Panthera : Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan
E-ISSN 2808-246X; P-ISSN 2808-3636
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2650-2666
Email: pantherajurnal@gmail.com

INTEGRASI GAMAL (*Gliricidia sepium*), JAGUNG, DAN TERNAK DALAM SISTEM TANAMAN BERLAPIS UNTUK AGROINDUSTRI BERKELANJUTAN: *LITERATURE REVIEW*

Sudarli[1]*, Zainuri[2], Sri Widyastuti[3], & Syahrul[4]
[1]Program Studi Doktor Pertanian Berkelanjutan, Pascasarjana, Universitas Mataram, Jalan Majapahit Nomor 62, Mataram, Nusa Tenggara Barat 83115, Indonesia
[1]Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Kabupaten Sumbawa, Jalan Manggis Nomor 2, Sumbawa, Nusa Tenggara Barat 84313, Indonesia
[2&3]Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknik Pertanian, Universitas Mataram, Jalan Majapahit Nomor 62, Mataram, Nusa Tenggara Barat 83115, Indonesia
[4]Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jalan Majapahit Nomor 62, Mataram, Nusa Tenggara Barat 83115, Indonesia
**Email: darli306@gmail.com*
Submit: 30-04-2026; Accepted: 10-05-2026; Published: 30-10-2026

ABSTRAK: Agroindustri berkelanjutan memerlukan model produksi yang tidak hanya meningkatkan hasil, tetapi juga memperbaiki fungsi ekologis, mengurangi ketergantungan terhadap *input* eksternal, dan sesuai dengan struktur sosial-budaya petani. Kajian ini bertujuan menganalisis potensi sistem tanaman berlapis berbasis integrasi gamal (*Gliricidia sepium*), jagung (*Zea mays* L.), dan ternak sebagai model agroindustri berkelanjutan pada wilayah lahan kering. Metode yang digunakan adalah *Systematic Literature Review* (SLR) dengan mengacu pada pedoman PRISMA 2020. Literatur diperoleh melalui basis data *Scopus*, *Web of Science*, *ScienceDirect*, *SpringerLink*, dan *Google Scholar* dengan cakupan publikasi tahun 2020-2026. Hasil kajian menunjukkan bahwa gamal berfungsi sebagai sumber nitrogen biologis, biomassa organik, pakan ternak, dan komponen konservasi tanah. Integrasi gamal-jagung berpotensi meningkatkan produktivitas melalui perbaikan siklus hara, efisiensi penggunaan nitrogen, dan peningkatan bahan organik tanah. Sedangkan integrasi ternak memperkuat ekonomi sirkular melalui pemanfaatan biomassa tanaman dan pengembalian kotoran ternak ke lahan. Dari perspektif sosial-budaya, adopsi sistem dipengaruhi oleh pengetahuan petani, layanan penyuluhan, akses modal, kelembagaan, dan kesesuaian dengan praktik lokal. Kajian ini menyimpulkan bahwa sistem gamal-jagung-ternak berpotensi dikembangkan sebagai model agroindustri berkelanjutan berbasis lahan kering melalui penerapan desain teknis spesifik lokasi, pendampingan petani, dan dukungan kebijakan integratif.

Kata Kunci: Agroindustri Berkelanjutan, Gamal, Integrasi Tanaman-Ternak, Jagung, Lahan Kering.

ABSTRACT: *Sustainable agroindustry requires a production model that not only increases yields but also improves ecological functions, reduces dependence on external inputs, and is in accordance with the socio-cultural structure of farmers. This study aims to analyze the potential of a layered cropping system based on the integration of gamal (Gliricidia sepium), corn (Zea mays L.), and livestock as a sustainable agro-industry model in dryland areas. The method used is a Systematic Literature Review (SLR) with reference to the PRISMA 2020 guidelines. Literature was obtained through Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink, and Google Scholar databases with a publication coverage of 2020-2026. The results of the study indicate that gamal functions as a source of biological nitrogen, organic biomass, animal feed, and a component of soil conservation. The integration of gamal-corn has the potential to increase productivity through improving nutrient cycling, nitrogen use efficiency, and increasing soil organic matter. Meanwhile, livestock integration strengthens the circular economy through the utilization of plant biomass and the return of livestock manure to the land. From a socio-cultural perspective, system adoption is influenced by farmer knowledge, extension services, access to capital, institutions, and suitability with local practices. This study concludes that the gamal-corn-livestock system has the*



Panthera : Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan
E-ISSN 2808-246X; P-ISSN 2808-3636
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2650-2666
Email: pantherajurnal@gmail.com

potential to be developed as a sustainable dryland-based agro-industry model through the application of site-specific technical design, farmer mentoring, and integrative policy support.

Keywords: *Sustainable Agroindustry, Gamal, Crop-Livestock Integration, Corn, Dryland.*

How to Cite: Sudarli, S., Zainuri, Z., Widyastuti, S., & Syahrul, S. (2026). Integrasi Gamal (*Gliricidia sepium*), Jagung, dan Ternak dalam Sistem Tanaman Berlapis untuk Agroindustri Berkelanjutan: *Literature Review*. *Panthera : Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan, 6*(4), 2650-2666. https://doi.org/10.36312/panthera.v6i4.1683



Panthera : Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan *is Licensed Under a CC BY-SA Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License*.

PENDAHULUAN

Pertanian berkelanjutan menjadi agenda penting dalam pembangunan agroindustri karena sistem produksi pangan menghadapi tekanan simultan berupa degradasi lahan, ketidakpastian iklim, kenaikan harga *input*, serta meningkatnya kebutuhan pangan dan pakan. Urgensi tersebut semakin nyata di Indonesia, mengingat luas lahan kering mencapai sekitar 144,47 juta hektare, dengan 99,65 juta hektare di antaranya berpotensi dikembangkan untuk kegiatan pertanian (Kementerian Pertanian RI, 2023). Meskipun memiliki potensi yang luas, pemanfaatan lahan kering masih menghadapi berbagai kendala, seperti rendahnya kesuburan tanah, keterbatasan sumber air, tingginya risiko erosi, dan ketidakstabilan produktivitas akibat ketergantungan terhadap curah hujan.

Kondisi tersebut relevan dengan karakteristik agroekosistem Nusa Tenggara Barat (NTB), khususnya Pulau Sumbawa yang didominasi kawasan lahan kering beriklim kering. Pengembangan komoditas jagung di wilayah ini masih menghadapi tantangan berupa dominasi pola tanam monokultur dan belum optimalnya keterkaitan antara kegiatan budidaya tanaman dengan pemeliharaan ternak. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya pengembangan sistem agroindustri yang mampu mengintegrasikan pemanfaatan sumber daya lokal secara lebih efisien dan berkelanjutan (Kementerian Pertanian RI, 2016).

Sistem pertanian konvensional berbasis monokultur dan penggunaan *input* eksternal yang tinggi cenderung berorientasi pada produktivitas jangka pendek, tetapi tidak selalu mampu mempertahankan kesuburan tanah, stabilitas ekosistem, dan ketahanan ekonomi rumah tangga petani (Andana *et al.*, 2023). Oleh karena itu, agroindustri berkelanjutan perlu dipahami sebagai sistem produksi, pengolahan, dan pemanfaatan sumber daya pertanian yang membangun keterkaitan fungsional antara komponen tanaman, ternak, tanah, air, tenaga kerja, dan pasar secara efisien.

Salah satu pendekatan yang relevan adalah sistem tanaman berlapis atau agroforestri multistrata. Sistem ini mengombinasikan tanaman pohon, tanaman semusim, dan/atau ternak dalam satu unit pengelolaan lahan. Secara ekologis, agroforestri meniru sebagian struktur ekosistem alami melalui pemanfaatan ruang vertikal dan horizontal, sehingga berpotensi meningkatkan siklus hara, bahan organik tanah, konservasi air, dan keanekaragaman hayati. Meta-analisis

menunjukkan bahwa agroforestri dapat memberikan manfaat terhadap produktivitas dan jasa ekosistem, meskipun hasilnya sangat dipengaruhi oleh jenis pohon, kondisi tanah, curah hujan, umur sistem, dan manajemen biomassa (Baier *et al.*, 2023; Kuyah *et al.*, 2019).

Gamal (*Gliricidia sepium*) merupakan tanaman leguminosa tropis yang sering digunakan sebagai pagar hidup, pohon penaung, sumber biomassa, pupuk hijau, dan pakan ternak. Keunggulan gamal terletak pada kemampuannya menghasilkan biomassa relatif cepat, memperkaya nitrogen melalui fiksasi biologis, dan menyediakan bahan organik yang dapat dikembalikan ke tanah. Kajian Alamu *et al.* (2023) menunjukkan bahwa penggunaan daun, ranting, mulsa, dan biochar gamal dapat memperbaiki indikator kesuburan tanah, antara lain karbon organik, nitrogen, fosfor tersedia, pH, kapasitas tukar kation, dan bahan organik tanah. Pada sistem berbasis jagung, integrasi pohon leguminosa juga dilaporkan meningkatkan hasil jagung, terutama ketika residu pangkasan dikembalikan ke tanah dan sistem dirancang sesuai kondisi agroekologi setempat (Baier *et al.*, 2023).

Jagung memiliki posisi strategis dalam agroindustri lahan kering karena berfungsi sebagai sumber pangan, bahan baku pakan, dan komoditas ekonomi rumah tangga. Peran tersebut tercermin dari data Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Nusa Tenggara Barat (2025), yang mencatat bahwa luas panen jagung di NTB pada 2024 mencapai 173,76 ribu hektare dengan produksi jagung pipilan kering sebesar 1,21 juta ton. Meskipun memiliki kapasitas produksi yang cukup besar, produksi tersebut mengalami penurunan sebesar 5,56% dibandingkan tahun sebelumnya, sehingga diperlukan strategi pengelolaan pertanian yang mampu meningkatkan produktivitas sekaligus menjaga keberlanjutan sumber daya lahan. Tantangan tersebut semakin kompleks pada agroekosistem lahan kering yang umumnya menghadapi keterbatasan bahan organik, nitrogen, kapasitas simpan air, dan stabilitas agregat tanah.

Sistem gamal-jagung menawarkan peluang untuk mengurangi ketergantungan terhadap pupuk sintetis melalui penyediaan biomassa organik dan perbaikan kesuburan tanah. Integrasi dengan ternak juga berpotensi meningkatkan efisiensi pemanfaatan biomassa jagung sebagai sumber pakan serta kotoran ternak sebagai sumber bahan organik bagi tanah. Studi jangka panjang di Malawi menunjukkan bahwa tumpangsari jagung-gamal dapat meningkatkan kandungan karbon dan nitrogen tanah serta memperkuat stabilisasi bahan organik melalui pembentukan agregat tanah (Maier *et al.*, 2023). Temuan tersebut relevan bagi pengembangan model gamal-jagung-ternak di Nusa Tenggara Barat sebagai pendekatan integratif untuk meningkatkan produktivitas pertanian, mendukung ketersediaan pakan ternak, dan memperkuat ketahanan agroekosistem lahan kering.

Komponen ternak memperluas manfaat sistem karena biomassa gamal dan limbah jagung dapat dimanfaatkan sebagai pakan, sedangkan kotoran ternak dapat dikembalikan ke lahan sebagai pupuk organik. *Review* Sekaran *et al.* (2021) menegaskan bahwa sistem integrasi tanaman-ternak dapat meningkatkan produktivitas, ketahanan pangan, pendapatan, dan resiliensi, tetapi keberhasilannya memerlukan dukungan kelembagaan, pasar, modal, dan

Panthera : Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan
E-ISSN 2808-246X; P-ISSN 2808-3636
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2650-2666
Email: pantherajurnal@gmail.com

pengetahuan teknis. Integrasi tanaman-ternak-pohon juga dipandang sebagai *nature-based solution* karena mampu mengembalikan siklus hara, memperkuat multifungsi lahan, dan mendukung mitigasi perubahan iklim (de Faccio Carvalho *et al.*, 2024).

Meskipun demikian, integrasi gamal, jagung, dan ternak tidak bebas dari tantangan. Kehadiran pohon dapat menimbulkan kompetisi cahaya, air, dan hara bila jarak tanam, pemangkasan, dan kepadatan pohon tidak dikelola secara tepat. Dari sisi sosial, adopsi agroforestri dipengaruhi oleh pendidikan, luas lahan, persepsi terhadap erosi, akses penyuluhan, dan kesadaran petani terhadap manfaat jangka panjang (Tega & Bojago, 2024). Dari sisi budaya, sistem ini berpeluang diterima karena praktik pagar hidup, pemanfaatan hijauan pakan, dan daur ulang limbah organik telah dikenal dalam banyak komunitas pedesaan; namun modernisasi pertanian sering menggeser praktik tersebut menuju monokultur intensif.

State of the art menunjukkan bahwa kajian terdahulu banyak membahas agroforestri, produktivitas jagung, jasa ekosistem, atau integrasi tanaman-ternak secara terpisah. Kesenjangan penting terletak pada kurangnya sintesis yang menghubungkan gamal, jagung, dan ternak sebagai satu model agroindustri berkelanjutan yang dianalisis secara teknis, ekologis, sosial, dan budaya. Oleh karena itu, kajian ini bertujuan menganalisis potensi, mekanisme, tantangan, dan strategi pengembangan sistem tanaman berlapis gamal-jagung-ternak sebagai model agroindustri berkelanjutan, terutama untuk wilayah lahan kering.

METODE

Kajian ini menggunakan metode *systematic literature review* dengan pendekatan sintesis tematik. Pelaporan seleksi literatur mengikuti prinsip PRISMA 2020 yang menekankan transparansi pada tahapan identifikasi, penyaringan, kelayakan, dan inklusi artikel (Page *et al.*, 2021). Penelusuran dilakukan pada publikasi periode 2020-2026 melalui lima sumber utama, yaitu *Scopus*, *Web of Science*, *ScienceDirect*, *SpringerLink*, dan *Google Scholar*. Rentang tahun tersebut dipilih untuk memperoleh literatur mutakhir, sedangkan beberapa referensi konseptual yang terbit sebelum 2020 tetap digunakan secara terbatas apabila memiliki relevansi kuat dan masih berada dalam rentang 10 tahun terakhir sesuai kaidah rujukan jurnal.

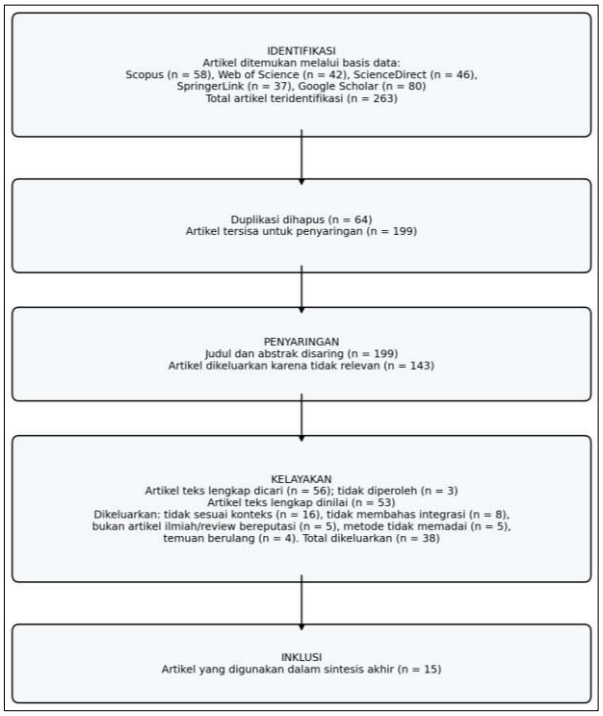
Kata kunci disusun dalam bahasa Inggris dan Indonesia dengan kombinasi operator *Boolean*, antara lain: "*Gliricidia sepium*" *AND maize*; "*agroforestry*" *AND* "*maize yield*"; "gamal" *AND* "pakan ternak"; "*crop livestock integration*" *AND sustainability*; "*silvopastoral system*" *AND ecosystem services*; "*agroforestry adoption*" *AND smallholder*; serta "*sustainable agroindustry*" *AND dryland*. Agar proses seleksi literatur dapat ditelusuri secara transparan, kriteria inklusi dan eksklusi disajikan dalam bentuk tabel. Tabel 1 memperlihatkan batasan jenis publikasi, tahun terbit, substansi kajian, kualitas metode, bahasa, dan kelengkapan identitas rujukan yang digunakan dalam menentukan kelayakan artikel untuk dianalisis. Proses analisis selanjutnya dilakukan dengan mengelompokkan temuan berdasarkan tema utama untuk mengidentifikasi pola, keterkaitan, dan kesenjangan penelitian yang relevan.

Panthera : Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan
E-ISSN 2808-246X; P-ISSN 2808-3636
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2650-2666
Email: pantherajurnal@gmail.com

Tabel 1. Kriteria Inklusi dan Eksklusi Literatur.

Komponen	Kriteria Inklusi	Kriteria Eksklusi
Jenis Publikasi	Artikel jurnal ilmiah, *review* sistematis, meta-analisis, dan artikel empiris bereputasi	Opini populer, blog, berita, dan dokumen tanpa proses ilmiah
Tahun Terbit	Prioritas 2020-2026; artikel 2019 digunakan hanya jika sangat relevan	Artikel lama yang tidak memiliki relevansi langsung
Substansi	Membahas agroforestri, *Gliricidia sepium*, jagung, integrasi tanaman-ternak, silvopastura, jasa ekosistem, atau adopsi petani	Tidak berkaitan dengan sistem tanaman berlapis atau pertanian berkelanjutan
Kualitas Metode	Memiliki metode, data, atau sintesis yang jelas	Tidak menjelaskan metode atau tidak dapat diverifikasi
Bahasa	Bahasa Inggris dan bahasa Indonesia	Bahasa lain yang tidak dapat dianalisis secara akurat
Akses Rujukan	Memiliki DOI, URL penerbit, atau identitas bibliografis lengkap	Identitas sumber tidak lengkap

Proses seleksi literatur dilakukan melalui empat tahap. Tahap pertama adalah identifikasi artikel berdasarkan kata kunci. Tahap kedua adalah penghapusan duplikasi dan penyaringan judul serta abstrak. Tahap ketiga adalah penilaian kelayakan teks lengkap. Tahap keempat adalah inklusi artikel yang digunakan dalam sintesis tematik. Untuk memperjelas alur penyaringan dan jumlah artikel pada setiap tahap, proses tersebut divisualisasikan melalui diagram PRISMA pada Gambar 1. Diagram ini membantu pembaca memahami bagaimana artikel awal yang ditemukan dipersempit hingga menjadi artikel yang dianalisis dalam sintesis akhir.



Gambar 1. Diagram PRISMA Proses Seleksi Literatur Sistem Tanaman Berlapis Gamal-Jagung-Ternak.

Panthera : Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan
E-ISSN 2808-246X; P-ISSN 2808-3636
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2650-2666
Email: pantherajurnal@gmail.com

Data dari artikel terpilih diekstraksi berdasarkan nama penulis, tahun, fokus kajian, jenis metode, konteks agroekologi, temuan utama, dan relevansi terhadap model gamal-jagung-ternak. Analisis dilakukan melalui sintesis tematik dengan empat dimensi utama, yaitu teknis-agronomis, ekologis, sosial-ekonomi, dan budaya-kelembagaan. Sintesis tidak dilakukan sebagai meta-analisis kuantitatif karena variasi desain penelitian, lokasi, komoditas, indikator, dan satuan pengukuran antarartikel cukup tinggi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Literatur Terpilih

Literatur yang dianalisis mencakup artikel *review*, meta-analisis, *systematic map*, dan studi empiris. Tema utama yang muncul meliputi fungsi *Gliricidia sepium* dalam perbaikan kesuburan tanah, pengaruh agroforestri terhadap hasil jagung, integrasi tanaman-ternak-pohon, jasa ekosistem silvopastoral, dan faktor adopsi agroforestri oleh petani kecil. Untuk menunjukkan kontribusi masing-masing penelitian terhadap argumentasi artikel, hasil ekstraksi literatur disusun dalam Tabel 2. Tabel ini memuat identitas penulis, fokus kajian, metode atau konteks penelitian, temuan utama, serta relevansinya terhadap model gamal-jagung-ternak.

Tabel 2. Ringkasan Artikel Hasil Penelitian yang Digunakan dalam Sintesis.

No.	Penulis/ Tahun	Fokus Kajian	Metode/Konteks	Temuan Utama	Relevansi terhadap Model
1	Alamu *et al.* (2023)	Pemanfaatan *Gliricidia sepium* untuk kesuburan tanah dan kualitas nutrisi tanaman	*Review literature*	Gamal meningkatkan indikator kesuburan tanah melalui fiksasi N, pupuk hijau, mulsa, dan biochar	Dasar penggunaan gamal sebagai sumber biomassa dan perbaikan tanah
2	Baier *et al.* (2023)	Dampak agroforestri terhadap hasil jagung	Meta-analisis global, 1.215 pasangan data dari 95 studi	Agroforestri meningkatkan median hasil jagung sebesar 7%; peningkatan lebih tinggi pada wilayah tropis/subtropis dan pohon penambat N	Mendukung integrasi gamal sebagai pohon leguminosa dalam sistem jagung
3	Maier *et al.* (2023)	Stabilitas bahan organik tanah pada tumpangsari jagung-gamal	Studi jangka panjang di Malawi	Tumpangsari jagung-gamal meningkatkan C dan N tanah serta stabilisasi bahan organik dalam agregat	Menunjukkan manfaat ekologis jangka panjang pada tanah lahan kering/ subtropis
4	de Figueiredo	Efisiensi	Percobaan isotop	Efisiensi	Dasar

Panthera : Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan
E-ISSN 2808-246X; P-ISSN 2808-3636
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2650-2666
Email: pantherajurnal@gmail.com

No.	Penulis/ Tahun	Fokus Kajian	Metode/Konteks	Temuan Utama	Relevansi terhadap Model
	et al. (2023)	penggunaan nitrogen dalam sistem agrisilvikultur gamal	N pada sistem jagung-gamal di Cerrado	pemulihan N mineral tinggi pada kepadatan gamal tertentu	pengaturan kepadatan pohon dan efisiensi pupuk
5	Alam *et al.* (2025)	Penambahan biomassa pangkasan gamal dalam *alley cropping*	Eksperimen lapangan di Bangladesh	Pangkasan gamal meningkatkan produktivitas dan rasio manfaat-biaya serta mengurangi ketergantungan pupuk N	Menguatkan fungsi pangkasan gamal sebagai *input* organik
6	Macalou *et al.* (2026)	Produktivitas jagung dengan biomassa spesies pohon/semak dan reduksi pupuk mineral	Studi dua tahun di Mali	*Gliricidia sepium* dan *Leucaena leucocephala* meningkatkan produktivitas jagung dan dapat mengurangi ketergantungan pupuk mineral	Relevan untuk lahan kering dan sistem *input* rendah
7	Edwards *et al.* (2024)	Buah gamal dan lamtoro sebagai suplemen protein/ mineral ruminansia	Analisis nutrisi dan degradabilitas rumen	Buah *Gliricidia sepium* memiliki protein kasar tinggi dan potensi sebagai suplemen pakan ruminansia	Mendukung integrasi gamal sebagai sumber pakan ternak
8	Sekaran *et al.* (2021)	Peran sistem integrasi tanaman-ternak dalam produksi dan ketahanan pangan	*Review*	Sistem integrasi meningkatkan produktivitas, diversifikasi pangan, pendapatan, dan resiliensi; adopsi membutuhkan dukungan kelembagaan	Dasar ekonomi sirkular tanaman-ternak
9	de Faccio Carvalho *et al.* (2024)	Integrasi tanaman-ternak-hutan sebagai *nature-based solution*	Artikel konseptual/ *review*	Sistem integrasi meniru proses ekosistem, memperbaiki siklus hara, dan meningkatkan multifungsi lahan	Kerangka konseptual tanaman-ternak-pohon

Panthera : Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan
E-ISSN 2808-246X; P-ISSN 2808-3636
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2650-2666
Email: pantherajurnal@gmail.com

No.	Penulis/ Tahun	Fokus Kajian	Metode/Konteks	Temuan Utama	Relevansi terhadap Model
10	de Macedo Carvalho *et al.* (2024)	Jasa ekosistem sistem silvopastoral	*Review global*	Silvopastoral menyediakan jasa ekosistem: produksi pakan, siklus hara, karbon, pengendalian erosi, mikroklimat, dan biodiversitas	Menguatkan dimensi ekologis integrasi gamal dan ternak
11	Beillouin *et al.* (2021)	Diversifikasi tanaman dan jasa ekosistem	Meta-analisis	Diversifikasi tanaman berdampak positif tetapi bervariasi terhadap biodiversitas dan jasa ekosistem	Menjelaskan manfaat diversifikasi gamal-jagung dibanding monokultur
12	Kuyah *et al.* (2019)	Agroforestri dan jasa ekosistem di Afrika Sub-Sahara	Meta-analisis	Agroforestri dapat meningkatkan hasil tanaman sambil mempertahankan jasa regulasi ekosistem	Rujukan *trade-off* produktivitas dan jasa ekosistem
13	Castle *et al.* (2022)	Dampak agroforestri pada jasa ekosistem dan kesejahteraan manusia	*Systematic map*	Bukti paling kuat pada jasa regulasi; bukti kesejahteraan sosial-ekonomi masih terbatas	Menegaskan kebutuhan riset sosial-ekonomi pada sistem gamal-jagung-ternak
14	Tega & Bojago (2024)	Determinan adopsi agroforestri petani kecil	Survei 173 responden di Ethiopia	Adopsi dipengaruhi luas lahan, erosi, pendidikan, kesadaran, dan layanan penyuluhan	Dasar strategi adopsi dan penyuluhan
15	Zada *et al.* (2022)	Agroforestri skala kecil dan ketahanan penghidupan	Studi sosial-ekonomi	Agroforestri berkontribusi pada ekonomi lokal dan resiliensi penghidupan	Menguatkan manfaat diversifikasi pendapatan petani

Perspektif Teknis-Agronomis

Secara teknis, sistem gamal-jagung-ternak bekerja melalui hubungan fungsional antarkomponen. Gamal menyediakan biomassa daun dan ranting yang

Panthera : Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan
E-ISSN 2808-246X; P-ISSN 2808-3636
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2650-2666
Email: pantherajurnal@gmail.com

dapat dipangkas secara berkala. Biomassa tersebut dapat digunakan sebagai mulsa, pupuk hijau, bahan kompos, atau pakan ternak. Jagung memanfaatkan perbaikan kesuburan tanah dan berperan sebagai sumber hasil cepat, sementara ternak mengonversi biomassa dan limbah pertanian menjadi produk ekonomi serta pupuk kandang. Pola ini membentuk sirkulasi *input* internal yang memperkuat efisiensi sistem.

Peran teknis paling kuat dari gamal adalah suplai nitrogen biologis dan bahan organik. Alamu *et al.* (2023) menegaskan bahwa *Gliricidia sepium* berpotensi meningkatkan karbon tanah, nitrogen, fosfor tersedia, pH, kapasitas tukar kation, dan bahan organik tanah. Dalam konteks produksi jagung, perbaikan tersebut sangat penting karena jagung memiliki kebutuhan nitrogen relatif tinggi. Baier *et al.* (2023) menunjukkan bahwa agroforestri meningkatkan median hasil jagung sebesar 0,24 Mg ha-1 atau sekitar 7% dibanding monokultur tanpa pohon, dan respons lebih kuat terjadi pada wilayah tropis/subtropis serta sistem yang menggunakan pohon penambat nitrogen.

Efisiensi penggunaan nitrogen menjadi indikator kunci. de Figueiredo *et al.* (2023) melaporkan bahwa sistem agrisilvikultur dengan gamal dapat meningkatkan pemulihan pupuk nitrogen, terutama pada kepadatan pohon tertentu. Temuan ini menunjukkan bahwa gamal tidak sekadar menggantikan pupuk mineral, tetapi berperan dalam memperbaiki dinamika serapan N oleh tanaman. Namun, manfaat tersebut tidak bersifat otomatis. Jarak antarbarisan, frekuensi pemangkasan, tinggi tajuk, distribusi akar, dan waktu aplikasi biomassa menentukan apakah interaksi pohon-jagung bersifat komplementer atau kompetitif.

Penelitian terbaru oleh Alam *et al.* (2025) memperkuat peran pangkasan gamal sebagai *input* organik. Dalam sistem *alley cropping*, tambahan biomassa gamal meningkatkan produktivitas dan keuntungan ekonomi tanaman, sekaligus memungkinkan pengurangan ketergantungan pada pupuk nitrogen. Macalou *et al.* (2026) juga menunjukkan bahwa biomassa *Gliricidia sepium* dan *Leucaena leucocephala* dapat meningkatkan produktivitas jagung di wilayah Sahel dan menghasilkan performa yang setara atau lebih baik dibanding pemupukan mineral penuh pada kondisi tertentu. Bagi lahan kering, temuan ini penting karena *input* mineral sering mahal, sedangkan bahan organik lokal dapat diperoleh dari lahan petani sendiri.

Meskipun demikian, sistem tanaman berlapis membutuhkan manajemen teknis yang lebih kompleks dibanding monokultur. Kepadatan gamal yang terlalu tinggi dapat mengurangi cahaya bagi jagung, meningkatkan kompetisi air pada musim kering, dan mempersulit operasi budidaya. Oleh karena itu, sistem gamal-jagung sebaiknya dirancang dalam bentuk pagar hidup atau barisan lorong dengan pemangkasan teratur sebelum atau pada fase kritis pertumbuhan jagung. Biomassa pangkasan sebaiknya dikembalikan ke lahan sebagai mulsa atau sebagian dialokasikan sebagai pakan, sesuai kebutuhan nutrisi ternak dan status bahan organik tanah.

Perspektif Ekologi

Sistem gamal-jagung-ternak memiliki potensi ekologis dalam memperbaiki kualitas tanah, meningkatkan konservasi air, memperkuat

biodiversitas fungsional, serta mendukung mitigasi perubahan iklim. Sistem agroforestri mampu mengurangi *trade-off* antara produksi dan jasa ekosistem karena keberadaan pohon dapat mendukung pengendalian erosi, peningkatan infiltrasi, mikrohabitat organisme tanah, dan penyimpanan karbon (Beillouin *et al.*, 2021; Kuyah *et al.*, 2019). Dalam sistem lahan kering, fungsi ini menjadi penting karena tanah cenderung rentan terhadap erosi, kehilangan bahan organik, dan penurunan kapasitas menahan air.

Studi Maier *et al.* (2023) memberikan bukti kuat mengenai perbaikan bahan organik tanah pada sistem tumpangsari jagung-gamal jangka panjang. Kandungan karbon dan nitrogen tanah pada plot tumpangsari lebih tinggi dibanding monokultur, bahkan sebagian bahan organik tersimpan dalam fraksi agregat dan mineral yang relatif lebih stabil. Temuan ini mengindikasikan bahwa penambahan biomassa secara berkala dapat membantu membangun cadangan karbon tanah, bukan hanya menyediakan hara jangka pendek. Dengan demikian, sistem gamal-jagung dapat berperan sebagai strategi restorasi kesuburan tanah sekaligus mitigasi iklim.

Integrasi ternak memperkuat fungsi ekologis bila dikelola dengan prinsip daur ulang hara. Kotoran ternak dapat dikomposkan dan dikembalikan ke lahan, sedangkan limbah jagung dan hijauan gamal dapat digunakan sebagai pakan. Sistem ini mengurangi pembakaran limbah pertanian dan menekan kehilangan hara dari lahan. de Macedo Carvalho *et al.* (2024) menunjukkan bahwa sistem silvopastoral dapat menyediakan berbagai jasa ekosistem, termasuk produksi pakan, siklus hara, kesuburan tanah, fiksasi nitrogen biologis, sekuestrasi karbon, pengendalian erosi, regulasi mikroklimat, dan peningkatan biodiversitas.

Namun, manfaat ekologis tidak selalu linear. Semakin kompleks sistem, semakin tinggi pula kebutuhan pengelolaan. de Faccio Carvalho *et al.* (2024) menegaskan bahwa integrasi tanaman-ternak-pohon dapat meniru proses ekosistem alami, tetapi tingkat kompleksitas spasial dan temporal menentukan keseimbangan antara komplementaritas dan kompetisi. Pada lahan kering, kompetisi air antara gamal dan jagung perlu dikendalikan melalui jarak tanam, pemangkasan tajuk, pemilihan musim tanam, dan pemanfaatan mulsa untuk menjaga kelembapan tanah.

Perspektif Sosial-Ekonomi

Keunggulan sosial-ekonomi utama dari sistem gamal-jagung-ternak adalah diversifikasi sumber pendapatan. Petani tidak hanya bergantung pada hasil jagung, tetapi juga memperoleh manfaat dari ternak, hijauan pakan, pupuk organik, dan potensi produk turunan seperti kompos atau pakan olahan. Diversifikasi ini penting pada wilayah lahan kering karena risiko gagal panen dan fluktuasi harga komoditas relatif tinggi. Sekaran *et al.* (2021) menyatakan bahwa integrasi tanaman-ternak dapat memperbaiki produktivitas, ketahanan pangan, dan manfaat ekonomi rumah tangga, terutama apabila didukung oleh pasar, modal, pelatihan, dan kelembagaan.

Sistem gamal-jagung-ternak tidak hanya menghasilkan nilai ekonomi melalui panen utama, tetapi juga melalui efisiensi biaya *input*. Biomassa gamal dapat mengurangi pembelian pupuk nitrogen, menyediakan pakan tambahan, dan memperbaiki tanah dalam jangka panjang. Edwards *et al.* (2024) menunjukkan

Panthera : Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan
E-ISSN 2808-246X; P-ISSN 2808-3636
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2650-2666
Email: pantherajurnal@gmail.com

bahwa buah *Gliricidia sepium* memiliki potensi sebagai suplemen protein untuk ruminansia, sementara daun gamal secara umum telah dikenal sebagai hijauan pakan. Hal ini membuka peluang agroindustri skala kecil berbasis hijauan, kompos, dan pakan lokal.

Kendala sosial-ekonomi yang perlu diperhatikan adalah kebutuhan tenaga kerja dan pengetahuan teknis. Sistem tanaman berlapis memerlukan pemangkasan, pengangkutan biomassa, pengaturan pakan, pengomposan, dan penjadwalan tanam yang lebih intensif dibanding monokultur. Jika manfaat ekonomi belum terlihat dalam jangka pendek, petani dapat enggan mengadopsi sistem. Tega & Bojago (2024) menunjukkan bahwa adopsi agroforestri dipengaruhi oleh luas lahan, persepsi erosi, pendidikan, kesadaran, dan layanan penyuluhan. Dengan demikian, keberhasilan sistem ini sangat bergantung pada desain insentif, demonstrasi plot, pelatihan praktis, dan jaminan akses pasar.

Zada *et al.* (2022) menegaskan bahwa agroforestri skala kecil dapat memperkuat ekonomi lokal dan resiliensi penghidupan. Namun, manfaat sosial-ekonomi sering kurang terdokumentasi dibanding manfaat ekologis. Castle *et al.* (2022) menemukan bahwa bukti agroforestri lebih banyak berfokus pada jasa regulasi ekosistem, sedangkan bukti tentang kesejahteraan manusia masih terbatas. Kesenjangan ini menunjukkan perlunya penelitian empiris di Indonesia yang mengukur pendapatan, biaya tenaga kerja, rasio manfaat-biaya, ketahanan pangan rumah tangga, dan preferensi petani terhadap sistem gamal-jagung-ternak.

Perspektif Budaya dan Kelembagaan

Dimensi budaya menentukan apakah inovasi dapat diterima atau ditolak oleh masyarakat. Sistem gamal-jagung-ternak sebenarnya memiliki kedekatan dengan praktik lokal di banyak wilayah pedesaan, seperti penggunaan pagar hidup, pemanfaatan hijauan pakan, pengembalian kotoran ternak ke lahan, dan pola diversifikasi tanaman. Kedekatan ini menjadi modal sosial karena inovasi tidak sepenuhnya asing bagi petani. Dalam banyak konteks, agroforestri tradisional berkontribusi terhadap penghidupan, konservasi sumber daya, dan identitas lanskap pertanian (Wondimenh, 2023). Keselarasan budaya meningkatkan penerimaan inovasi oleh petani.

Praktik pertanian dan peternakan masyarakat di Nusa Tenggara Barat menunjukkan adanya kesesuaian antara sistem integrasi gamal-jagung-ternak dan kebiasaan pengelolaan sumber daya lokal. Sukri & Ishak (2019), misalnya, melaporkan bahwa peternak di Desa Salut, Kabupaten Lombok Utara, telah memanfaatkan rumput, limbah pertanian, dan tanaman leguminosa pohon seperti gamal sebagai sumber pakan sapi. Penggunaan gamal sebagai tanaman pagar hidup dan sumber hijauan pakan ternak juga telah diperkenalkan di berbagai wilayah Nusa Tenggara Barat (Dinas Peternakan dan Kesehatan Hewan Provinsi NTB, 2020). Praktik pemanfaatan kotoran ternak sebagai pupuk organik turut ditemukan di Desa Sukarara, Kabupaten Lombok Timur, melalui kegiatan pengolahan limbah kandang sapi menjadi pupuk organik (Suwarno *et al.*, 2022). Bukti tersebut menunjukkan bahwa komponen utama sistem gamal-jagung-ternak bukan merupakan praktik yang sepenuhnya baru bagi masyarakat setempat, melainkan pengembangan dari pengetahuan dan sumber daya pertanian lokal yang telah tersedia.

Panthera : Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan
E-ISSN 2808-246X; P-ISSN 2808-3636
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2650-2666
Email: pantherajurnal@gmail.com

Namun, praktik lokal sering melemah ketika modernisasi pertanian mendorong monokultur, *input* eksternal, dan pemisahan antara usaha tanaman dan ternak. Oleh karena itu, pengembangan sistem gamal-jagung-ternak perlu menggunakan pendekatan partisipatif, bukan sekadar transfer teknologi. Petani perlu dilibatkan dalam memilih jarak tanam, waktu pemangkasan, proporsi biomassa untuk pakan atau mulsa, jenis ternak yang sesuai, dan model kelembagaan pemasaran. Kesesuaian budaya juga mencakup pembagian kerja rumah tangga, kepemilikan ternak, akses perempuan terhadap pakan dan pupuk organik, serta tradisi pengelolaan lahan keluarga.

Kelembagaan lokal seperti kelompok tani, koperasi, penyuluh, dan pemerintah desa dapat menjadi penghubung antara inovasi teknis dan penerapan lapangan. Tanpa kelembagaan, sistem integrasi sering berhenti pada skala percobaan. Bentuk dukungan kelembagaan yang diperlukan meliputi penyediaan bibit gamal, pelatihan pemangkasan, formulasi pakan, komposting, pencatatan biaya-manfaat, pengolahan produk turunan, dan penguatan akses pasar. Dukungan kebijakan juga penting agar sistem tanaman berlapis diakui sebagai strategi pembangunan lahan kering, bukan sekadar praktik konservasi individual.

Sintesis Model Agroindustri Berkelanjutan

Berdasarkan sintesis literatur, model agroindustri berkelanjutan berbasis gamal-jagung-ternak dapat dirumuskan sebagai sistem sirkular. Gamal menyediakan biomassa dan nitrogen; jagung menyediakan pangan, pakan, dan residu; ternak menyediakan produk ekonomi dan pupuk organik; tanah menerima kembali bahan organik; dan petani memperoleh pendapatan dari beberapa komponen. Hubungan tersebut menciptakan aliran *input-output* yang lebih tertutup dibanding sistem monokultur. Untuk memperjelas fungsi setiap komponen dalam sistem tersebut, Tabel 3 menyajikan sintesis peran gamal, jagung, ternak, tanah, dan kelembagaan petani, termasuk *output* langsung, dampak keberlanjutan, serta risiko pengelolaan yang perlu diantisipasi.

Tabel 3. Sintesis Fungsi Komponen dalam Sistem Gamal-Jagung-Ternak.

Komponen	Fungsi Utama	*Output* Langsung	Dampak Keberlanjutan	Risiko Pengelolaan
Gamal (*Gliricidia sepium*)	Fiksasi N, biomassa, pakan, pagar hidup, konservasi tanah	Daun, ranting, buah, mulsa, pupuk hijau	Mengurangi *input* pupuk, meningkatkan bahan organik tanah, menyediakan pakan	Kompetisi cahaya/air, kebutuhan pemangkasan rutin
Jagung (*Zea mays* L.)	Komoditas pangan dan pakan	Biji jagung, tongkol, batang, daun	Menyediakan hasil cepat dan bahan pakan	Sensitif terhadap kekurangan N dan air
Ternak Ruminansia	Konversi biomassa menjadi produk ekonomi	Daging/susu, kotoran ternak, urin	Memperkuat ekonomi sirkular dan diversifikasi pendapatan	Risiko *overgrazing*, kebutuhan kandang dan manajemen pakan
Tanah	Media	Kesuburan, air	Menopang	Degradasi bila

Panthera : Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan
E-ISSN 2808-246X; P-ISSN 2808-3636
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2650-2666
Email: pantherajurnal@gmail.com

Komponen	Fungsi Utama	*Output* Langsung	Dampak Keberlanjutan	Risiko Pengelolaan
	produksi dan penyimpan karbon	tersedia, mikroba tanah	produktivitas jangka panjang	biomassa tidak dikembalikan
Petani/Kelembagaan	Pengelola sistem dan pengambil keputusan	Tenaga kerja, keputusan tanam, pemasaran	Menentukan adopsi, keberlanjutan, dan skala usaha	Keterbatasan modal, pengetahuan, dan akses pasar

Model ini dapat dikembangkan pada lahan kering melalui desain teknis berikut. Pertama, gamal ditanam sebagai pagar hidup atau barisan lorong dengan jarak yang memungkinkan penetrasi cahaya untuk jagung. Kedua, pemangkasan dilakukan secara berkala agar tajuk tidak menaungi jagung secara berlebihan. Ketiga, biomassa pangkasan dibagi untuk dua fungsi, yaitu pakan ternak dan mulsa/pupuk hijau. Keempat, kotoran ternak dikomposkan sebelum dikembalikan ke lahan. Kelima, residu jagung dimanfaatkan sebagai pakan kasar atau bahan kompos, bukan dibakar. Keenam, kelembagaan petani mengatur distribusi bibit, pelatihan, pemasaran, dan pembiayaan. Agar rekomendasi tersebut lebih operasional, Tabel 4 merangkum implikasi praktis pengembangan sistem berdasarkan dimensi teknis, ekologis, sosial-ekonomi, budaya, dan kelembagaan.

Tabel 4. Implikasi Praktis Pengembangan Sistem Gamal-Jagung-Ternak pada Lahan Kering.

Dimensi	Masalah Utama	Strategi Pengembangan	Indikator Keberhasilan
Teknis	Kompetisi pohon-jagung dan rendahnya kesuburan tanah	Atur jarak tanam, pemangkasan, aplikasi mulsa, dan pemupukan organik-mineral seimbang	Produktivitas jagung stabil, bahan organik tanah meningkat, kebutuhan pupuk N berkurang
Ekologi	Erosi, rendahnya karbon tanah, dan kekeringan	Gunakan gamal sebagai pagar hidup, mulsa, dan penutup tanah; kembalikan pupuk kandang	Erosi menurun, infiltrasi meningkat, kelembapan tanah lebih stabil
Sosial-Ekonomi	Risiko pendapatan dan keterbatasan modal	Diversifikasi hasil jagung, ternak, kompos, pakan; bentuk kelompok usaha	Pendapatan lebih beragam, biaya *input* turun, rasio manfaat-biaya meningkat
Budaya	Kesenjangan antara inovasi dan praktik lokal	Integrasikan pengetahuan lokal, demonstrasi plot, dan pembelajaran petani	Tingkat adopsi meningkat dan teknologi dimodifikasi sesuai konteks lokal
Kelembagaan	Lemahnya dukungan penyuluhan dan pasar	Perkuat kelompok tani, koperasi, akses bibit, kredit mikro, dan pasar pakan/kompos	Tersedia bibit, pendampingan rutin, dan rantai nilai lokal terbentuk

Research Gap dan Arah Riset Lanjutan

Kajian ini menemukan empat kesenjangan penelitian. Pertama, sebagian besar studi menilai agroforestri atau integrasi tanaman-ternak secara umum,

belum secara spesifik menguji kombinasi gamal-jagung-ternak pada lahan kering Indonesia. Kedua, bukti teknis tentang produktivitas jagung dan kesuburan tanah relatif lebih kuat dibanding bukti sosial-budaya dan ekonomi rumah tangga. Ketiga, penelitian jangka panjang mengenai keseimbangan biomassa antara kebutuhan pakan ternak dan kebutuhan pengembalian bahan organik tanah masih terbatas. Keempat, model kelembagaan agroindustri berbasis gamal-jagung-ternak belum banyak dikembangkan sebagai rantai nilai lokal.

Arah riset lanjutan perlu mencakup percobaan lapangan multi-musim, analisis biaya-manfaat, pengukuran karbon tanah, evaluasi kualitas pakan gamal, dan studi adopsi berbasis partisipasi petani. Selain itu, diperlukan pengembangan indeks keberlanjutan yang memadukan indikator produktivitas, kesuburan tanah, efisiensi *input*, pendapatan, beban kerja, penerimaan budaya, dan dukungan kelembagaan. Sistem gamal-jagung-ternak tidak hanya dinilai sebagai teknologi budidaya, tetapi sebagai model agroindustri terpadu. Hasil penelitian tersebut dapat menjadi dasar penyusunan strategi pengembangan agroindustri yang adaptif, produktif, dan berkelanjutan.

SIMPULAN

Sistem tanaman berlapis berbasis gamal-jagung-ternak memiliki potensi kuat sebagai model agroindustri berkelanjutan pada lahan kering. Secara teknis, gamal berperan sebagai sumber nitrogen biologis, biomassa organik, dan pakan ternak, sedangkan jagung menyediakan hasil ekonomi cepat dan residu pakan. Integrasi ternak memperkuat daur ulang hara melalui pemanfaatan biomassa dan pengembalian pupuk organik ke tanah. Secara ekologis, sistem ini dapat meningkatkan bahan organik tanah, memperbaiki siklus hara, mendukung konservasi tanah dan air, serta memperkuat resiliensi terhadap perubahan iklim.

Secara sosial-budaya, sistem ini berpeluang diterima karena selaras dengan praktik lokal seperti pagar hidup, pemanfaatan hijauan, dan daur ulang limbah organik, tetapi adopsinya tetap bergantung pada pengetahuan petani, penyuluhan, modal, kelembagaan, dan akses pasar. Dengan demikian, keberhasilan sistem gamal-jagung-ternak memerlukan pendekatan holistik yang menggabungkan desain teknis spesifik lokasi, pendampingan sosial, dan dukungan kebijakan agroindustri berbasis ekonomi sirkular.

SARAN

Riset dan implementasi berikutnya perlu difokuskan pada uji lapangan sistem gamal-jagung-ternak di wilayah lahan kering Indonesia, khususnya pada variasi jarak tanam gamal, frekuensi pemangkasan, proporsi biomassa untuk pakan dan mulsa, serta kombinasi pupuk organik-mineral. Pemerintah daerah, perguruan tinggi, penyuluh, dan kelompok tani perlu membangun demonstrasi plot partisipatif agar petani dapat melihat manfaat teknis dan ekonomi secara langsung. Selain itu, perlu dikembangkan kelembagaan lokal untuk produksi bibit gamal, pengolahan pakan, komposting, dan pemasaran produk turunan. Kajian lanjutan juga disarankan mengukur indikator keberlanjutan secara kuantitatif, seperti produktivitas jagung, pertambahan bobot ternak, pengurangan biaya pupuk, karbon organik tanah, pendapatan rumah tangga, dan tingkat adopsi petani.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Doktor Pertanian Berkelanjutan, Pascasarjana, Universitas Mataram, atas dukungan akademik dalam penyusunan kajian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada pihak-pihak yang memberikan masukan terhadap pengembangan gagasan agroindustri berkelanjutan berbasis lahan kering.

DAFTAR RUJUKAN

Alam, A. S. M. J., Saha, S. R., Suhag, M., Miah, M. G., Rahman, M. M., Islam, M. R., Al Riyadh, Z., & Mahmud, A. (2025). Supplementary Biomass Addition Enhances the Crop Productivity: Evidence from a *Gliricidia sepium*-Based Alley Cropping Practices in Gazipur District of Bangladesh. *American Journal of Agriculture and Forestry, 13*(1), 38-48. https://doi.org/10.11648/j.ajaf.20251301.15

Alamu, E. O., Adesokan, M., Fawole, S., Maziya-Dixon, B., Mehreteab, T., & Chikoye, D. (2023). *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp Applications for Enhancing Soil Fertility and Crop Nutritional Qualities: A Review. *Forests, 14*(3), 635. https://doi.org/10.3390/f14030635

Andana, D. S., Jannah, H., & Safnowandi, S. (2023). Pemanfaatan Bintil Akar Kacang Tanah (*Arachis hypogaea*) sebagai Pupuk Biologi untuk Pertumbuhan Bibit Cabai Rawit (*Capsicum frutescens*) dalam Upaya Penyusunan Petunjuk Praktikum Fisiologi Tumbuhan II. *Biocaster : Jurnal Kajian Biologi*, *3*(1), 1-10. https://doi.org/10.36312/bjkb.v3i1.145

Badan Pusat Statistik Provinsi Nusa Tenggara Barat. (2025). Retrieved May 6, 2026, from Luas Panen dan Produksi Jagung di Provinsi Nusa Tenggara Barat 2024 (Angka Tetap). Interactwebsite: https://ntb.bps.go.id/id/pressrelease/2025/03/03/1098/luas-panen-dan-produksi-jagung-di-provinsi-nusa-tenggara-barat-2024--angka-tetap-

Baier, C., Gross, A., Thevs, N., & Glaser, B. (2023). Effects of Agroforestry on Grain Yield of Maize (*Zea mays* L.)-A Global Meta-Analysis. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 7*, 1167686. https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1167686

Beillouin, D., Ben-Ari, T., Malezieux, E., Seufert, V., & Makowski, D. (2021). Positive But Variable Effects of Crop Diversification on Biodiversity and Ecosystem Services. *Global Change Biology, 27*(19), 4697-4710. https://doi.org/10.1111/gcb.15747

Castle, S. E., Miller, D. C., Merten, N., Ordonez, P. J., & Baylis, K. (2022). Evidence for the Impacts of Agroforestry on Ecosystem Services and Human Well-Being in High-Income Countries: A Systematic Map. *Environmental Evidence, 11*, 10. https://doi.org/10.1186/s13750-022-00260-4

de Faccio Carvalho, P. C., da Silveira Pontes, L., Barro, R. S., Pinto Simoes, V. J. L., Dominschek, R., Cargnelutti, C. S., Mauricio, R. M., de Sao Jose, J. F. B., & Bremm, C. (2024). Integrated Crop-Livestock-Forestry Systems as a Nature-Based Solution for Sustainable Agriculture. *Agroforestry Systems, 98*, 2309-2323. https://doi.org/10.1007/s10457-024-01057-9

de Figueiredo, C. C., Moreira, T. N., Coser, T. R., da Silva, L. P., Leite, G. G., de Carvalho, A. M., Malaquias, J. V., Marchao, R. L., & Urquiaga, S. (2023). Nitrogen Use Efficiency in an Agrisilviculture System with *Gliricidia sepium* in the Cerrado Region. *Plants, 12*(8), 1647. https://doi.org/10.3390/plants12081647

de Macedo Carvalho, C. B., de Mello, A. C. L., da Cunha, M. V., de Oliveira Apolinario, V. X., Dubeux Junior, J. C. B., da Silva, V. J., Medeiros, A. S., Izidro, J. L. P. S., & Bretas, I. L. (2024). Ecosystem Services Provided by Silvopastoral Systems: A Review. *The Journal of Agricultural Science, 162*, 417-432. https://doi.org/10.1017/S0021859624000595

Dinas Peternakan dan Kesehatan Hewan Provinsi Nusa Tenggara Barat. (2020). Retrieved May 6, 2026, from Tanaman Hijauan Pakan Ternak Gamal (*Gliricidia sepium*). Interactwebsite: https://disnakkeswan.ntbprov.go.id/tanaman-hijauan-pakan-ternak-gamal-gliricidia-sepium/

Edwards, A., Mlambo, V., Mnisi, C. M., & Hughes, M. P. (2024). Mature Fruits of *Gliricidia sepium* and *Leucaena leucocephala* Plants Have Potential as Inexpensive Protein and Mineral Supplements for Ruminants. *Agroforestry Systems, 98*, 2951-2960. https://doi.org/10.1007/s10457-024-01066-8

Kementerian Pertanian RI. (2016). Retrieved May 6, 2026, from Laporan Tahunan Balitbangtan 2016. Interactwebsite: https://ppid.pertanian.go.id/doc/229/LAP%20Tahunan%202016.pdf

Kementerian Pertanian RI. (2023). Retrieved May 6, 2026, from Laporan Kinerja Kementerian Pertanian Tahun 2023. Interactwebsite: https://ppid.pertanian.go.id/doc/1/LAKIN%20Kementan%202023.pdf

Kuyah, S., Whitney, C. W., Jonsson, M., Sileshi, G. W., Oborn, I., Muthuri, C. W., & Luedeling, E. (2019). Agroforestry Delivers a Win-Win Solution for Ecosystem Services in Sub-Saharan Africa: A Meta-Analysis. *Agronomy for Sustainable Development, 39*, 47. https://doi.org/10.1007/s13593-019-0589-8

Macalou, S., Sanogo, S., Traore, A., Kouyate, A. B., Dembele, S. G., Sissoko, F., Dauphin, C. M. S. A., Durot, C. L. J., & Cicek, H. (2026). Optimizing Maize Productivity in the Sahel Region through the Incorporation of Exotic Shrub Species and Reduced Mineral Fertilization. *Agroforestry Systems, 100*, 28. https://doi.org/10.1007/s10457-025-01394-3

Maier, R., Schack-Kirchner, H., Nyoka, B. I., & Lang, F. (2023). Gliricidia Intercropping Supports Soil Organic Matter Stabilization at Makoka Research Station, Malawi. *Geoderma Regional, 35*, e00730. https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00730

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hrobjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., Stewart, L. A., Thomas, J., Tricco, A. C., Welch, V. A., Whiting, P., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 Statement: An Updated Guideline for Reporting Systematic Reviews. *BMJ, 372*, n71.

https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Sekaran, U., Lai, L., Ussiri, D. A. N., Kumar, S., & Clay, S. (2021). Role of Integrated Crop-Livestock Systems in Improving Agriculture Production and Addressing Food Security: A Review. *Journal of Agriculture and Food Research, 5*, 100190. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100190

Sukri, M., & Ishak, M. (2019). Gamal sebagai Pakan Konsentrat Hijau Desa Salut, Kecamatan Kayangan, Kabupaten Lombok Utara, Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Pusat Inovasi Masyarakat, 1*(1), 64-71.

Suwarno, G. A., Pratama, K. S. I., Ridha, B., Cahyani, K. R., Jazzika, N. O., Ardani, N. P. C., Sahnim, S., Pratiwi, I., Maulana, I., Andriani, L., & Ngawit, I. K. (2022). Penyuluhan dan Pendampingan Pemanfaatan Limbah Kandang Ternak Sapi Menjadi Pupuk Organik di Desa Sukarara, Kecamatan Sakra Barat, Kabupaten Lombok Timur, NTB. *Jurnal PEPADU, 3*(4), 640-648. https://doi.org/10.29303/pepadu.v3i4.2009

Tega, M., & Bojago, E. (2024). Determinants of Smallholder Farmers' Adoption of Agroforestry Practices: Sodo Zuriya District, Southern Ethiopia. *Agroforestry Systems, 98*, 1-20. https://doi.org/10.1007/s10457-023-00885-5

Wondimenh, S. (2023). The Contribution of Traditional Agroforestry Systems and Challenges of Adoption by Smallholder Farmers in Ethiopia: A Review. *East African Journal of Forestry and Agroforestry, 6*(1), 18-32. https://doi.org/10.37284/eajfa.6.1.1051

Zada, M., Zada, S., Ali, M., Zhang, Y., Begum, A., & Han, H. (2022). Contribution of Small-Scale Agroforestry to Local Economic Development and Livelihood Resilience: Evidence from Khyber Pakhtunkhwa Province, Pakistan. *Land, 11*(1), 71. https://doi.org/10.3390/land11010071