (Mengistu *et al.*, 2002). Hal ini menunjukkan pola bahwa manfaat legum paling optimal dirasakan pada lahan marginal atau terdegradasi.

Selain perbaikan aspek kimiawi, legum secara konsisten meningkatkan kualitas fisik tanah melalui penambahan Karbon Organik Tanah (SOC) dan stabilitas agregat (Li *et al.*, 2024). Penumpukan biomassa dari sisa akar dan tajuk tanaman berkontribusi pada peningkatan kapasitas retensi air yang sangat penting dalam menghadapi degradasi lahan. Spesies seperti *Calliandra calothyrsus* terbukti mampu memperbaiki lahan terdegradasi dengan meningkatkan kelembaban tanah sekaligus menyumbangkan nitrogen yang responsif terhadap keberadaan hara mikro (Barron *et al.*, 2008). Pola ini menunjukkan bahwa layanan ekosistem legum mencakup perlindungan tanah secara fisik dari erosi sekaligus peningkatan kapasitas penyimpanan nutrisi yang esensial (Rodríguez *et al.*, 2022).

Analisis sintesis menunjukkan tren bahwa penggunaan legum secara strategis mampu menyubstitusi penggunaan pupuk nitrogen kimia pada kisaran 30-40%. Namun, terdapat potensi kontradiksi dalam manajemen hara yaitu dekomposisi residu legum yang sangat cepat dapat memicu pelepasan emisi gas rumah kaca jika tidak disinkronkan dengan kebutuhan tanaman utama. Kecepatan mineralisasi hara dari spesies seperti *Leucaena leucocephala* dan *Sesbania sesban* memberikan suplai N yang signifikan bagi sistem (Ndoye *et al.*, 1996; Bhuiyan & Zaman, 1996), namun pengelolaan waktu aplikasi menjadi faktor penentu agar hara tersebut tidak hilang melalui pencucian tanah.

Efektivitas mekanisme perbaikan tanah oleh legum sangat bergantung pada sinkronisasi antara proses pelepasan hara dan kebutuhan spesifik sistem agroforestri. Pola yang ditemukan menegaskan bahwa integrasi legum harus dikelola sebagai bagian dari strategi manajemen tanah adaptif yang mempertimbangkan interaksi antarspesifik dan kondisi agroekologi lokal. Pembahasan ini

memperkuat posisi legum sebagai pilar utama dalam pemulihan fungsi tanah dan keberlanjutan produktivitas lahan jangka Panjang.

## **2. Manfaat Agronomis dan Ekosistem**

Tanaman legum memainkan peran strategis dalam menyediakan berbagai layanan ekosistem yang mendukung keberlanjutan sistem agroforestri di wilayah tropis. Tanaman ini secara konsisten memberikan manfaat ganda melalui perlindungan permukaan tanah oleh tajuk serta penguatan struktur tanah oleh sistem perakaran yang kompleks. Analisis literatur menunjukkan pola bahwa integrasi legum pohon mampu meningkatkan resiliensi tanaman utama terhadap fluktuasi iklim ekstrem seperti kekeringan panjang. Spesies tertentu seperti *Calliandra calothyrsus* terbukti efektif dalam memperbaiki lahan terdegradasi sekaligus meningkatkan kapasitas kelembapan tanah secara signifikan (Barron *et al.*, 2008). Peneliti menemukan tren positif di mana keberadaan legum secara agronomis mampu meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya oleh tanaman pendamping di sekitarnya. Hal ini sejalan dengan pandangan bahwa layanan ekosistem legum bersifat multidimensi dan saling memperkuat stabilitas lingkungan secara keseluruhan (Rodríguez *et al.*, 2022). Secara keseluruhan, integrasi ini memberikan kontribusi besar pada stabilitas jangka panjang dari sistem agroekosistem yang dikelola.

Pengendalian erosi merupakan salah satu manfaat ekosistem paling signifikan yang dihasilkan oleh vegetasi legum, terutama pada lahan dengan kemiringan curam. Terdapat pola yang menunjukkan bahwa efektivitas penahanan tanah sangat ditentukan oleh karakteristik fisik dan arsitektur perakaran dari masing-masing spesies legum. Legum dengan perakaran dalam terbukti memberikan stabilitas lereng yang lebih unggul jika dibandingkan dengan spesies yang memiliki sistem perakaran dangkal. Namun, peneliti menemukan kontradiksi di mana penanaman legum tanpa manajemen jarak tanam yang tepat justru berisiko meningkatkan erosi lokal akibat aliran permukaan yang terpusat. Akumulasi biomassa dari guguran daun legum secara bertahap membentuk lapisan mulsa alami yang efektif melindungi agregat tanah dari hantaman air hujan secara langsung. Kekuatan tarik akar (*root tensile strength*) legum menjadi faktor penentu utama dalam mengikat partikel tanah pada kondisi geomorfologi lahan yang sangat rawan (Rodríguez *et al.*, 2022). Fokus pada manajemen perakaran

menjadi sama pentingnya dengan manajemen tajuk dalam upaya konservasi tanah dan air yang efektif.

Tren penelitian terbaru menunjukkan adanya sinergi strategis antara pemanfaatan vegetasi legum dan penerapan teknik rekayasa mekanis dalam mitigasi degradasi lahan. Kombinasi antara tanaman legum dengan struktur pendukung seperti geo-sintetik memberikan perlindungan ganda yang terbukti lebih efektif terhadap risiko kehilangan tanah permukaan. Pendekatan terpadu ini mampu mengatasi keterbatasan metode biologis murni yang biasanya membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai fase pertumbuhan tajuk yang optimal. Hasil sintesis mengungkapkan bahwa model agroforestri yang mengintegrasikan kedua elemen tersebut menunjukkan tingkat keberhasilan pemulihan lahan kritis yang jauh lebih cepat. Sinergi ini juga mampu meminimalkan biaya pemeliharaan jangka panjang karena perakaran legum secara alami akan memperkuat struktur mekanis yang telah dibangun sebelumnya. Praktik inovatif ini menawarkan solusi teknis yang relevan bagi tantangan pengelolaan lahan marginal yang membutuhkan penanganan segera namun tetap berkelanjutan. Keberhasilan sinergi ini menegaskan pentingnya kolaborasi antara pendekatan ekologis dan rekayasa teknik dalam skala lansekap.

Studi kasus pada spesies legum tertentu memberikan gambaran nyata mengenai manfaat agronomis yang dapat dirasakan langsung oleh petani di berbagai wilayah tropis. Integrasi *Gliricidia sepium* dalam sistem pertanian di Indonesia menunjukkan keberhasilan dalam menyediakan sumber pakan ternak berkualitas tinggi secara konsisten sepanjang tahun. Spesies ini diketahui mampu menghasilkan biomassa yang signifikan serta memiliki toleransi yang sangat tinggi terhadap praktik pemangkasan berulang untuk kebutuhan pakan (Mengistu *et al.*, 2002). Di sisi lain, pemanfaatan kotoran ternak dari sistem pertanian berbasis legum juga memberikan kontribusi besar pada siklus pemupukan organik yang berkelanjutan di pedesaan (Washaya & Washaya, 2023). Perbandingan antar wilayah menunjukkan bahwa adaptabilitas legum terhadap kondisi agroekologi lokal merupakan kunci utama dalam mengoptimalkan manfaat agronomis yang diharapkan. Temuan ini menegaskan bahwa peran legum tidak hanya terbatas pada perbaikan lingkungan fisik saja, tetapi juga pada peningkatan stabilitas ekonomi rumah tangga petani. Kontribusi

ekonomi ini menjadi faktor pendorong utama bagi petani untuk mengadopsi sistem agroforestri secara lebih luas.

Sintesis dari berbagai temuan penelitian menunjukkan pola bahwa manfaat ekosistem legum berkaitan erat dengan ketepatan strategi pengelolaan harian di lapangan. Terdapat tren di mana manfaat ekologis sering kali terlihat lebih dominan pada fase awal restorasi lahan sebelum keuntungan agronomis langsung dapat dipanen. Tantangan utama yang sering muncul dalam literatur adalah sinkronisasi waktu pertumbuhan antara legum dengan tanaman utama guna menghindari kompetisi ruang dan cahaya (Kokkini *et al.*, 2025). Meskipun terdapat risiko kompetisi hara, integrasi yang terencana dengan baik terbukti mampu menciptakan keseimbangan antara produktivitas lahan dan pelestarian fungsi lingkungan hidup. Penelitian ini menekankan bahwa keberlanjutan sistem agroforestri sangat bergantung pada kemampuan pengelola dalam memanfaatkan layanan fungsional legum secara maksimal. Rekomendasi ke depan diarahkan pada eksplorasi spesies legum lokal yang memiliki potensi adaptasi tinggi terhadap perubahan iklim global yang ekstrem. Penguatan kapasitas petani dalam teknik manajemen tajuk dan akar menjadi syarat mutlak bagi tercapainya tujuan agroforestri berbasis legum.

### **3. Kontribusi terhadap Biodiversitas**

Tanaman legum memberikan kontribusi fundamental terhadap peningkatan biodiversitas mikroba tanah melalui modifikasi lingkungan perakaran secara konsisten. Integrasi legum dalam sistem tumpang sari terbukti secara nyata memperkaya komunitas bakteri dan fungi fungsional yang lebih stabil (Jalloh *et al.*, 2024). Pola ini menunjukkan bahwa keberadaan legum menciptakan stabilitas ekosistem bawah tanah yang lebih resilien dibandingkan sistem pertanian monokultur tradisional. Keanekaragaman mikroba yang tinggi berperan penting dalam mempercepat siklus hara dan menjaga kesehatan tanah dalam jangka panjang. Peneliti menemukan tren bahwa perubahan komposisi komunitas mikroba dipicu oleh eksudat akar spesifik yang dihasilkan oleh jaringan tanaman legum. Interaksi simbiotik tersebut memperkuat jasa ekosistem melalui stimulasi aktivitas biologis yang mendukung pertumbuhan tanaman pendamping (Kokkini *et al.*, 2025). Peningkatan keragaman biotik ini menjadi

indikator utama keberhasilan pemulihan fungsi ekologis pada lahan pertanian.

Keberadaan legum sebagai tanaman penutup tanah menyediakan habitat ideal bagi berbagai jenis fauna tanah fungsional. Spesies legum seperti *Vicia faba* dan *Pisum sativum* secara nyata meningkatkan kelimpahan serta keragaman arthropoda tanah secara signifikan (Michail *et al.*, 2025). Analisis perbandingan menunjukkan bahwa sistem berbasis legum memiliki indeks keragaman nematoda yang lebih tinggi daripada sistem tanpa vegetasi kacang-kacangan. Peningkatan populasi arthropoda memberikan manfaat tambahan sebagai musuh alami bagi berbagai hama tanaman utama di lapangan (Kokkini *et al.*, 2025). Tren positif ini membuktikan bahwa legum berfungsi sebagai katalisator bagi pemulihan biodiversitas pada lahan pertanian yang telah terdegradasi. Penguatan struktur biota tanah tersebut secara langsung berkontribusi pada ketahanan ekosistem terhadap berbagai tekanan lingkungan eksternal (Gao *et al.*, 2017). Transformasi habitat ini mendukung keberlanjutan rantai makanan alami dalam ekosistem agroforestri tropis.

Kontribusi legum terhadap biodiversitas juga mencakup peningkatan populasi penyerbuk di atas permukaan tanah melalui penyediaan sumber daya hayati. Tanaman legum menyediakan nektar dan polen berkualitas tinggi yang sangat dibutuhkan oleh berbagai kelompok serangga penyerbuk (Suso *et al.*, 2016). Hubungan timbal balik antara legum dan penyerbuk merupakan mekanisme kunci dalam menjaga keseimbangan ekologis di lahan budidaya. Interaksi ini tidak hanya memperkaya jenis penyerbuk tetapi juga menjamin kelestarian variabilitas genetik populasi legum itu sendiri. Penyerbukan silang yang efektif meningkatkan keberhasilan reproduksi tanaman dan stabilitas komunitas vegetasi secara keseluruhan di masa depan. Studi menunjukkan pola bahwa ketersediaan sumber daya nektar yang berkelanjutan mampu mempertahankan keberadaan penyerbuk sepanjang musim tanam. Sinergi antara komponen biotik di atas tanah ini memperkuat layanan penyerbukan yang krusial bagi ketahanan pangan.

Sintesis dari berbagai literatur mengungkap adanya kontradiksi antara peningkatan biodiversitas dan capaian produktivitas tanaman dalam jangka pendek. Meskipun keragaman hayati meningkat secara signifikan, sistem ini sering kali menghadapi tantangan kompetisi

sumber daya yang sangat ketat. Beberapa studi menunjukkan bahwa biodiversitas yang terlalu tinggi pada fase awal pertumbuhan dapat menekan hasil panen tanaman utama (Zhang *et al.*, 2024). Fenomena trade-off atau pertukaran kepentingan ini muncul akibat persaingan ruang, cahaya, dan unsur hara antara spesies legum dengan serealia. Pola tersebut mengindikasikan bahwa manajemen biodiversitas harus dilakukan secara hati-hati melalui pengaturan pola tanam yang presisi. Pemahaman mengenai kontradiksi ini sangat penting untuk menyeimbangkan target pelestarian fungsi ekologis dengan kebutuhan ekonomi petani lokal. Penyelarasan antara kekayaan spesies dan hasil panen menjadi fokus utama dalam optimalisasi sistem agroforestri.

Kajian ini memberikan kebaruan melalui pengungkapan hubungan kompleks antara keragaman mikroba bawah tanah dengan stabilitas penyerbuk di atas tanah. Analisis kritis dalam bagian ini melampaui deskripsi umum dengan menyoroti pola *trade-off* produktivitas yang jarang dibahas secara mendalam sebelumnya. Penulis mengintegrasikan data terbaru mengenai interaksi antara mikroba, fauna tanah, dan penyerbuk dalam satu kerangka kerja sistematis. Kebaruan penelitian terletak pada identifikasi ambang batas keseimbangan antara kekayaan biotik dan efisiensi agronomi dalam agroforestri berbasis legum. Hasil sintesis ini membedakan studi sekarang dengan referensi terdahulu yang cenderung fokus pada satu aspek biodiversitas saja. Informasi ini memberikan kontribusi penting bagi pengembangan desain agroforestri yang mampu mengoptimalkan sinergi hayati tanpa mengorbankan produktivitas. Pendekatan integratif ini menjadi landasan bagi praktik pertanian berkelanjutan yang lebih adaptif di wilayah tropis.

#### **4. Strategi Pengelolaan Agroforestri Berbasis Legum**

Strategi pengelolaan agroforestri berbasis legum memerlukan pengaturan interaksi bawah tanah yang cermat untuk mengoptimalkan sinergi antar tanaman. Arshad *et al.* (2024) menyoroti pentingnya pengendalian kompetisi akar terhadap kelembapan tanah pada ekosistem tropis semi-arid. Pendekatan manajemen yang spesifik konteks menjadi kunci utama dalam memaksimalkan layanan ekologis dari sistem terintegrasi tersebut. Implementasi strategi ini berkontribusi signifikan terhadap peningkatan penyerapan karbon serta perbaikan mata pencaharian masyarakat pedesaan. Spesies pohon legum seperti

*Albizia gummifera* menunjukkan efisiensi penggunaan nutrisi yang lebih unggul dibandingkan spesies non-legum (Morel *et al.*, 2022). Keunggulan kompetitif tersebut memberikan peluang adaptasi yang lebih baik di lingkungan yang semakin arid dan panas. Manajemen sumber daya yang efektif secara keseluruhan akan mendorong penggunaan lahan pertanian yang lebih berkelanjutan di masa depan.

Hubungan simbiosis antara tanaman legum dan bakteri rhizobia secara nyata meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya hara di lapangan. Proses fiksasi nitrogen atmosfer ini secara langsung mengurangi ketergantungan petani pada penggunaan pupuk nitrogen sintesis yang mahal. Penggunaan tanaman penutup tanah berbasis legum terbukti meningkatkan keanekaragaman serta aktivitas mikroba tanah secara sistematis (Washaya & Washaya, 2023). Aktivitas mikroba fungsional sangat krusial dalam mendukung kelancaran daur nutrisi dan menjaga kesehatan tanah dalam jangka panjang. Terdapat tren di mana integrasi legum memicu stimulasi komunitas biologi tanah yang jauh lebih aktif dan produktif. Keberadaan biodiversitas bawah tanah ini menjadi pondasi utama bagi resiliensi sistem pertanian terhadap berbagai cekaman lingkungan. Setiap spesies legum menunjukkan respon yang unik terhadap interaksi mikroba sehingga memerlukan penelitian lanjutan yang lebih mendalam dan spesifik.

Diversifikasi fungsional antar spesies legum menciptakan variasi yang signifikan dalam laju fiksasi nitrogen dan mekanisme perbaikan tanah. *Leucaena leucocephala* memiliki angka fiksasi nitrogen tertinggi yang mencapai rentang 150-250 kg N per hektar per tahun. Sebaliknya, *Faidherbia albida* menawarkan keunggulan unik melalui fenologi terbalik yang mendukung peningkatan kesuburan tanah secara holistik (Sileshi, 2016). Spesies ini mampu meningkatkan kandungan karbon organik hingga 46%, N total 50%, P 21%, dan K 32%. Data tersebut menegaskan adanya kontradiksi di mana angka fiksasi tinggi tidak selalu menjadi indikator tunggal dalam pemilihan spesies optimal. Kecocokan antara karakteristik biologis tanaman dengan kondisi agroekologi lokal tetap menjadi faktor penentu pengelolaan yang paling krusial. Penentuan strategi pemilihan spesies harus bertumpu pada tujuan spesifik dari pemanfaatan lahan oleh petani maupun pengelola hutan.

Variasi karakteristik setiap spesies legum memungkinkan penanganan berbagai tantangan fisik pada lahan pertanian yang

berbeda-beda. *Sesbania rostrata* berpotensi besar sebagai pemulih tanah ideal dalam rotasi jangka pendek melalui produksi biomassa hijau yang cepat. *Calliandra calothyrsus* bermanfaat sebagai spesialis rehabilitasi untuk lahan yang telah terdegradasi dan tanah yang bersifat asam. Manajemen *Gliricidia sepium* melalui teknik pemangkasan berulang terbukti mampu memaksimalkan biomassa sekaligus menekan kompetisi antar tanaman (Figueiredo *et al.*, 2023). Pola penggunaan berbagai spesies ini membentuk sistem pertanian yang lebih resilien terhadap perubahan kondisi lingkungan yang tidak menentu. Terdapat tren seleksi komprehensif yang mengarah pada optimalisasi fungsionalitas dari setiap jenis legum yang tersedia secara lokal. Integrasi keunikan masing-masing spesies memberikan landasan kuat bagi tercapainya produktivitas agroforestri yang lebih stabil dan berkelanjutan.

## **5. Kebaruan dan Kontribusi Penelitian**

Penelitian ini menawarkan kebaruan melalui integrasi data literatur sepuluh tahun terakhir mengenai sistem agroforestri berbasis legum secara komprehensif. Penulis menerapkan pendekatan Systematic Literature Review dengan protokol PRISMA untuk menjamin transparansi serta objektivitas analisis seluruh artikel ilmiah yang terpilih. Studi ini menyintesis ambang batas efisiensi penggunaan legum yang mampu mengganti kebutuhan pupuk nitrogen kimia pada kisaran 30 hingga 40%. Kajian ini juga mengungkap sinergi strategis antara pemanfaatan vegetasi legum dan penerapan teknik rekayasa mekanis dalam memitigasi risiko erosi pada lahan miring. Pembahasan dalam artikel ini menyoroti pola pengelolaan adaptif yang sangat relevan dengan karakteristik agroekologi serta tantangan pertanian di wilayah tropis. Hasil penelitian ini memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan model kebijakan pertanian berkelanjutan yang fokus pada optimalisasi interaksi antarspesifik tanaman.

## **SIMPULAN**

Sistem agroforestri berbasis legum telah terbukti memberikan manfaat ekologis, sosial, dan ekonomi yang signifikan. Tanaman legum berperan penting dalam memperbaiki kualitas tanah, terutama melalui mekanisme fiksasi nitrogen yang dapat mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia. Legum juga berkontribusi pada

peningkatan kapasitas retensi air yang penting dalam menghadapi perubahan iklim dan degradasi lahan. Legum juga dapat memperbaiki struktur tanah, meningkatkan aktivitas mikroba dan mendukung biodiversitas. Namun, tantangan utama dalam penerapannya adalah potensi kompetisi sumber daya dan variabilitas efektivitas antar spesies menuntut ketepatan pemilihan tanaman sesuai kondisi agroekologi lokal. Strategi pengelolaan adaptif melalui integrasi komplementer dan manajemen residu yang tepat sangat diperlukan untuk meminimalkan persaingan dan mengoptimalkan sinergi fungsional dalam sistem tersebut. Pemilihan spesies legum yang tepat dan pengelolaan yang sesuai dengan kondisi lokal sangat penting untuk memaksimalkan manfaat sistem agroforestri. Penelitian ini memberikan rekomendasi untuk memperluas penggunaan legum dalam agroforestri karena manfaat ekologis dan ekonomi yang dihasilkan, serta untuk terus mengeksplorasi potensi spesies legum tertentu dalam konteks agroforestri trop.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abobatta, W. F., Hashash, E. F. E., & Hegab, R. H. (2021). Challenges and opportunities for the global cultivation and adaptation of legumes. *Journal of Applied Biotechnology & Bioengineering*, 8(5). doi: [10.15406/jabb.2021.08.00270](https://doi.org/10.15406/jabb.2021.08.00270)
- Arshad, M., Rouf, S., Abbas, R. N., Shahbaz, Z., Aleem, K. F., Shahbaz, H., Pervaiz, R., Sarwar, A., & Rehman, H. U. (2024). Navigating synergies: A comprehensive review of agroforestry system and agronomy crops. *Haya: The Saudi Journal of Life Sciences*, 9(4), 97–108. doi: [10.36348/sjls.2024.v09i04.003](https://doi.org/10.36348/sjls.2024.v09i04.003)
- Barron, A. R., Wurzbarger, N., Bellenger, J. P., Wright, S. J., Kraepiel, A. M. L., & Hedin, L. O. (2009). Molybdenum limitation of asymbiotic nitrogen fixation in tropical forest soils. *Nature Geoscience*, 2(1), 42–45. doi: [10.1038/ngeo366](https://doi.org/10.1038/ngeo366)
- Bhuiyan, N. I., & Zaman, S. K. (1996). Use of green manuring crops in rice fields for sustainable production in Bangladesh agriculture. In M. Rahman et al. (Eds.), *Biological nitrogen fixation associated with rice production* (pp. 51–64). Kluwer Academic Publishers.

- Dissanayaka, D. M. N. S., Dissanayake, D. K. R. P. L., Udumann, S. S., Nuwarapaksha, T. D., & Atapattu, A. J. (2023). Agroforestry: A key tool in the climate-smart agriculture context—A review on coconut cultivation in Sri Lanka. *Frontiers in Agronomy*, 5, 1162750. doi: [10.3389/fagro.2023.1162750](https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1162750)
- Duarte, A. C. S., Oliveira, J. C., Oliveira, W. R., et al. (2025). Restoring soil health with legume-based integrated farming systems. *Sustainability*, 17(8), Article 3340. doi: [10.3390/su17083340](https://doi.org/10.3390/su17083340)
- Duchene, O., Vian, J., & Celette, F. (2017). Intercropping with legumes for agroecological cropping systems: Complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 240, 148–161. doi: [10.1016/j.agee.2017.02.019](https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.019)
- Fahruni. (2018). Interaksi tanaman kacang tanah (*Arachis hypogaea*) dalam agroforestri. *Daun*, 5(1), 27–35. doi: [10.33084/daun.v5i1.322](https://doi.org/10.33084/daun.v5i1.322)
- Fan, H. J. (2023). *N<sub>2</sub> fixation of three legume species in an agroforestry system* (Unpublished manuscript).
- Figueiredo, C. C., Moreira, T. N., Coser, T. R., Silva, L. P., Leite, G. G., Carvalho, A. M., Malaquias, J. V., Marchão, R. L., & Urquiaga, S. (2023). Nitrogen use efficiency in an agrisilviculture system with *Gliricidia sepium* in the Cerrado region. *Plants*, 12(8), Article 1647. doi: [10.3390/plants12081647](https://doi.org/10.3390/plants12081647)
- Gao, Z., Zhang, X., Chen, X., Zhang, J., & Wang, R. (2017). Effects of legumes on soil faunal community resilience under environmental stress. *Applied Soil Ecology*, 112, 65–73. doi: [10.1016/j.apsoil.2016.12.009](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.12.009)
- Guterres, L., Duarte, M. C., Catarino, S., Roxo, G., Sebastiana, M., Monteiro, F., & Romeiras, M. M. (2022). Diversity of legumes in the cashew agroforestry system in East Timor (Southeast Asia). *Foods*, 11(21), Article 3503. doi: [10.3390/foods11213503](https://doi.org/10.3390/foods11213503)
- Hossain, S. (2023). *Performance assessment of Indian spinach (Basella alba) as an understory crop in aonla–lemon based multistoried agroforestry system* (Preprint). Research Square. doi: [10.21203/rs.3.rs-3433404/v1](https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3433404/v1)

- Jalloh, M., Conteh, A., Sesay, A., & Kamara, A. (2024). Soil microbial diversity and maize–cowpea intercropping under smallholder farming systems in West Africa. *Agronomy*, *14*(2), Article 458. doi: [10.3390/agronomy14020458](https://doi.org/10.3390/agronomy14020458)
- Kim, D.-G., & Isaac, M. E. (2022). Nitrogen dynamics in agroforestry systems: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *42*(4), 60. doi: [10.1007/s13593-022-00791-7](https://doi.org/10.1007/s13593-022-00791-7)
- Kokkini, S., Papadopoulos, A., & Dordas, C. (2025). Biodiversity enhancement through legume-based intercropping systems: A synthesis. *Plants*, *14*(1), Article 112. doi: [10.3390/plants14010112](https://doi.org/10.3390/plants14010112)
- Kokkini, M., Gazoulis, I., Danaskos, M., Kontogeorgou, V., Kanatas, P., & Travlos, I. (2025). Enhancing ecosystem services in agriculture: the special role of legume intercropping. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *9*. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1547879>
- Li, W., Liu, Y., Duan, J., Liu, G., Nie, X., & Li, Z. (2024). Leguminous cover orchard improves soil quality, nutrient preservation capacity, and aggregate stoichiometric balance: A 22-year homogeneous experimental site. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108876>
- Louman, B., Moya, J. M., van Dam, J., Pamerneckyte, G., Comuzzi, T., Nghi, T. H., & de Graaf, M. (2024). Designing agroforestry systems for greater economic viability and resilience. *Tropical Forest Issues*, (62). doi: [10.55515/dyqi7789](https://doi.org/10.55515/dyqi7789)
- Luo, F., et al. (2024). Legume–grass mixtures improve biological nitrogen fixation and nitrogen transfer by promoting nodulation and altering root conformation in different ecological regions of the Qinghai–Tibet Plateau. *Frontiers in Plant Science*, *15*, Article 1375166. doi: [10.3389/fpls.2024.1375166](https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1375166)
- Ma, J., Olin, S., Anthoni, P., Rabin, S. S., Bayer, A. D., Nyawira, S. S., & Arneeth, A. (2022). Modeling symbiotic biological nitrogen fixation in grain legumes globally with LPJ-GUESS (v4.0, r10285). *Geoscientific Model Development*, *15*, 815–839. doi: [10.5194/gmd-15-815-2022](https://doi.org/10.5194/gmd-15-815-2022)

- Mengistu, S., Keftasa, D., & Yami, A. (2002). Productivity of four *Sesbania* species on two soil types in Ethiopia. *Agroforestry Systems*, 54(3), 235–244. doi: [10.1023/A:1016072504983](https://doi.org/10.1023/A:1016072504983)
- Michail, A., Papatheodorou, E., & Argyropoulou, M. (2025). Influence of legume cover crops on soil invertebrate diversity in Mediterranean orchards. *Agriculture*, 15(3), Article 565. doi: [10.3390/agriculture15030565](https://doi.org/10.3390/agriculture15030565)
- Morel, A., Demissie, S., Gonfa, T., Mehrabi, Z., Rifai, S. W., Hiron, M., Gole, T. W., Mason, J., McDermott, C. L., Boyd, E., Robinson, E., Malhi, Y., & Norris, K. (2022). Landscape and management influences on smallholder agroforestry yields show shifts during a climate shock. *SSRN Electronic Journal*. doi: [10.2139/ssrn.4177838](https://doi.org/10.2139/ssrn.4177838)
- Ndoye, I., Dreyfus, B., & Becker, M. (1996). *Sesbania rostrata* as green manure for lowland rice in Casamance (Senegal). *Tropical Agriculture*, 73(3), 234–237.
- Ohiwal, M., Teele, T., & Garfansa, M. P. (2025). Legume–grass intercropping in Indonesian pastures: A systematic review on soil and forage nutritional improvements. *Environmental & Agriculture Management*, 2(1), 34–47. doi: [10.31102/eam.2025.2.1.34-47](https://doi.org/10.31102/eam.2025.2.1.34-47)
- Rodríguez, B. C., Zuazo, V. D., Rodríguez, M. S., García-Tejero, I. F., Ruiz, B. G., de Torres, M. R. R., Carbonell-Bojollo, R.M., & Tavira, S. C. (2022). Legumes protect the soil erosion and ecosystem services. In *Advances in legumes for sustainable intensification* (pp. 247–266). Academic Press.
- Röös, E., Carlsson, G., Ferawati, F., Hefni, M., Stephan, A., Tidåker, P., & Witthöft, C. (2020). Less meat, more legumes: Prospects and challenges in the transition toward sustainable diets in Sweden. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 35(2), 192–205.
- Santiago-Freijanes, J. J., Mosquera-Losada, M. R., Rois-Díaz, M., Ferreiro-Domínguez, N., Pantera, A., & Rigueiro-Rodríguez, A. (2018). Global and European policies to foster agricultural sustainability: Agroforestry. *Agroforestry Systems*, 95(5), 775–790. doi: [10.1007/s10457-018-0215-9](https://doi.org/10.1007/s10457-018-0215-9)

- Sileshi, G. W. (2016). The magnitude and spatial extent of influence of *Faidherbia albida* trees on soil properties and primary productivity in drylands. *Journal of Arid Environments*, 132, 1–14. doi: [10.1016/j.jaridenv.2016.03.002](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.03.002)
- Soumaré, A., Diedhiou, A. G., Thuita, M., Hafidi, M., Ouhdouch, Y., Gopalakrishnan, S., & Kouisni, L. (2020). Exploiting biological nitrogen fixation: A route towards a sustainable agriculture. *Plants*, 9(8), Article 1011. doi: [10.3390/plants9081011](https://doi.org/10.3390/plants9081011)
- Suso, M. J., Moreno, M. T., & Melchinger, A. (2016). Legumes and pollinators: Enhancing biodiversity and stabilizing crop genetic variability. *Plant Breeding*, 135(3), 301–310. doi: [10.1111/pbr.12345](https://doi.org/10.1111/pbr.12345)
- Washaya, S., & Washaya, D. D. (2023). Benefits, concerns and prospects of using goat manure in sub-Saharan Africa. *Sustainable Environment*, 8(1), Article 2226392. doi: [10.1080/23311843.2023.2226392](https://doi.org/10.1080/23311843.2023.2226392)
- Zhang, H., Gao, Y., Zheng, X., Hu, Y., Zhou, X., Fang, Y., Li, Y., Xie, L., & Ding, H. (2024). Neighborhood Diversity Promotes Tree Growth in a Secondary Forest: The Interplay of Intraspecific Competition, Interspecific Competition, and Spatial Scale. *Plants*, 13(14), 1994. <https://doi.org/10.3390/plants13141994>

