

SISTEM AGROSILVOPASTURA TROPIS: TINJAUAN INTEGRASI KELAPA, JAHE, TURI DAN KAMBING UNTUK KEBERLANJUTAN AGROEKOSISTEM DAN PELUANG PENERAPANNYA DI PULAU LOMBOK

AGROSILVOPASTORAL SYSTEMS IN THE TROPICS: COCONUT-GINGER-SESBANIA-GOAT INTEGRATION FOR SUSTAINABLE AGROECOSYSTEMS AND IMPLEMENTATION OPPORTUNITIES IN LOMBOK ISLAND

Mutia Devi Ariyana^{1,2}, Wayan Wangiyana^{1,3*}

¹Program Studi Doktor Pertanian Berkelanjutan, Program Pascasarjana, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia

²Fakultas Teknologi Pangan dan agroindustry, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia

³Fakultas Pertanian, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia

*E-mail: mutiadevi0705@unram.ac.id

Abstrak

Pertanian skala kecil di wilayah tropis seperti Pulau Lombok menghadapi tantangan keberlanjutan akibat keterbatasan lahan, degradasi tanah, dan variabilitas iklim. Sebagai solusi, sistem agrosilvopastura yang mengintegrasikan kelapa (*Cocos nucifera*), jahe (*Zingiber officinale*), turi (*Sesbania grandiflora*), dan kambing menawarkan model pertanian terpadu yang berkelanjutan. Kajian ini bertujuan menganalisis konsep, manfaat, dan peluang implementasi sistem ini melalui sintesis literatur. Hasil tinjauan menunjukkan adanya interaksi sinergis antar komponen: kelapa sebagai kerangka struktural yang memodifikasi iklim mikro dan penyedia jasa hidrologis melalui *hydraulic lift*; jahe sebagai tanaman sela bernilai ekonomi tinggi yang toleran terhadap naungan moderat (25–50%); turi sebagai leguminosae fiksator nitrogen yang memperbaiki kesuburan tanah dan sumber pakan berkualitas tinggi; serta kambing sebagai komponen daur ulang nutrisi melalui pupuk organik dan aset ekonomi likuid. Integrasi ini secara signifikan meningkatkan produktivitas penggunaan lahan, mendiversifikasi sumber pendapatan (jangka pendek, menengah, dan panjang), serta memperkuat ketahanan ekonomi rumah tangga terhadap guncangan pasar dan iklim. Secara ekologis, sistem ini membentuk siklus hara yang lebih tertutup, meningkatkan kesuburan dan kandungan karbon tanah, serta mengurangi ketergantungan pada input eksternal. Disimpulkan bahwa model agrosilvopastura kelapa, jahe, turi, dan kambing merupakan bentuk intensifikasi ekologis yang strategis dan relevan untuk wilayah semi-kering seperti Lombok, yang mampu meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan agroekosistem sekaligus berkontribusi pada pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG).

Kata kunci: agrosilvopastura, jahe, kambing, kelapa, pertanian terpadu berkelanjutan

Abstract

Small scale agriculture in tropical regions like Lombok Island faces sustainability challenges due to land scarcity, soil degradation, and climate variability. As a solution, an agrosilvopastoral system integrating coconut (*Cocos nucifera*), ginger (*Zingiber officinale*), turi (*Sesbania grandiflora*), and goats offers a sustainable integrated farming model. This study aims to analyze the concepts, benefits, and implementation opportunities of this system through a literature synthesis. The review results indicate synergistic interactions between the components: coconut as a structural framework that modifies the microclimate and provides hydrological services through *hydraulic lift*; ginger as a high-value intercrop that is tolerant to moderate shade (25–50%); turi as a nitrogen-fixing legume that improves soil fertility and provides high-quality feed; and goats as a component of nutrient recycling through organic fertilizer and a liquid economic asset. This integration can significantly increase land use productivity, diversify income sources (short, medium, and long-term), and strengthen household economic resilience to market and climate shocks. Ecologically, this system forms a closed nutrient cycle, improving soil fertility and carbon content, and reducing dependence on external inputs. It is concluded that agrosilvopastura model integrating coconut, ginger, sesbania, and goat agroforestry, is a strategic and relevant form of ecological intensification for semi-arid regions like Lombok island, capable of increasing agroecosystem productivity and sustainability while contributing to the achievement of the Sustainable Development Goals (SDGs).

Keywords: Agrosilvopasture, ginger, goat, coconut, sustainable integrated farming

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara produsen kelapa terbesar dunia dengan total produksi kelapa dari 38 provinsi sejumlah 2.822,12 ribu ton (BPS, 2025). Akan tetapi, sektor pertanian di Indonesia, termasuk komoditas unggulan seperti kelapa, masih didominasi oleh petani kecil (Batas *et al.*, 2025; Nabillah *et al.*, 2025). Hasil Sensus Pertanian tahun 2023 mencatat lebih dari 90% unit usaha tani nasional berada pada skala <2 ha (BPS, 2023). Meskipun memainkan peran krusial dalam menjaga keanekaragaman hayati dan ketahanan pangan, petani kecil menghadapi berbagai tantangan keberlanjutan (Batas *et al.*, 2025). Salah satu tantangan utama adalah keterbatasan lahan, tingkat literasi yang rendah, dan kurangnya akses terhadap teknologi maju, yang sering kali mengakibatkan kemiskinan (Achmad *et al.*, 2022).

Diversifikasi melalui agroforestri, termasuk sistem agroforestry, termasuk system agrisilvopastura yang mengintegrasikan kehutanan, pertanian, dan ternak menjadi strategi adaptasi yang efektif (Achmad *et al.*, 2022). Produktivitas sistem agroforestri menunjukkan hasil yang lebih tinggi dibandingkan monokultur (Atapattu & Udduman, 2024). Sebuah tinjauan yang menganalisis 77 kasus praktik agroekologi menemukan bahwa 63% di antaranya melaporkan hasil panen yang lebih tinggi dibandingkan praktik pertanian konvensional (Dittmer *et al.*, 2023). Kombinasi beberapa spesies tanaman dan hewan menciptakan interaksi positif yang meningkatkan produktivitas dan stabilitas secara keseluruhan (Atapattu *et al.*, 2024a). Penerapan sistem agroforestri juga terbukti secara signifikan meningkatkan pendapatan rumah tangga petani di berbagai wilayah Indonesia, seperti Sumatra, Kalimantan, dan Sulawesi, dengan peningkatan berkisar antara 38% hingga 76% (Duffy *et al.*, 2021; Widiyanto *et al.*, 2003). Sebuah studi lainnya menunjukkan bahwa agroforestri menjadi sumber pendapatan rumah tangga yang menonjol, menyumbang 29% dari total pendapatan, sementara pertanian konvensional hanya menyumbang 14% (Race *et al.*, 2022). Salah satu keunggulan utama dari sistem pertanian yang terdiversifikasi adalah peningkatan ketahanan terhadap guncangan eksternal, termasuk perubahan iklim dan fluktuasi pasar (Achmad *et al.*, 2022; Race *et al.*, 2022). Pertanian yang menerapkan diversifikasi menunjukkan skor yang lebih tinggi di semua dimensi ketahanan, termasuk kapasitas penyangga, pembelajaran, dan adaptasi (Achmad *et al.*, 2022). Sistem ini juga lebih tangguh terhadap perubahan iklim dan memberikan berbagai jasa ekosistem, seperti mengurangi erosi tanah dan menjaga kesehatan tanah (Yusriadi *et al.*, 2024).

Agrosilvopastura dipandang sebagai salah satu model agroekosistem tropis yang berkelanjutan karena mampu mengintegrasikan tanaman tahunan, tanaman semusim, leguminosae, dan ternak dalam satu unit lahan secara sinergis (Tumana *et al.*, 2025). Dibandingkan dengan sistem monokultur yang rentan terhadap degradasi tanah, penurunan keanekaragaman hayati, dan ketidakstabilan pendapatan, agrosilvopastura menawarkan produktivitas multi-output yang lebih tinggi sekaligus diversifikasi risiko (Grass *et al.*, 2020). Bukti lapang menunjukkan bahwa tumpangsari tanaman tahunan seperti kelapa (*Cocos nucifera*) dengan tanaman semusim seperti rempah dan sayuran, dapat meningkatkan pendapatan dan diversifikasi hasil (Tumana *et al.*, 2025). Selain itu, keberadaan leguminosae mampu memperbaiki kesuburan tanah melalui fiksasi nitrogen, meningkatkan biomassa organik, dan mengurangi kebutuhan pupuk sintetis, yang sejalan dengan manfaat ekosistem dari agroforestri dalam memperbaiki struktur tanah (Gusmão *et al.*, 2025; Mukhlis *et al.*, 2022).

Integrasi ternak dalam system agrosilvopastura, baik ternak besar seperti sapi maupun ternak kecil seperti kambing, menutup siklus nutrisi dengan mengonversi biomassa menjadi pupuk organik, sekaligus memberikan pendapatan tambahan melalui produk daging dan susu (Tumana *et al.*, 2025). Jika dibandingkan dengan sistem agroforestri tanpa ternak, agrosilvopastura lebih efisien dalam daur ulang hara dan konservasi sumber daya. Secara sosial-ekonomi, ternak juga berfungsi sebagai aset likuid yang memperkuat ketahanan petani kecil

terhadap guncangan iklim maupun pasar (Mukhlis *et al.*, 2022). Dengan demikian, agrosilvopastura tidak hanya meningkatkan produktivitas dan kesehatan ekosistem, tetapi juga membangun ketahanan sosial-ekonomi yang lebih tangguh dibandingkan dengan sistem pertanian konvensional lainnya (Duffy *et al.*, 2021; Mukhlis *et al.*, 2022).

Model agrosilvopastura yang dibangun pada kajian ini adalah integrasi antara kelapa sebagai tanaman tahunan utama, jahe sebagai tanaman semusim bernilai ekonomi tinggi, turi sebagai komponen leguminosae multifungsi, dan kambing sebagai komponen ternak strategis. Secara kontekstual, model ini sangat relevan untuk wilayah tropis semi-kering (semi-arid) seperti Pulau Lombok, Nusa Tenggara Barat (NTB), yang Sebagian besar wilayahnya memiliki musim hujan yang cukup panjang untuk mendukung tanaman rempah dan kelapa, dan musim kemarau yang cukup tegas tetapi tidak ekstrem di banyak Lokasi. Oleh karena itu, kondisi ini memungkinkan integrasi tanaman semusim atau tahunan bersama system pakan ternak dengan manajemen air yang tepat.

Tujuan dari kajian ini adalah untuk menilai dan memahami: (1) Konsep agrosilvopastura berbasis integrasi komponen kelapa, jahe, turi, dan kambing sebagai model pertanian tropis berkelanjutan, (2) Manfaat dan keberlanjutan penerapan agrosilvopastura berbasis integrasi komponen kelapa, jahe, turi, dan kambing pada petani kecil, dan (3) Peluang dan keterbatasan dalam penerapan sistem agrosilvopastura kelapa, jahe, turi dan kambing, khususnya dalam konteks lahan semi-kering di Pulau Lombok dan kawasan tropis serupa.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi pustaka (literature review) dengan pendekatan deskriptif kualitatif. Data dikumpulkan melalui penelusuran sistematis berbagai sumber ilmiah yang relevan, seperti jurnal, tesis/disertasi, buku, dan laporan penelitian. Seleksi sumber dilakukan berdasarkan beberapa kriteria inklusi, yaitu kesesuaian topik, kredibilitas penerbit, relevansi dengan konsep sistem agrosilvopastura tropis, dan ketersediaan dokumen secara lengkap. Selain itu, juga digunakan beberapa data skunder berupa data statistik dari Biro Pusat Statistik, yang tersedia di internet.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelusuran pustaka dan data statistik, dapat dikatakan bahwa pembangunan dan penerapan sistem agrosilvopastura kelapa-jahe-turi-kambing sangat relevan dikembangkan di wilayah provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB), terutama pulau Lombok, yang sebagian besar wilayahnya merupakan wilayah tropis semi-kering (semi-arid), yang telah terbukti sangat mendukung pertumbuhan dan produksi tanaman kelapa. Berdasarkan data yang ada (Tabel 1), pulau Lombok memiliki lebih dari 45 ribu ha tanaman kelapa dan populasi kambing lebih dari 150 ribu ekor (BPS, 2024). Oleh karena itu, kondisi ini memungkinkan untuk dilakukan integrasi tanaman kelapa dengan tanaman semusim atau tahunan bersama tanaman pakan ternak dengan manajemen air yang tepat. Dengan demikian, pengembangan sistem agrosilvopastura kelapa-jahe-turi-kambing sangat memungkinkan untuk diwujudkan.

Tabel 1. Data Terbaru Luas Tanaman Kelapa dan Populasi Kambing di Provinsi NTB

Indikator	Nilai Terbaru
Luas tanaman kelapa di Pulau Lombok	▪ Kabupaten Lombok Timur: 11.907 ha
	▪ Kabupaten Lombok Tengah: 10.849,49 ha
	▪ Kabupaten Lombok Barat: 12. 431,58 ha
	▪ Kabupaten Lombok Utara: 11.490,32 ha
	▪ Kota Mataram : 36,87 ha

Populasi kambing di Pulau Lombok	▪ Kabupaten Lombok Timur: 91.886 ekor
	▪ Kabupaten Lombok Tengah: 63.704 ekor
	▪ Kabupaten Lombok Barat: 11.759 ekor
	▪ Kabupaten Lombok Utara: 19.775 ekor
	▪ Kota Mataram 1.476 ekor

Sumber: Badan Pusat Statistik Nusa Tenggara Barat (2024)

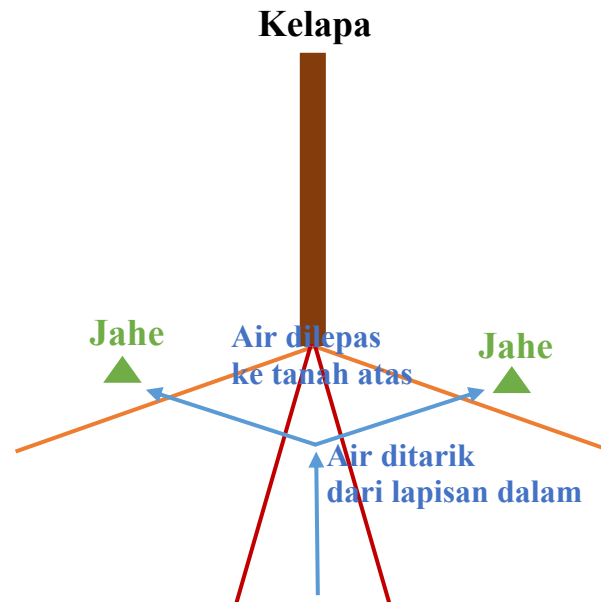
Model agrosilvopastura kelapa–jahe–turi–kambing sejalan dengan paradigma *circular bioeconomy*, di mana limbah satu komponen menjadi input bagi komponen lain, membentuk siklus nutrisi yang lebih efisien dan berkelanjutan (Carvalho *et al.*, 2024; Atapattu *et al.*, 2024). Sistem ini menghasilkan sinergi multi-dimensi, yaitu sinergi ekologis, yang meliputi efisiensi siklus hara, konservasi tanah dan air, serta penyimpanan karbon (Shil *et al.*, 2025; Marçal *et al.*, 2022; Carvalho *et al.*, 2024; Jung & Vendrametto, 2025), sinergi ekonomi berupa diversifikasi pendapatan, pengurangan biaya input, dan peningkatan profitabilitas (Shil *et al.*, 2025; Sari & Jumiyati, 2025; Shanmugam *et al.*, 2024; Jung & Vendrametto, 2025), dan sinergi sosial melalui pemberdayaan petani kecil, peningkatan ketahanan pangan, dan penguatan mata pencaharian pedesaan (Sari & Jumiyati, 2025; Shanmugam *et al.*, 2024; Atapattu *et al.*, 2024). Hal-hal yang berkaitan dengan semua bentuk sinergi ini akan dibahas berikut ini.

(1) Konsep Agrosilvopastura Kelapa-Jahe-Turi-Kambing

Kelapa

Kelapa merupakan tanaman pokok tahunan yang hampir seluruh bagian tanamannya termasuk diantaranya buah, nira, serabut, dan tempurung bernilai ekonomi, sehingga menjadi jangkar pendapatan jangka panjang dalam unit usaha tani kecil (Reddy & Sang-Arun, 2011; Ekhorutomen *et al.*, 2023; Kumar & Kunhamu, 2022). Selain aspek ekonomi, kelapa juga mengungguli tanaman tahunan lainnya yaitu kakao (*Theobroma cacao*) dan kopi (*Coffea* sp.) dari aspek ekologis (Kumar & Kunhamu, 2022; Ekhorutomen *et al.*, 2023). Keunggulan kelapa pada pertanian tropis didukung oleh dua faktor utama yaitu (1) kemampuan kelapa dalam menyediakan kerangka penopang struktural bagi agroforestri tropis melalui pembentukan kanopi berlapis, modifikasi iklim mikro melalui reduksi radiasi langsung, suhu permukaan, dan evaporasi, serta stabilisasi tanah melalui perakaran serabut yang luas dan (2) sebagai penyedia jasa ekosistem air melalui mekanisme *hydraulic lift* (Kumar & Kunhamu, 2022; Panda *et al.*, 2020; Reddy & Sang-Arun, 2011). Kedua faktor ini menjadikan kelapa lebih unggul dibanding tanaman tahunan tropis lain dalam mendukung produktivitas dan keberlanjutan sistem terpadu.

Keunggulan kelapa dalam menyediakan kerangka penopang struktural bagi agroforestri tropis menempatkan kelapa sebagai spesies payung yang sesuai dengan berbagai tanaman sela seperti sayuran, umbi, rempah, serta pakan hijauan. Hal ini disebabkan karena arsitektur tajuknya memungkinkan naungan sedang yang dapat dimanfaatkan tanaman toleran bayang (Kumar & Kunhamu, 2022). Kajian sintesis dan uji lapang melaporkan peningkatan *system productivity index*, perbaikan indikator kesuburan tanah dari aspek kandungan karbon organik dan biomassa mikroba, serta rasio manfaat-biaya yang lebih baik ketika kelapa diintegrasikan dengan tanaman sela seperti hortikultura dan rempah (Dissanayaka *et al.*, 2023; Panda *et al.*, 2020; Kumar & Kunhamu, 2022). Studi pengembangan sistem pertanian berbasis kelapa di Filipina juga menunjukkan bahwa diversifikasi di bawah tegakan kelapa yang terdiri atas sayur, rempah, tanaman pakan dan disertai ternak kecil dapat menaikkan pendapatan petani dan menyebar risiko usaha, sekaligus memanfaatkan ruang dan cahaya yang sebelumnya tidak termanfaatkan pada kebun kelapa monokultur (Reddy & Sang-Arun, 2011; Kairupan *et al.*, 2023).



Gambar 1. Mekanisme Hydraulic Lift oleh Kelapa dan Dampaknya pada Tanaman Sela

Keunggulan kelapa sebagai penyedia jasa ekosistem khususnya penyediaan air diperoleh melalui mekanisme *hydraulic lift*. *Hydraulic lift* adalah fenomena di mana tumbuhan berakar dalam pada siang hari menarik air dari lapisan tanah dalam yang lembab dan pada malam hari melepaskannya ke lapisan tanah yang lebih kering dan dangkal melalui akar (Horton & Hart, 1998). Kemampuan *hydraulic lift* kelapa sangat terkait dengan sistem perakarannya yang efektif untuk menjalar jauh ke dalam tanah (Alagele *et al.*, 2021). Penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar, atau sekitar 75–80%, akar kelapa terkonsentrasi pada kedalaman 20 hingga 100 cm, dengan kemampuan serapan air yang tinggi pada rentang kedalaman tersebut (Arachchi, 1998). Meskipun akar kelapa dapat meluas hingga kedalaman lebih dari 2 meter, kepadatan tertinggi berada di 1 meter lapisan tanah teratas (Carr, 2011). Struktur perakaran ini ideal untuk mengakses sumber air yang tidak tersedia bagi tanaman sela yang berakar dangkal. Dalam sistem tumpangsari, pohon kelapa dapat berfungsi sebagai "pompa air alami" selama periode kering. Proses ini terjadi ketika akar kelapa yang dalam menyerap air dari lapisan tanah yang lebih lembab dan melepaskannya ke lapisan tanah permukaan yang lebih kering, sehingga menyediakan air bagi tanaman di sekitarnya (Alagele *et al.*, 2021). Mekanisme ini akan mewakili sinergi yang kuat, di mana pohon kelapa tidak hanya menyediakan struktur pendukung dan iklim mikro tetapi juga secara aktif berbagi sumber daya vital (air), meningkatkan ketahanan dan produktivitas seluruh sistem agroforestri. Oleh karena itu, agroforestri berbasis kelapa memungkinkan transformasi monokultur yang tidak efisien menjadi sistem yang sangat produktif, menguntungkan, dan regeneratif secara ekologis yang meningkatkan ketahanan pangan, melestarikan sumber daya alam, dan memberikan mata pencaharian yang stabil bagi komunitas petani. Sebaliknya, kakao dan kopi cenderung berakar dangkal–menengah, sehingga meski bermanfaat dalam penciptaan mikroklimat yaitu sebagai peneduh dan penahan evaporasi, kapasitas redistribusi air kedua jenis tanaman ini terbatas (Yang *et al.*, 2020; Schwendenmann *et al.*, 2015). Oleh karena itu, pemilihan kelapa sebagai tanaman pokok tahunan sangat direkomendasikan pada ekosistem semi-kering seperti di Pulau Lombok, karena meningkatkan ketersediaan air tanah mikro bagi tanaman semusim, sekaligus mengurangi risiko cekaman kekeringan.

Jahe

Jahe bersifat toleran naungan moderat dimana penelitian lapang dan rumahkaca menunjukkan jahe dapat tumbuh baik di bawah naungan sekitar 25–50% dan bahkan mencatat

respon pertumbuhan yang lebih baik dari aspek tinggi tanaman dan jumlah daun pada kepadatan paranet menengah hingga tinggi dalam beberapa studi eksperimental (Kurnianingsih *et al.*, 2022; Lashley *et al.*, 2024). Bukti lain menunjukkan bahwa naungan yang sangat tinggi hingga 75% justru menurunkan bobot rimpang kering hingga 25% dan kandungan metabolit gingerol hingga 33% dibandingkan dengan naungan 50%. Fakta ini menunjukkan bahwa manfaat naungan bersifat non-linier dan naungan optimal untuk jahe berada pada tingkat moderat (Setyaningrum *et al.*, 2024). Jika ditinjau dari perspektif fisiologi, naungan moderat memperkuat mekanisme fotosintetik jahe dan dapat mengurangi kerusakan akibat cekaman air sehingga jahe lebih adaptif pada kondisi naungan (Lv *et al.*, 2020; Kurnianingsih *et al.*, 2022). Naungan moderat berperan menurunkan radiasi berlebih dan fluktuasi suhu, yang pada jahe dikaitkan dengan peningkatan kandungan klorofil, laju fotosintesis efektif, serta penurunan stress oksidatif. Kondisi ini dapat mempertahankan turgor daun dan rasio alokasi biomassa ke rimpang meskipun total radiasi menurun (Yongxing *et al.*, 2025). Selain itu, interaksi akar dengan pohon dan perubahan sifat tanah berupa peningkatan C organik, P, K, serta perubahan komunitas mikroba dapat memperbaiki ketersediaan hara dan kesehatan tanah untuk jahe, sehingga menyokong hasil jangka menengah hingga jangka Panjang (Dissanayake & Palihakkara, 2023).

Berbagai bukti empiris menunjukkan bahwa jahe sebagai tanaman sela di bawah kelapa dapat meningkatkan produktivitas sistem dibanding monokultur kelapa atau jahe. Kajian tumpang sari buah kiwi dengan jahe menghasilkan pengurangan iluminasi hingga 58% yang diikuti dengan kenaikan klorofil, laju fotosintesis bersih, aktivitas enzim antioksidan, dan hasil jahe, sehingga mendukung kemampuan jahe tumbuh baik pada kondisi ternaungi (Yongxing *et al.*, 2025). Peningkatan produktivitas sistem tumpang sari jahe dilaporkan juga pada beberapa studi agroforestri diantaranya tumpang sari jahe bersama bambu atau Gmelina yang menunjukkan kenaikan hasil jahe dan/atau kandungan oleoresin dibanding monokultur jahe (Setyaningrum *et al.*, 2024; Yongxing *et al.*, 2025). Kajian di atas merupakan dasar empiris kuat yang menegaskan bahwa jahe memiliki kesesuaian untuk ditanam dengan sistem tumpang sari di bawah tegakan yang memberikan naungan moderat dan bahwa tumpang sari juga dapat memperbaiki indikator tanah khususnya mikrobiota, sehingga integrasi jahe berpeluang menambah produktivitas sistem dan arus kas rumah tangga petani pada banyak dimensi. Selain itu, sifat agronomis jahe juga sangat mendukung integrasi dimana siklus panen relatif pendek yaitu sekitar 8-10 bulan pada praktik lapang yang dilaporkan, sehingga memungkinkan rotasi serta pendapatan tahunan dan fleksibilitas manajemen pada usaha tani kecil (Kurnianingsih *et al.*, 2022; Omo & Limon, 2023).

Turi

Turi (*Sesbania grandiflora*) dan anggota genus *Sesbania* lainnya merupakan leguminosae dengan pertumbuhan tinggi yang sering digunakan sebagai pupuk hijau dan sumber biomassa untuk memperbaiki kesuburan tanah dalam sistem tropis (Kwesiga & Coe, 1994; Wortmann & Kaizzi, 2000). Potensi fiksasi N dan kontribusi hara dari pemangkasan atau serasah *Sesbania* cukup besar. Pemangkasan *Sesbania* dapat menyediakan jumlah nutrien yang tinggi hingga 448 kg N, 31.4 kg P, dan 125 kg K per ha per tahun (Masutha *et al.*, 1997). Secara umum, leguminosae dapat menambat N dalam rentang besar hingga 43–581 kg/ha/tahun, sehingga *Sesbania* termasuk kelompok yang berpotensi tinggi untuk kontribusi dalam proses fiksasi nitrogen biologis di sistem agroforestri (Masutha *et al.*, 1997; Kebede, 2021). Beberapa studi sistem rotasi tanam menemukan bahwa *Sesbania* menghasilkan biomassa dan fiksasi N lebih tinggi dibanding kacang gude (Wortmann & Kaizzi, 2000). Kemampuan *Sesbania* dalam fiksasi N didukung oleh isolat rhizobia pada *Sesbania* yang memiliki keragaman besar dan variasi efektivitas simbiotik (Tendwa, 2018). Selain itu, asosiasi dengan mikroba non-rhizobia diantaranya *Azotobacter* spp. dapat meningkatkan pertumbuhan, parameter fisiologis dan aktivitas nitrogenase pada *Sesbania* sehingga berpotensi menambah nilai agronomisnya sebagai

sumber N hayati (El-Gamal, 1992). Tinjauan terkini mengenai tumpang sari leguminoseaeinosa menegaskan bahwa penambahan sesbania pada sistem campuran meningkatkan efisiensi sumber daya, kesuburan tanah, layanan ekosistem, dan ketahanan iklim dalam sistem terpadu (Akchaya *et al.*, 2025; Ribeiro-Barros *et al.*, 2018).

Sesbania lebih dominan dipilih sebagai komponen dalam sistem pertanian terpadu karena keunggulannya pada beberapa aspek diantaranya pertumbuhan yang tinggi, kemampuan dipangkas berulang sebagai sumber biomassa segar, dan kontribusi N yang relatif cepat melalui biomassa dan nodulasi yang efektif (Kwesiga & Coe, 1994; Wortmann & Kaizzi, 2000). Di samping itu, serasah Sesbania memiliki kualitas yang baik akibat rasio C:N relatif rendah, lebih mudah terdekomposisi dan mengembalikan N ke tanah disbanding beberapa leguminoseae yang memiliki biomassa lebih berserat atau rasio C:N tinggi (Wortmann & Kaizzi, 2000; Masutha *et al.*, 1997). Oleh karena itu, pemanfaatan Sesbania salah satunya turi dapat mempercepat siklus hara pada sistem yang memerlukan pasokan N berkelanjutan untuk tanaman sela seperti jahe.

Daun turi merupakan hijauan berkualitas sebagai pakan kambing karena kandungan protein kasar yang tinggi dengan kisaran 20-25% berat kering dan tingkat pencernaan tinggi pada percobaan lapang dan in vitro (Hang *et al.*, 2010; Tessema & Baars, 2004). Percobaan menunjukkan peningkatan konsumsi, peningkatan retensi N, dan peningkatan pertambahan bobot badan ketika turi digunakan dalam ransum kambing atau sebagai suplemen terhadap rumput gajah dibanding perlakuan kontrol tanpa leguminoseae (Hang *et al.*, 2010; van Eys *et al.*, 1986). Studi evaluasi leguminoseaeinosa menemukan bahwa turi termasuk spesies dengan potensi degradasi yang tinggi. Hal ini berkaitan dengan tekstur daun relatif lunak dan derajat lignifikasi yang lebih rendah sehingga palatabilitas dan pencernaan menjadi lebih baik bagi ruminansia kecil (Kaitho *et al.*, 1997). Beberapa percobaan melaporkan pencernaan protein yang tinggi saat turi disertakan dalam ransum atau sebagai campuran dengan rumput gajah, termasuk angka pencernaan protein yang melebihi 65% pada perlakuan tertentu (Hang *et al.*, 2010; Tessema & Baars, 2004; Hambakodu *et al.*, 2020).

Turi memiliki keunggulan dibandingkan dengan lamtoro (*Leucaena*) sebagai pakan ternak. Lamtoro menunjukkan karakteristik metabolik berbeda terutama kandungan *Rumen Undegradable Protein* (RUP) yang lebih tinggi dibandingkan beberapa leguminoseae lain sehingga ketersediaan sumber N untuk mikroba rumen lebih rendah (Patra & Saxena, 2011). Faktor pembatas lainnya pada lamtoro adalah adanya kandungan fenolik/tannin atau senyawa spesifik yang berinteraksi dengan protein dan enzim sehingga dapat membatasi degradasi dalam rumen (Makkar, 2003; Brutti *et al.*, 2023). Secara biokimia, tannin membentuk kompleks dengan protein sehingga mengurangi ketersediaan protein untuk mikroba rumen dan berpotensi meningkatkan RUP (Brutti *et al.*, 2023; Patra & Saxena, 2011). Kondisi ini menegaskan bahwa turi adalah sumber hijauan bergizi yang sangat cocok untuk kambing karena menyuplai protein kasar dalam jumlah besar, memiliki tingkat pencernaan yang baik, dan serta efek menguntungkan pada retensi N serta pertumbuhan hewan dalam banyak percobaan yang dilaporkan.

Kambing

Kambing (*Capra aegagrus hircus*) merupakan ruminansia kecil yang berperan strategis dalam sistem pertanian terpadu tropis karena ukuran tubuhnya relatif kecil, sifat adaptifnya tinggi, dan kebutuhan pakannya fleksibel. Dibanding sapi, kambing lebih toleran terhadap pakan hijauan dengan kualitas menengah, dapat memanfaatkan berbagai sumber biomassa termasuk leguminoseae pohon, dan memiliki laju perputaran ekonomi lebih cepat melalui produksi daging, susu, serta pupuk kandang.

Berdasarkan konteks sistem usaha tani kecil, kambing sering dianggap sebagai mesin daur hara sebab kambing menghasilkan pupuk kandang relatif kaya N yang cepat terdekomposisi, dapat meningkatkan ketersediaan hara dan perbaikan sifat tanah, dan berkontribusi pada efisiensi siklus nutrisi dalam integrasi tanaman-ternak (Washaya &

Washaya, 2023; Boudalia *et al.*, 2024; Paul *et al.*, 2020). Produksi kotoran kambing bervariasi menurut bobot individu, dengan angka yang dilaporkan berkisar 0,32–0,625 kg/hari/ekor atau setara dengan 0,3 ton/tahun pada kambing dengan bobot 20–40 kg (Washaya & Washaya, 2023). Jika diakumulasi dengan total ternak kambing pada suatu sistem terpadu maka dapat tercapai beberapa ton/tahun potensi pasokan pupuk on-farm nyata. Kotoran kambing juga memiliki konsentrasi N relatif tinggi dibanding kotoran sapi dan mengandung C dan N mudah terurai sehingga memberikan nutrisi yang cepat tersedia bagi mikroba tanah dan tanaman (Washaya & Washaya, 2023). Dengan demikian, keberadaan kambing dalam sistem pertanian terpadu menjamin pasokan nutrisi *on-farm* dengan menyuplai pupuk kandang yang bila dikomposkan atau dimanfaatkan sebagai mulsa terkontrol akan menambah kandungan N yang tersedia untuk jahe dan memperbaiki sifat tanah bagi kelapa dan turi (Washaya & Washaya, 2023; Paul *et al.*, 2020).

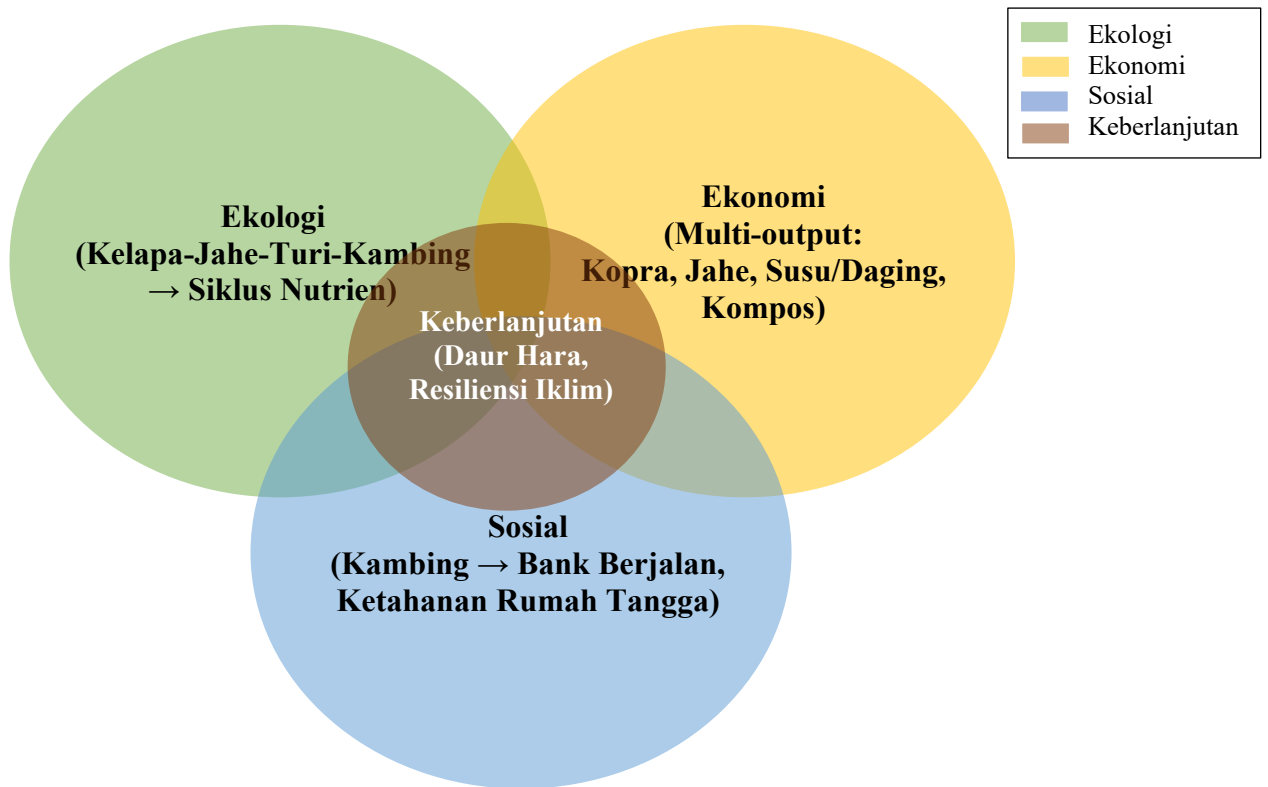
Hasil analisis kotoran kambing menunjukkan rasio C/N relatif rendah yaitu sekitar 5 dan kandungan nitrogen sedang yaitu 1,86% berat basah (Lu *et al.*, 2021). Data rasio C/N pada kotoran kambing belum memenuhi rasio C:N yang disarankan untuk proses komposting optimal yang umumnya berada di kisaran 25-35, sehingga bahan dengan kandungan C rendah biasanya dicampur dengan substrat berserat untuk mencapai rasio target ini (Yaman, 2020). Namun, jika dibandingkan dengan kotoran sapi yang lebih encer dan berkadar air tinggi, kotoran kambing lebih mudah dikomposkan, lebih stabil, serta memiliki risiko kehilangan nitrogen melalui volatilisasi yang lebih rendah. Karakteristik kotoran yang berbeda antar ternak seperti kandungan air, kebutuhan pengomposan dan potensi emisi akan mempengaruhi strategi pengelolaan sebelum aplikasi ke tanah (Goldan *et al.*, 2023). Begitu juga dengan kotoran ayam, walaupun kaya nitrogen yaitu 2-2,3% berdasarkan berat basah (Wehunt *et al.*, 1960), namun kotoran ayam bersifat *hot manure* yaitu kondisi kotoran ayam segar yang kaya nitrogen atau ammonia, memiliki aktivitas mikroba tinggi dan berpotensi menghasilkan kondisi yang merusak tanaman (fitotoksitas) jika diaplikasikan tanpa proses penstabilan terlebih dahulu (Nainggolan *et al.*, 2025; Erickson *et al.*, 2014). Dengan demikian, dari sisi keseimbangan hara dan keamanan aplikasi, kotoran kambing cenderung lebih unggul untuk tanaman berakar rimpang seperti jahe yang sensitif terhadap cekaman lingkungan.

(2) Manfaat dan Keberlanjutan Agrosilvopastura Kelapa-Jahe-Turi-Kambing

Potensi keberlanjutan sistem agrosilvopastura Kelapa-Jahe-Turi-Kambing dapat ditinjau dari tiga dimensi yang mendukung keberlanjutan sistem, yaitu dimensi ekologi, dimensi ekonomi, serta dimensi sosial dan kelembagaan (Gambar 2).

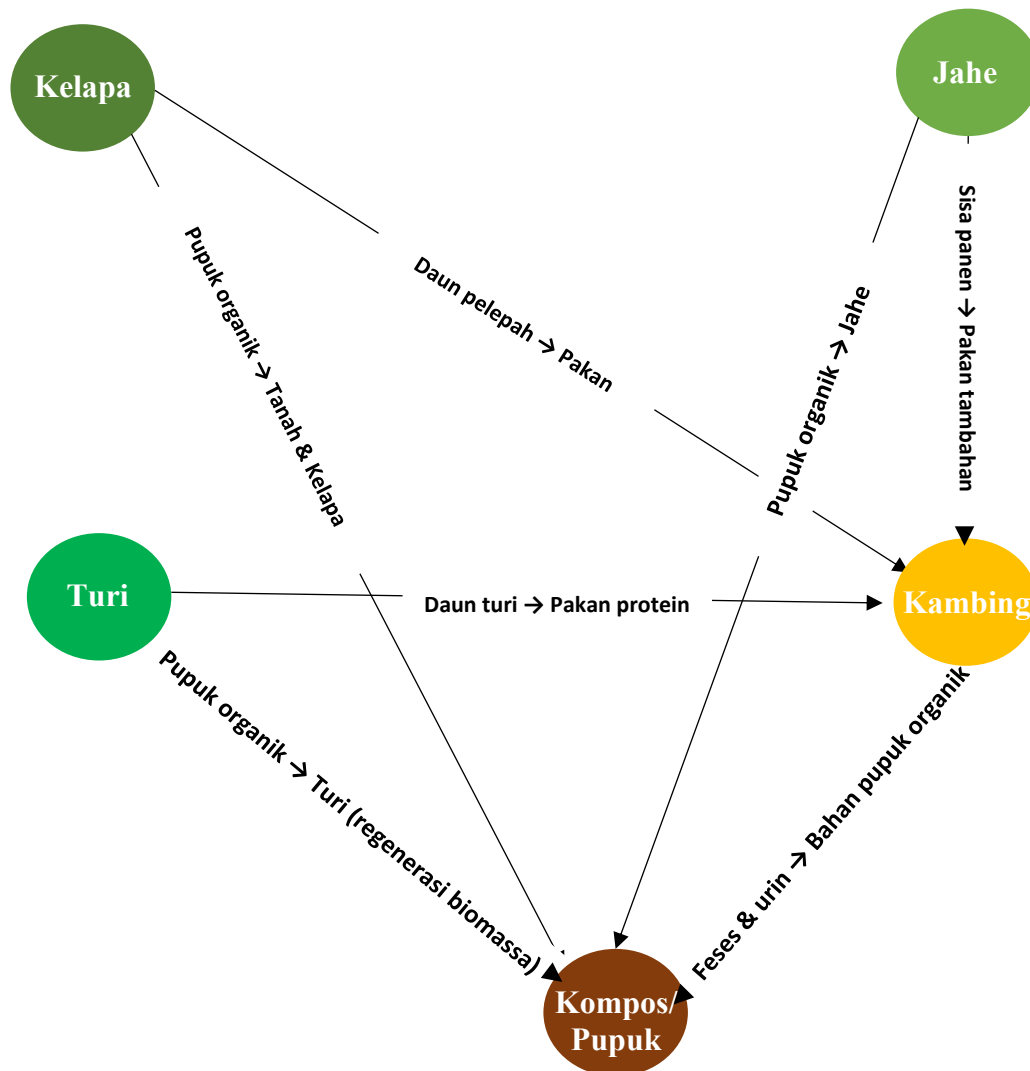
Dimensi Ekologi: Efisiensi Siklus Nutrien dan Konservasi Sumberdaya

Sintesis literatur menegaskan bahwa kombinasi kelapa sebagai struktur utama agroforestri dengan tanaman lain serta ternak dapat membentuk suatu sistem pertanian terpadu yang berkelanjutan (Dissanayaka *et al.*, 2023; Atapattu & Udumann, 2024). Sistem agroforestri berbasis kelapa seperti ini mampu menciptakan interaksi positif yang meningkatkan produktivitas dan stabilitas secara keseluruhan dibandingkan dengan sistem monokultur (Atapattu & Udumann, 2024). Integrasi tanaman tahunan dan perenial, bersama dengan hewan ternak, dapat meningkatkan fungsi ekosistem dengan memperbaiki sifat fisik, biologis, dan kimia tanah serta membuka jalur baru untuk sequestrasi karbon (Dissanayaka *et al.*, 2023).



Gambar 2. Diagram Integrasi Dimensi Sistem Pertanian Terpadu Kelapa-Jahe-Turi-Kambing

Dalam sistem ini (Gambar 3), ternak (seperti kambing) berperan sebagai penghubung siklus hara, dengan mengonversi biomassa menjadi pupuk organik (Dissanayaka *et al.*, 2023). Pengembalian nutrisi ini ke tanah akan mengurangi risiko kegagalan panen dan menyeimbangkan fungsi ekosistem (Dissanayaka *et al.*, 2023). Alur sirkuler ini secara efektif menciptakan "ekosistem mini yang harmonis dan berkelanjutan" yang mengurangi ketergantungan pada input eksternal, mendiversifikasi sumber pendapatan bagi petani, dan meningkatkan ketahanan terhadap perubahan iklim (Dissanayaka *et al.*, 2023; Atapattu & Udumann, 2024).



Gambar 3. Diagram Alir Siklus Biomassa & Nutrien Sistem Pertanian Terpadu Kelapa-Jahe-Turi-Kambing

Dimensi Produktivitas dan Diversifikasi Ekonomi

Secara agronomis dan ekonomi, integrasi jahe sebagai tanaman sela di bawah naungan kelapa terbukti jauh lebih unggul daripada sistem monokultur. Studi menunjukkan bahwa kombinasi kelapa dan jahe dapat meningkatkan produktivitas penggunaan lahan sebesar 56% (ditunjukkan oleh *Land Equivalent Ratio* 1,56) dan menghasilkan laba bersih hampir tiga kali lipat lebih tinggi dibandingkan kebun kelapa monokultur (Thomas *et al.*, 2010). Dalam sistem ini, jahe berfungsi sebagai sumber pendapatan jangka pendek yang cepat, sementara kelapa menyediakan stabilitas pendapatan jangka panjang, sedangkan jangka pendek, jahe sangat penting terutama selama tahap awal kebun kelapa belum produktif.

Penambahan ternak seperti kambing semakin memperkuat sistem ini dengan menciptakan sumber pendapatan tambahan dari produk seperti daging dan susu (Chapin III *et al.*, 2009). Disamping itu, ternak berperan sebagai komponen daur ulang nutrisi, mengubah biomassa berkualitas rendah dan pakan dari pohon leguminoseae seperti turi menjadi pupuk organik. Praktik ini secara signifikan dapat mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia, menekan biaya produksi, dan meningkatkan kesuburan tanah.

Kombinasi multi output yang dihasilkan yang mencakup kopra, jahe, pakan ternak, produk ternak, dan pupuk organik akan menciptakan sistem pertanian yang terdiversifikasi yang menjadi fondasi ketahanan ekoomi bagi rumah tangga usaha tani kecil (Dissanayaka *et al.*,

2023). Dengan tidak bergantung pada satu komoditas, petani terlindungi dari resiko kegagalan panen total dan sistem ini juga berfungsi sebagai “asuransi biologis” terhadap ancaman spesifik seperti hama, penyakit atau variabilitas iklim. Selain itu, diversifikasi pendapatan ini memberikan penyangga finansial yang krusial terhadap volatilisasi harga pasar, di mana pendapatan dari berbagai produk dapat saling mengkompensasi dan menstabilkan arus kas petani sepanjang tahun, sehingga mengurangi ketidakpastian ekonomi yang sering dihadapi dalam pertanian monokultur (Thomas *et al.*, 2010).

Dimensi Sosial dan Kelembagaan

Integrasi ternak kambing dalam sistem pertanian tidak hanya bernilai ekonomis, tetapi juga sosial, karena terbukti menjadi pendorong ekonomi pedesaan dan dapat membantu mengurangi kemiskinan di kalangan usaha tani kecil (Wirasti *et al.*, 2021; Sugiarto *et al.*, 2022). Kambing memberikan kontribusi pendapatan yang signifikan bagi petani, baik melalui produk utama seperti daging dan susu maupun produk sampingan berupa pupuk organik (Wirasti *et al.*, 2021; Fitriani *et al.*, 2023; Asih *et al.*, 2022). Sementara itu, kelapa merupakan komoditas perkebunan utama yang dikelola oleh mayoritas petani di berbagai wilayah di Indonesia, dengan kontribusi signifikan terhadap total produksi nasional (Kairupan *et al.*, 2023). Dalam konteks lokal Pulau Lombok, sinergi ini sangat relevan mengingat pulau Lombok memiliki luasan tanaman kelapa lebih dari 45 ribu ha serta populasi kambing lebih dari 150 ribu ekor (BPS NTB, 2024), sehingga basis sumber daya untuk pengembangan sistem ini sudah tersedia. Dengan demikian, sistem ini memperkuat ketahanan sosial-ekonomi usaha tani kecil dan mendukung pencapaian *Sustainable Development Goals (SDGs)*, khususnya ketahanan pangan, pengentasan kemiskinan, dan pengelolaan sumber daya berkelanjutan.

Dimensi Keberlanjutan dan Ketahanan

Hasil tinjauan literatur menunjukkan bahwa sistem agroforestri agrosilvopastura, yang mengintegrasikan tanaman perkebunan, tanaman semusim, pohon leguminosae, dan ternak memiliki potensi ekologis dan ekonomi yang signifikan. Berikut adalah beberapa manfaat utamanya:

1. **Meningkatkan Cadangan Karbon dan Mengurangi Emisi:** Sistem tumpangsari seperti kelapa dengan turi terbukti meningkatkan laju sekuestrasi karbon secara substansial, bahkan bisa mencapai tiga kali lipat dibandingkan sistem monokultur (Nuwarapaksha *et al.*, 2025). Praktik agroforestri secara umum meningkatkan karbon organik tanah dan kesuburan tanah, yang membuka jalur baru untuk penyerapan karbon (Dissanayaka *et al.*, 2023). Selain itu, integrasi ternak memungkinkan daur ulang nutrisi melalui pupuk organik, yang dapat mengurangi ketergantungan pada pupuk sintetis dan jejak karbon yang terkait (Shanmugam *et al.*, 2024).
2. **Membangun Ketahanan Sistem dan Ekonomi:** Diversifikasi komoditas merupakan strategi inti untuk memperkuat ketahanan pertanian (Shanmugam *et al.*, 2024; Atapattu & Udumann, 2024). Dengan mengintegrasikan berbagai tanaman dan ternak, petani mengurangi risiko kegagalan panen tunggal dan menciptakan sumber pendapatan tambahan yang menstabilkan ekonomi rumah tangga (Dissanayaka *et al.*, 2023). Sistem ini terbukti lebih tahan terhadap variabilitas iklim dan fluktuasi pasar dibandingkan dengan monokultur (Atapattu & Udumann, 2024).

Secara integratif, sistem pertanian ini dapat dipandang sebagai model agroforestri multistrata berkelanjutan yang khas untuk ekosistem tropis. Dalam model ini, kelapa berfungsi sebagai kerangka struktural yang menciptakan iklim mikro bagi tanaman di bawahnya (Dissanayaka *et al.*, 2023). Pohon leguminosae seperti turi berperan ganda sebagai peningkat kesuburan tanah dan sumber pakan berkualitas bagi ternak. Ternak, seperti kambing, berfungsi sebagai motor penggerak siklus hara dan sekaligus aset ekonomi yang memperkuat keberlanjutan sosial rumah tangga petani (Nuwarapaksha *et al.*, 2025). Kombinasi ini menciptakan skenario yang andal untuk meningkatkan produktivitas, keuntungan ekonomi,

memperkuat ketahanan sosial-ekonomi, serta menjaga fungsi ekologi jangka panjang (Shanmugam *et al.*, 2024).

(3) Peluang dan Tantangan Pengembangan Agrosivopastura Kelapa-Jahe-Turi-Kambing Peluang dan Tantangan Ekologis

Integrasi kelapa, jahe, turi, dan kambing dapat dipandang sebagai sistem agroforestri multistrata yang menurunkan stres panas dan evapotranspirasi bagi tanaman sela melalui kanopi moderat serta mendukung peningkatan stok karbon dan layanan keanekaragaman hayati pada lanskap (Ashraf *et al.*, 2019). Pohon peneduh berupa leguminosae seperti turi memberikan biomassa dan memasok nitrogen tersedia melalui fiksasi nitrogen secara biologis sehingga berkontribusi pada akumulasi bahan organik dan peningkatan kesuburan tanah (Shi *et al.*, 2018). Integrasi kambing sebagai ternak kecil melengkapi sirkulasi hara dengan mengubah biomassa menjadi pupuk kandang, memperkuat daur nutrisi dalam sistem dan berpotensi mengurangi ketergantungan pada pupuk sintetis sambil menambah pendapatan rumah tangga (Sari & Jumiyati, 2025). Bukti metaanalitik dan ulasan menunjukkan bahwa sistem agroforestri multistrata umumnya meningkatkan cadangan karbon tanah dan stok karbon di atas tanah serta meningkatkan stabilitas biofisik dan layanan ekosistem dibandingkan monokultur (Shi *et al.*, 2018). Namun desain spasial dan manajemen kerapatan pohon, konfigurasi lorong, intensitas naungan, dan pengelolaan mulsa/kompos harus dioptimalkan untuk menghindari kompetisi cahaya atau hara yang dapat menurunkan hasil tanaman sela (Ashraf *et al.*, 2019; Shi *et al.*, 2018). Di samping itu, praktik naungan dan mulsa yang meningkatkan kelembapan mikro dapat memperpanjang kondisi lembap sehingga perlu pemantauan kelembapan dan sanitasi kompos untuk mengurangi risiko penyakit rimpang dan kehilangan nutrisi melalui volatilisasi (Kenzo *et al.*, 2021). Dengan pengaturan agronomi yang tepat meliputi intensitas naungan sedang, jarak tanam dan pola lorong yang sesuai, praktik pengelolaan bahan organik, serta integrasi pakan dan rotasi ternak, sistem kelapa-jahe-turi-kambing berpotensi menjadi model agroforestri multistrata yang berkelanjutan untuk wilayah tropis lembap kering seperti Pulau Lombok.

Peluang dan Tantangan Sosial

Agrosilvopastura dapat diadopsi bertahap oleh petani kecil karena memanfaatkan input lokal (hijauan turi dan serasah kelapa) dan tenaga kerja keluarga (Race & Wettenhall, 2024; Nyberg *et al.*, 2020). Peran gender dapat menguat, di mana perempuan kerap terlibat pada budidaya jahe, pengolahan kompos, dan manajemen kambing, sehingga sistem ini mendorong pemberdayaan ekonomi rumah tangga (Njiru *et al.*, 2023; Kpoviwanou *et al.*, 2024). Akan tetapi, keberhasilan sistem terpadu menuntut pengetahuan praktis tentang pemangkasan, formulasi pakan, kompos aerob, dan sanitasi kandang (Smith, 2018; Nyberg *et al.*, 2020; Race & Wettenhall, 2024). Tanpa penyuluhan intensif, beban kerja harian bisa meningkat (pemotongan hijauan, pemeliharaan ternak, pengelolaan bedengan), yang berpotensi memicu kelelahan tenaga kerja keluarga (Nyberg *et al.*, 2020). Oleh karena itu, diperlukan model kelompok usaha tani untuk berbagi tenaga atau alat dan penerapan *learning-by-doing* yang mempercepat penguasaan praktik baik.

Peluang dan Tantangan Ekonomi

Secara ekonomi, kombinasi arus kas jangka pendek (jahe), arus kas menengah (kambing), dan arus kas jangka panjang (kelapa) menstabilkan pendapatan dan menurunkan volatilitas risiko pasar (Baker *et al.*, 2023; Danso-Abbeam *et al.*, 2025; Asfaw *et al.*, 2019). Bukti lapangan jangka panjang menunjukkan sistem kelapa dan rempah meningkatkan indeks produktivitas sistem dan pengembalian investasi dibanding monokultur (Atapattu & Udumann, 2024; Rivera, 2015). Penerapan sistem kelapa-rempah dilaporkan dapat memberikan hasil yang lebih tinggi, pendapatan lebih stabil, dan risiko lebih rendah dibanding monokultur (Atapattu & Udumann, 2024; Rivera, 2015). Hijauan pakan dari turi di lahan usaha tani juga dapat menekan biaya pakan yang ditunjukkan dengan adanya efisiensi dan peningkatan produktivitas pada sistem terdiversifikasi (Danso-Abbeam *et al.*, 2025; Rivera, 2015). Akan tetapi di sisi

pembiayaan, petani kecil sangat memerlukan kredit mikro yang selaras siklus arus kas multi-komoditas, serta asuransi cuaca untuk mitigasi risiko iklim (Danso-Abbeam *et al.*, 2025; Asfaw *et al.*, 2019).

Peluang dan Tantangan Kelembagaan

Lembaga kolektif dalam bentuk koperasi atau kelompok tani berperan dalam meningkatkan posisi tawar petani dan menghubungkan mereka ke pasar (Fudjaja *et al.*, 2024; Untari & Vellema, 2022). Hal ini termasuk mengurangi ketergantungan pada tengkulak dan memungkinkan petani menjadi penentu harga daripada hanya penerima harga. Selain itu lembaga kolektif juga diharapkan berperan dalam pengadaan sarana produksi seperti alat cacah hijauan dan biofermentor. Kebijakan berbasis insentif, misalnya subsidi alat kompos, bibit turi bersertifikat, layanan uji tanah gratis dapat mempercepat adopsi dan mengangkat skala usaha. Akan tetapi, tanpa koordinasi lintas dinas, program bisa terfragmentasi, di mana dukungan benih jahe tidak diimbangi pelatihan pakan atau kompos, atau sebaliknya. Diperlukan penyuluhan terpadu satu pintu dan sekolah lapang petani yang mengintegrasikan paket teknologi budidaya jahe, manajemen kelapa, agroforestri turi, dan kesehatan ternak.

Peluang dan Tantangan Teknologi

Kemajuan sensor tanah dan air, pemodelan cahaya (kanopi kelapa), dan irigasi tetes atau mulsa memungkinkan tata letak 1 ha yang presisi untuk mencapai naungan efektif 25–50% dan efisiensi air tinggi (Arjun & Kamalraj, 2024; Meriç, 2025; Abdelmoneim *et al.*, 2025). Penerapan bioinput berupa inokulan *Rhizobium* untuk turi dan starter kompos dapat mempercepat fiksasi N dan dekomposisi. Selain itu, aplikasi digital (mobile extension) mempermudah pemantauan SOP, hama, dan catatan usaha (Meriç, 2025). Akan tetapi, tetap diperlukan standar operasional untuk pemangkasan, densitas lorong, dosis kompos, dan rotasi pakan, agar replikasi konsisten. Pada skala lebih besar, supply chain harus siap menyerap multi-produk. Oleh karena itu, penilaian Life Cycle Assessment (LCA) di tingkat kebun menjadi penting untuk menakar dampak emisi atau jejak air dan menyempurnakan strategi “organik-plus”. Dengan menintegrasikan peluang dan tantangan di atas ke dalam paket teknis hingga kelembagaan, agrosilvopastura kelapa-turi-jahe-kambing menawarkan jalur intensifikasi ekologis yang menguntungkan dan tahan iklim (Arjun & Kamalraj, 2024; Meriç, 2025).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dapat disimpulkan bahwa model agrosilvopastura kelapa, jahe, turi, dan kambing merupakan bentuk intensifikasi ekologis yang strategis dan relevan untuk wilayah semi-kering seperti Lombok, yang mampu meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan agroekosistem sekaligus berkontribusi pada pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG). Model ini mampu menjawab tantangan produktivitas dan ketahanan bagi petani kecil dengan membentuk sinergi antar komponen dimana kelapa berfungsi sebagai tanaman pokok jangka panjang yang menyediakan kerangka struktural, memodifikasi iklim mikro, dan meningkatkan ketersediaan air bagi tanaman sela, jahe sebagai tanaman bernilai ekonomi tinggi untuk memberikan pendapatan jangka pendek, turi, yang berperan ganda sebagai leguminosae fiksator nitrogen untuk menyuburkan tanah dan sebagai sumber pakan hijauan berkualitas tinggi bagi ternak serta kambing yang menutup siklus nutrisi dengan mengubah biomassa dari turi dan sisa tanaman menjadi pupuk organik kaya hara, sehingga mengurangi ketergantungan pada pupuk sintetis dan meningkatkan kesehatan tanah. Sistem ini juga terbukti meningkatkan cadangan karbon tanah dan berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim.

Saran

Perlu dilakukan pengujian lapangan secara riil di lokasi sekitar pulau Lombok, agar dapat dibuktikan secara nyata keunggulan dari sistem agrosilvopastura kelapa-jahe-turi-kambing ini,

dan sekaligus akan dapat menjadi percontohan (demplot) penerapannya, yang dapat ditiru oleh petani sekitarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelmoneim, A. A., Al Kalaany, C. M., Dragonetti, G., Derardja, B., & Khadra, R. (2025). Comparative Analysis of Soil Moisture- and Weather-Based Irrigation Scheduling for Drip-Irrigated Lettuce Using Low-Cost Internet of Things Capacitive Sensors. *Sensors*, 25(5), 1568. <https://doi.org/10.3390/s25051568>
- Achmad, B., Sanudin, B., Siarudin, M., Widiyanto, A., Diniyati, D., Sudomo, A., Hani, A., Fauziyah, E., Suhaendah, E., Widyaningsih, T. S., Handayani, W., Maharani, D., Suhartono, D., Palmolina, M., Swestiani, D., Budi Santoso Sulistiadi, H., Winara, A., Nur, Y. H., Diana, M., ... Ruswandi, A. (2022). Traditional Subsistence Farming of Smallholder Agroforestry Systems in Indonesia: A Review. *Sustainability (Switzerland)*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/su14148631>
- Akchaya, K., Parasuraman, P., Pandian, K., Vijayakumar, S., Thirukumaran, K., Mustaffa, M. R. A. F., Rajpoot, S. K., & Choudhary, A. K. (2025). Boosting resource use efficiency, soil fertility, food security, ecosystem services, and climate resilience with legume intercropping: a review. In *Frontiers in Sustainable Food Systems* (Vol. 9, pp. 1–18). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1527256>
- Alagele, S. M., Jose, S., Anderson, S. H., & Udawatta, R. P. (2021). Hydraulic lift: processes, methods, and practical implications for society. *Agroforestry Systems*, 95(4), 641–657. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00614-w>
- Arachchi, L. P. V. (1998). Preliminary requirements to design a suitable drip irrigation system for coconut (*Cocos nucifera* L.) in gravelly soils. *Agricultural Water Management*, 38(2), 169–180. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(98\)00064-X](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(98)00064-X)
- Arjun, B., & Kamalraj, R. (2024). IoT in Drip Irrigation: Revolutionizing Sustainable Agriculture. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 38(2), 169–180.
- Asfaw, S., Scognamillo, A., Caprera, G. Di, Sitko, N., & Ignaciuk, A. (2019). Heterogeneous impact of livelihood diversification on household welfare: Cross-country evidence from Sub-Saharan Africa. *World Development*, 117, 278–295. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.01.017>
- Ashraf, M., Sanusi, R., Zulkifli, R., Tohiran, K. A., Moslim, R., Ashton-Butt, A., & Azhar, B. (2019). Alley-cropping system increases vegetation heterogeneity and moderates extreme microclimates in oil palm plantations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 276–277, 107632. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107632>
- Asih, A. R. S., Wiryawan, K. G., & Doloksaribu, L. (2022). Feeding coconut meal improves milk production and the quality of Etawah Grade goats. *Livestock Research for Rural Development*, 34(8), 70.
- Atapattu, A. J., Nuwarapaksha, T. D., Udumann, S. S., & Dissanayaka, N. S. (2024b). *Integrated Farming Systems: A Holistic Approach to Sustainable Agriculture* (pp. 89–127). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-97-7517-0_4
- Atapattu, A. J., & Udumann, S. S. (2024). Leveraging Agroforestry Principles for Nature-Based Climate-Smart Solutions for Coconut Cultivation. In *Handbook of Nature-Based Solutions to Mitigation and Adaptation to Climate Change* (pp. 1–28). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-98067-2_166-1
- Badan Pusat Statistik Nusa Tenggara Barat. (2024a). *Luas Areal Tanaman Perkebunan Menurut Kabupaten/Kota dan Jenis Tanaman di Provinsi Nusa Tenggara Barat (ribu ha)*.
- Badan Pusat Statistik Nusa Tenggara Barat. (2024b). *Populasi Ternak Menurut Kabupaten/Kota dan Jenis Ternak di Provinsi Nusa Tenggara Barat (ekor)*.

- Baker, E., Bezner Kerr, R., Deryng, D., Farrell, A., Gurney-Smith, H., & Thornton, P. (2023). Mixed farming systems: potentials and barriers for climate change adaptation in food systems. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 62, 101270. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101270>
- Batas, M. A. A., Flor, R. J., Khumairoh, U., Rala, A., Asmara, D. H., Laborte, A., & Yadav, S. (2025). Understanding smallholder farmers' perceptions of agroecology. *Npj Sustainable Agriculture*, 3(1). <https://doi.org/10.1038/s44264-025-00056-2>
- Boudalia, S., Smeti, S., Dawit, M., Senbeta, E. K., Gueroui, Y., Dots, V., Bousbia, A., & Symeon, G. K. (2024). Alternative Approaches to Feeding Small Ruminants and Their Potential Benefits. In *Animals* (Vol. 14, Issue 6). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/ani14060904>
- Brutti, D. D., Canozzi, M. E. A., Sartori, E. D., Colombatto, D., & Barcellos, J. O. J. (2023). Effects of the use of tannins on the ruminal fermentation of cattle: A meta-analysis and meta-regression. *Animal Feed Science and Technology*, 306, 115806. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115806>
- Carr, M. K. V. (2011). The Water Relations and Irrigation Requirements of Coconut (*Cocos Nucifera*): A Review. *Experimental Agriculture*, 47(1), 27–51. <https://doi.org/10.1017/S0014479710000931>
- Chapin III, F. S., Kofinas, G. P., & Folke, C. (2009). *Principle of Ecosystem Stewardship Resilience-Based Natural Resource Management in a Changing World*. Springer.
- Danso-Abbeam, G., Ogundeji, A. A., Ehiakpor, D. S., Korir, L., & Djokoto, J. (2025). Exploring the linkages between on-farm enterprise diversification and food security in Northern Ghana. *Discover Food*, 5(1), 73. <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00352-3>
- Carvalho, P. C., da Silveira Pontes, L., & Barro, R. S. (2024). Integrated crop-livestock-forestry systems as a nature-based solution for sustainable agriculture. *Agroforest Syst*, 98. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10457-024-01057-9>
- 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, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1162750>
- Dissanayake, S. M., & Palihakkara I R. (2023). Forest and Natural Resource Management 15 (176) Effects on Soil Nutrients from Intercropping of Immature Oil Palm (*Elaeis guineensis*) with Banana, Ginger and Turmeric in the Galle District, Sri Lanka. *Proceedings of International Forestry and Environment Symposium*.
- Dittmer, K. M., Rose, S., Snapp, S. S., Kebede, Y., Brickman, S., Shelton, S., Egler, C., Stier, M., & Wollenberg, E. (2023). Agroecology Can Promote Climate Change Adaptation Outcomes Without Compromising Yield In Smallholder Systems. *Environmental Management*, 72(2), 333–342. <https://doi.org/10.1007/s00267-023-01816-x>
- Duffy, C., Toth, G. G., Hagan, R. P. O., McKeown, P. C., Rahman, S. A., Widyaningsih, Y., Sunderland, T. C. H., & Spillane, C. (2021). Agroforestry contributions to smallholder farmer food security in Indonesia. *Agroforestry Systems*, 95(6), 1109–1124. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00632-8>
- Ekhurutomwen, O. E., Inikio, E. S., & Shittu, O. H. (2023). Coconut-based agroecosystem for carbon sequestration. *PNgAS*, 16(1), 41–57. www.nhptv.org/natureworks/nwepecosystems.htm
- El-Gamal, M. S. (1992). Interactions between *Azotobacter* spp. and *Rhizobium sesbani* into the rhizosphere of *Sesbania sesban* (L.) Merrill plants and its efficiency on growth and symbiotic nitrogen fixation. *Zentralblatt Für Mikrobiologie*, 147(1–2), 112–118. [https://doi.org/10.1016/S0232-4393\(11\)80371-9](https://doi.org/10.1016/S0232-4393(11)80371-9)

- Erickson, M. C., Liao, J., Ma, L., Jiang, X., & Doyle, M. P. (2014). Thermal and Nonthermal Factors Affecting Survival of *Salmonella* and *Listeria monocytogenes* in Animal Manure-Based Compost Mixtures. *Journal of Food Protection*, 77(9), 1512–1518. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-14-111>
- Fitriani, F., Widiati, R., & Kusumastuti, T. A. (2023). Penilaian Ekonomi Integrasi Sumberdaya Lokal Tanaman dan Kambing Peranakan Ettawa di Jawa Tengah. *JURNAL TRITON*, 14(2), 601–617. <https://doi.org/10.47687/jt.v14i2.495>
- Fudjaja, L., Ryadha, R., Saadah Saadah, Viantika, N. M., Ridwan, M., & Darma, R. (2024). Fostering cocoa industry resilience: A collaborative approach to managing farm gate price fluctuations in West Sulawesi, Indonesia. *Open Agriculture*, 9(1). <https://doi.org/10.1515/opag-2022-0312>
- Goldan, E., Nedef, V., Barsan, N., Culea, M., Panainte-Lehadus, M., Mosnegutu, E., Tomozei, C., Chitimus, D., & Irimia, O. (2023). Assessment of Manure Compost Used as Soil Amendment—A Review. *Processes*, 11(4), 1–16. <https://doi.org/10.3390/pr11041167>
- Grass, I., Kubitz, C., Krishna, V. V., Corre, M. D., Mußhoff, O., Pütz, P., Drescher, J., Rembold, K., Ariyanti, E. S., Barnes, A. D., Brinkmann, N., Brose, U., Brümmer, B., Buchori, D., Daniel, R., Darras, K. F. A., Faust, H., Fehrmann, L., Hein, J., ... Wollni, M. (2020). Trade-offs between multifunctionality and profit in tropical smallholder landscapes. *Nature Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15013-5>
- Gusmão, M., Fernandes, Z., dos Santos, J., Sotirios, A. V., & Siddique, K. H. M. (2025). Integrating farmers' views, field soil erosion assessment, and pot experiments to evaluate different agroforestry systems in Timor-Leste. *Agroforestry Systems*, 99(3), 50. <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01147-2>
- Hambakodu, M., Kaka, A., & Ina, Y. T. (2020). Kajian In Vitro Kecernaan Fraksi Serat Hijauan Tropis pada Media Cairan Rumen Kambing. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Peternakan Tropis*, 7(1), 29. <https://doi.org/10.33772/jitro.v7i1.8907>
- Hang, B. P. T., Lam, V., Trang, T. T., Preston T.R., & Ledin, I. (2010). Effect of replacing Melastoma (*Melastoma affine*, D. Don) foliage with *Sesbania grandiflora* on intake, digestibility and N retention of growing goats. *Livestock Research for Rural Development*, 22.
- Horton, J. L., & Hart, S. C. (1998). Hydraulic lift: a potentially important ecosystem process. *Trends in Ecology & Evolution*, 13(6), 232–235. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(98\)01328-7](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(98)01328-7)
- Jung, D. R., & Vendrametto, O. (2025). Agroforestry for Food Security and Public Health: A Comprehensive Review. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 22, Issue 4). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/ijerph22040645>
- Kairupan, A., G. Kindangen, J., H. Joseph, G., T.P. Hutapea, R., Erik Malia, I., C. Paat, P., Polakitan, D., Polakitan, A., B. Markus Rawung, J., Lintang, M., O.M. Sondakh, J., Layuk, P., Grietjie Tandi, O., N. Salamba, H., H. Kario, N., Anugrah Lase, J., & Barlina, R. (2023). *Value Chain Implementation in Rural-Scale Integrated Coconut Farming System in North Sulawesi Province, Indonesia*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.110190>
- Kaitho, R. J., Nsahlai, I. V., Williams, B. A., Umunna, N. N., Tamminga, S., & van Bruchem, J. (1997). Relationships between preference, rumen degradability, gas production and chemical composition of browses. *Agroforestry Systems*, 39(2), 129–144. <https://doi.org/10.1023/A:1005913119236>
- Kebede, E. (2021). Contribution, Utilization, and Improvement of Legumes-Driven Biological Nitrogen Fixation in Agricultural Systems. In *Frontiers in Sustainable Food Systems* (Vol. 5, pp. 1–18). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.767998>

- Kenzo, T., Yoneda, R., & Azani, M. A. (2021). Artificial shade shelters mitigate harsh microclimate conditions and enhance growth in tropical tree seedlings planted in degraded land. *Tropics*, 29(4), 121–132. <https://doi.org/10.3759/tropics.MS20-07>
- Kpoviwanou, M. R. J. H., Wédjangnon, A. A., Houèchégnon, T., Sourou, B. N. K., & Ouinsavi, C. A. I. N. (2024). Gender and endogenous knowledge inclusion for agroforestry systems improvement in Benin, West Africa. *Agroforestry Systems*, 98(6), 1399–1419. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-01010-w>
- Kumar, B. M., & Kunhamu, T. K. (2022). Nature-based solutions in agriculture: A review of the coconut (*Cocos nucifera* L.)-based farming systems in Kerala, “the Land of Coconut Trees.” *Nature-Based Solutions*, 2, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100012>
- Kurnianingsih, A., Sudradjat, Sudirman Yahya, Suryo Wiyono, & Happy Widiastuti. (2022). Optimalisasi Produksi dan Pertumbuhan Tanaman Jahe pada Beberapa Naungan. *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 13(3), 133–139. <https://doi.org/10.29244/jhi.13.3.133-139>
- Kwesiga, F., & Coe, R. (1994). The effect of short rotation *Sesbania sesban* planted fallows on maize yield. *Forest Ecology and Management*, 64(2–3), 199–208. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(94\)90294-1](https://doi.org/10.1016/0378-1127(94)90294-1)
- Lashley, W. E., Yang, G., & Robinson, J. (2024). Comparative Study of Ginger Cultivars under Shading Conditions in a High Tunnel. *HortScience*, 59(10), 1451–1456. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI18024-24>
- Lu, J., Wang, J., Gao, Q., Li, D., Chen, Z., Wei, Z., Zhang, Y., & Wang, F. (2021). Effect of microbial inoculation on carbon preservation during goat manure aerobic composting. *Molecules*, 26(15), 1–16. <https://doi.org/10.3390/molecules26154441>
- Lv, Y., Li, Y., Liu, X., & Xu, K. (2020). Photochemistry and proteomics of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) under drought and shading. *Plant Physiology and Biochemistry*, 151, 188–196. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.03.021>
- Makkar, H. P. S. (2003). Effects and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds. *Small Ruminant Research*, 49(3), 241–256. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(03\)00142-1](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(03)00142-1)
- Marçal, M. F. M., de Souza, Z. M., Tavares, R. L. M., Farhate, C. V. V., Monteiro Júnior, R. E., Lima, E. de S., & Lovera, L. H. (2022). Potential Use of Quartzipisamment under Agroforestry and Silvopastoral System for Large-Scale Production in Brazil. *Agronomy*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/agronomy12040905>
- Masutha, T. H., Muofhe, M. L., & Dakora, F. D. (1997). Evaluation of N₂ fixation and agroforestry potential in selected tree legumes for sustainable use in South Africa. *Soil Biology and Biochemistry*, 29(5–6), 993–998. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(96\)00216-7](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(96)00216-7)
- Meriç, M. K. (2025). Implementation of a wireless sensor network for irrigation management in drip irrigation systems. *Scientific Reports*, 15(1), 14157. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-97303-w>
- Mukhlis, I., Syamsu Rizaludin, M., & Hidayah, I. (2022). Understanding Socio-Economic and Environmental Impacts of Agroforestry on Rural Communities. *Forests*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/f13040556>
- Nabillah, R., Fawzi, N. I., Awuh, H. E., Rijanta, Qurani, I. Z., Suwardi, & Danapriatna, N. (2025). Exploring the dynamics of supply chain sustainability and resilience in the coconut agriculture: the case of Indragiri Hilir in Indonesia. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-025-06756-6>
- Nainggolan, E. P., Hamdani, R., Daulay, S. D. A., & Nasution, D. R. (2025). Edukasi Tentang Pengolahan Sisa Kotoran Ayam Menjadi Pupuk Organik Yang Ramah Lingkungan Untuk Tanaman Mentimun di Desa Suka Makmur. *Aksi Nyata: Jurnal Pengabdian Sosial Dan Kemanusiaan*, 2(1), 105–110.

- Njiru, N., Galiè, A., Wanyoike, F., Tawanda, M., Boonabaana, B., Bisikwa, J., Njuguna-Mungai, E., Jones, C. S., & Baltenweck, I. (2023). Exploration of gender dynamics in the production and marketing of forage technologies in Kenya. *Frontiers in Animal Science*, 4. <https://doi.org/10.3389/fanim.2023.1113243>
- Nuwarapaksha, T. D., Dilhan, R. M. C. P., Udumann, S. S., Ranasinghe, C. S., Egodawatta, W. C. P., Dissanayaka, N. S., Raveendra, T., & Atapattu, A. J. (2025). Estimation of the total carbon sequestration potential of coconut-gliricidia mixed cropping systems in Sri Lanka. *Carbon Footprints*, 4(1). <https://doi.org/10.20517/cf.2024.31>
- Nyberg, Y., Musee, C., Wachiye, E., Jonsson, M., Wetterlind, J., & Öborn, I. (2020). Effects of Agroforestry and Other Sustainable Practices in the Kenya Agricultural Carbon Project (KACP). *Land*, 9(10), 389. <https://doi.org/10.3390/land9100389>
- Omo, G. D., & Limon, R. F. (2023). Response of Ginger (*Zingiber officinale*) on the duration of irrigation. *J. Bio. & Env. Sci*, 2023(6), 220–226.
- Panda, N., Sarangi, S., Subudhi, S., & Das, H. (2020). Potentials of coconut (*Cocos nucifera*) based agroforestry system in soil quality management in coastal Odisha. *International Journal of Chemical Studies*, 8(4), 1904–1909. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i4t.9907>
- Patra, A. K., & Saxena, J. (2011). Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(1), 24–37. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4152>
- Paul, B. K., Koge, J., Maass, B. L., Notenbaert, A., Peters, M., Groot, J. C. J., Tittonell, P., & Org, P. (2020). Tropical forage technologies can deliver multiple benefits in Sub-Saharan Africa. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 40(22), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00626-3/Published>
- Race, D., Suka, A. P., OKtalina, S. N., Bisjoe, A. R., Muin, N., & Arianti, N. (2022). Modern Smallholders: Creating Diversified Livelihoods and Landscapes in Indonesia. *Small-Scale Forestry*, 21. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11842-021-09495-4>
- Race, D., & Wettenhall, G. (2024). *Raising trees and livelihoods: Experiences of integrating trees into smallholder farming systems*. ACIAR.
- Reddy, V., & Sang-Arun, J. (2011). Promoting Coconut-Based Agro-Ecosystem and Efficient Product Utilisation for augmenting on-farm income, improving quality of environment and conserving natural resources 1. *Occasional Paper, IGES*, 25.
- Ribeiro-Barros, A. I., Silva, M. J., Moura, I., Ramalho, J. C., Máguas-Hanson, C., & Ribeiro, N. S. (2018). The Potential of Tree and Shrub Legumes in Agroforestry Systems. In *Nitrogen in Agriculture - Updates*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.69995>
- Rivera, V. E. (2015). Assessing the Productivity, Resilience and sustainability of Diversified Farming System as an Agroecological Approach to Upland Resource Management. *Journal of Management and Development Studies*, 4, 22–34.
- Sari, I. A., & Jumiayati, S. (2025). Forestry: Jurnal Ilmu Kehutanan Agroforestry as Climate Action: Evidence from Carbon Sequestration to Food Security. *Forestry: Jurnal Ilmu Kehutanan*, 1(1), 44–57. <https://journal.idscipub.com/forestry>
- Schwendenmann, L., Pendall, E., Sanchez-Bragado, R., Kunert, N., & Hölscher, D. (2015). Tree water uptake in a tropical plantation varying in tree diversity: interspecific differences, seasonal shifts and complementarity. *Ecohydrology*, 8(1), 1–12. <https://doi.org/10.1002/eco.1479>
- Setyaningrum, D., Budiastuti, M. T. S., Purnomo, D., & Suhita, C. P. (2024). The Role of Organic Fertilizer and Tree Pruning on the Growth and Nitrogen, Phosphate and Potassium Uptake of Red Ginger in Sengon Agroforestry System. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 19(6), 2205–2212. <https://doi.org/10.18280/ijdne.190637>

- Shanmugam, P. M., Sangeetha, S. P., Prabu, P. C., Varshini, S. V., Renukadevi, A., Ravisankar, N., Parasuraman, P., Parthipan, T., Satheeshkumar, N., Natarajan, S. K., & Gopi, M. (2024). Crop–livestock-integrated farming system: a strategy to achieve synergy between agricultural production, nutritional security, and environmental sustainability. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1338299>
- Shi, L., Feng, W., Xu, J., & Kuzyakov, Y. (2018). Agroforestry systems: Meta-analysis of soil carbon stocks, sequestration processes, and future potentials. *Land Degradation & Development*, 29(11), 3886–3897. <https://doi.org/10.1002/ldr.3136>
- Shil, S., Raj, A. K., Bhardwaj, A., Dash, U., Maurya, L. L., Ashwath, M. N., Mankur, M. K., & Kumar, V. (2025). A Comprehensive Analysis of Silvipastoral Potential in Indian Agroforestry Landscapes. *Small-Scale Forestry*, 24(3), 179–209. <https://doi.org/10.1007/s11842-025-09597-3>
- Smith, E. (2018). *The role of local knowledge in developing context sensitive agroforestry options for smallholder farmers*. Bangor University.
- Statistik, B. P. (2023). *Sensus Pertanian 2023*. Sensus Pertanian 2023. <https://sensus.bps.go.id/topik/tabular/st2023/228/0/0>
- Tendwa, M. E. (2018). *Nodulation And Nitrogen Fixation Potential of Sesbania Spp. Rhizobia On Sesbania Sesban (L.) Merr. And Rose Coco (Phaseolus Vulgaris L.)*. Kenyatta University.
- Tessema, Z., & Baars, R. M. T. (2004). Chemical composition, in vitro dry matter digestibility and ruminal degradation of Napier grass (*Pennisetum purpureum* (L.) Schumach.) mixed with different levels of *Sesbania sesban* (L.) Merr. *Animal Feed Science and Technology*, 117(1–2), 29–41. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2004.08.001>
- Thomas, G. V., Krishnakumar, V., Maheswarappa, H. P., & Palaniswami, C. (2010). *Central Plantation Crops Research Institute. (Indian Council Of Agricultural Research)*. Central Plantation Crops Research Insitute.
- Tumana, Hendri, & Soetjipto Moeljono. (2025). Development strategy to enhance local agroforestry based on nutmeg in Murano village Kaimana regency west Papua province. *GSC Advanced Research and Reviews*, 24(1), 062–079. <https://doi.org/10.30574/gscarr.2025.24.1.0190>
- Untari, D. W., & Vellema, S. (2022). Are Collective Trading Organisations Necessarily Inclusive of Smallholder Farmers?: A Comparative Analysis of Farmer-led Auctions in the Javanese Chilli Market. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 35(4), 19. <https://doi.org/10.1007/s10806-022-09891-6>
- van Eys, J. E., Mathius, I. W., Pongsapan, P., & Johnson, W. L. (1986). Foliage of the tree legumes *gliricidia*, *leucaena*, and *sesbania* as supplement to napier grass diets for growing goats. *The Journal of Agricultural Science*, 107(2), 227–233. <https://doi.org/10.1017/S0021859600087013>
- Washaya, S., & Washaya, D. D. (2023). Benefits, concerns and prospects of using goat manure in sub-Saharan Africa. *Pastoralism*, 13(28), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s13570-023-00288-2>
- Wehunt, K. E., Fuller, H. L., & Edward Jr., H. M. (1960). The Nutrisional Value of Hydrolyzed Poultry Manure for Boiler Chicken. *Poultry Science*, 39(4), 1057–1063.
- Widianto, K. H., Suharjito, D., & Sardjono, M. A. (2003). *Functions and roles of agroforestry*. ICRAF.
- Wirasti, C. A., Gunawan, Andarwati, S., & Budisatria, I. G. S. (2021). The effect of technology on the development and income of goat business in Kulon Progo, Yogyakarta. *E3S Web of Conferences*, 306, 02039. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130602039>

- Wortmann, C. S., & Kaizzi, C. K. (2000). Tree legumes in medium-term fallows: N₂ fixation, nitrate recovery and effects on subsequent crops. *African Crop Science Journal*, 8(3). <https://doi.org/10.4314/acsj.v8i3.27691>
- Yaman, C. (2020). Monitoring of biochemical parameters and ghg emissions in bioaugmented manure composting. *Processes*, 8(681), 1–13. <https://doi.org/10.3390/PR8060681>
- Yang, B., Meng, X., Singh, A. K., Wang, P., Song, L., Zakari, S., & Liu, W. (2020). Intercrops improve surface water availability in rubber-based agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 298, 106937. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106937>
- Yongxing, Z., Yifan, J., & Junliang, Y. (2025). Effects of Kiwifruit and Ginger Intercropping on Photosynthetic Characteristics and Yield of Ginger. *JOURNAL OF YUNNAN AGRICULTURAL UNIVERSITY (Natural Science)*, 40(1), 128–134.
- Yusriadi, Y., Cahaya, A., & Hamzah, F. (2024). Farmer adaptation strategies through local farming systems in Enrekang, Indonesia. *Scientific Reports*, 14(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-72953-4>