



Pendekatan Agroekologi dalam Optimalisasi Penggunaan Hara dan Air melalui Integrasi Tanaman-Ternak Berbasis LEISA

Riswanda Sukma Hanifa¹, Lolita Endang Susilowati², Mulyati³, Swardji⁴

Program Studi Magister Pertanian Lahan Kering, Pascasarjana, Universitas Mataram, Jl.

Majapahit No. 62, Gomong, Kota Mataram, NTB, Indonesia 83125.

Email Korespondensi: riswanda.sukmahanifa@gmail.com

Abstrak

Pertanian lahan kering menghadapi tantangan utama berupa rendahnya kesuburan tanah, keterbatasan air, dan tingginya kehilangan hara akibat erosi, evaporasi, serta minimnya bahan organik. Pendekatan agroekologi dan konsep *Low External Input Sustainable Agriculture* (LEISA) menawarkan strategi berkelanjutan melalui pemanfaatan sumber daya lokal, optimalisasi proses biologis tanah, dan pengurangan ketergantungan pada input eksternal. Salah satu implementasi yang relevan adalah sistem integrasi tanaman-ternak (*Integrated Crop-Livestock System* (ICLS)), yang mampu meningkatkan efisiensi hara dan air melalui pemanfaatan residu tanaman sebagai pakan ternak, pengembalian kotoran ternak sebagai pupuk organik, dan peningkatan aktivitas mikroba tanah. Kajian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) sebagai pendekatan utama untuk menghimpun, menyeleksi, dan menganalisis secara terstruktur dan transparan terhadap publikasi nasional dan internasional dalam rentang tahun 2015-2025 pada topik efisiensi hara-air, agroekologi, dan sistem integratif pada lahan kering. Hasil analisis menunjukkan bahwa ICLS mampu meningkatkan kandungan bahan organik, memperbaiki aliran nutrien dalam tanah, infiltrasi air, dan menjaga stabilitas agregat tanah yang sangat mendukung keberlanjutan lahan pertanian karena dapat meminimalkan pencemaran dan mendukung pemulihian fungsi ekologis lahan pertanian, sekaligus memberikan manfaat ekonomi melalui penghematan input sehingga mampu meningkatkan produktivitas lahan, serta memungkinkan adanya diversifikasi pendapatan. Namun, adopsi ICLS masih terhambat oleh kelembagaan petani, keterbatasan teknologi, dan minimnya dukungan kebijakan. Kajian ini menegaskan bahwa integrasi agroekologi dan LEISA berpotensi besar untuk memperkuat keberlanjutan pertanian lahan kering.

Kata kunci: Agroekologi; LEISA; Integrasi Tanaman Ternak; Efisiensi Penggunaan Hara; Efisiensi Penggunaan Air.

Agroecological Approaches to Optimizing Nutrient and Water Use through Crop-Livestock Integration within a LEISA-Based System

Abstract

Dryland agriculture faces major challenges such as low soil fertility, limited water availability, and high nutrient losses due to erosion, evaporation, and low organic matter. Agroecology approaches and the concept of Low External Input Sustainable Agriculture (LEISA) offer sustainable strategies through the use of local resources, optimization of soil biological processes, and reduction of dependence on external inputs. One relevant implementation is the Integrated Crop-Livestock System (ICLS), which can improve nutrient and water use efficiency by utilizing crop residues as livestock feed, returning animal manure as organic fertilizer, and enhancing soil microbial activity. This study uses the Systematic Literature Review (SLR) method as the main approach to systematically and transparently collect, select, and analyze national and international publications published between 2015 and 2025 on the topic of nutrient-water efficiency, agroecology, and integrative systems in dryland. The analysis results showed that ICLS is able to increase organic matter content, improve nutrient flow in the soil, water infiltration, and maintain soil aggregate stability, which strongly supports the sustainability of agricultural land because it can minimize pollution and support the restoration of ecological functions of farmland, while also providing economic benefits through input savings, thereby increasing land productivity and allowing for income diversification. However, the adoption of ICLS is still hindered by farmer institutions, limited technology, and minimal policy support. This study emphasizes that the integration of agroecology and LEISA has great potential to strengthen the sustainability of dryland agriculture.

Keywords: Agroecology, LEISA, Crop Livestock Integration, Nutrient Use Efficiency, Water Use Efficiency.

How to Cite: Hanifa, R. S., Susilowati, L. E., Mulyati, M., & Swardji, S. (2025). Pendekatan Agroekologi dalam Optimalisasi Penggunaan Hara dan Air melalui Integrasi Tanaman-Ternak Berbasis LEISA. *Empiricism Journal*, 6(4), 2386-2397. <https://doi.org/10.36312/xfd2xc82>



<https://doi.org/10.36312/xfd2xc82>

Copyright© 2025, Hanifa et al.

This is an open-access article under the CC-BY-SA License.



PENDAHULUAN

Lahan kering menempati porsi luas wilayah pertanian di banyak negara beriklim tropis dan semi-kering, termasuk Indonesia. Produktivitas pada lahan tersebut seringkali dibatasi oleh ketersediaan air, rendahnya kesuburan organik tanah, dan praktik pengelolaan yang cenderung bergantung pada masukan eksternal, seperti pupuk mineral dan irigasi intensif yang tidak selalu berkelanjutan. Menurut UGM, (2020), kondisi kepemilikan lahan pertanian di Indonesia yang semakin sempit menuntut penerapan sistem produksi yang efisien, adaptif, dan berkelanjutan. Salah satu pendekatan yang dinilai mampu menjawab tantangan tersebut adalah sistem LEISA, yang mengintegrasikan tanaman, hewan, tanah, air, iklim, dan manusia secara sinergis untuk mencapai efisiensi dan keberlanjutan. Pendekatan LEISA mampu diimplementasikan melalui sistem pertanian terpadu yang mengombinasikan berbagai komponen seperti tanaman, ternak, dan perikanan. Sistem integratif ini tidak hanya dapat meningkatkan produktivitas, tetapi juga memperbaiki efisiensi sumber daya dan menurunkan ketergantungan pada input eksternal.

Salah satu strategi yang mendapat perhatian ialah integrasi tanaman-ternak atau ICLS (*Integrated Crop-Livestock Systems*). Integrasi ini memfasilitasi sirkularitas sumber daya di tingkat lahan dan lanskap, seperti memanfaatkan residu tanaman sebagai pakan, kotoran ternak dikembalikan sebagai pupuk organik, dan rotasi atau fase padang penggembalaan membantu menata aliran nutrien sehingga pelepasan dan ketersediaan hara menjadi lebih sinkron dengan kebutuhan tanaman. ICLS mampu meningkatkan stok karbon organik tanah, biomassa mikroba, stabilitas agregat, serta memperbaiki infiltrasi semua atribut yang berkontribusi pada efisiensi hara dan efisiensi air pada kondisi lahan kering. Selain aspek teknis, model integratif juga relevan dari perspektif ekonomi sirkular karena mengurangi kebutuhan pupuk mineral dan energi input serta menambah nilai tambah bagi petani kecil (Swastika *et al.*, 2024).

Konsep integrasi tanaman dan ternak di Indonesia telah lama dikembangkan dengan memperhatikan prinsip-prinsip agroekologi, yaitu keberlanjutan lingkungan, sosial, dan ekonomi. Sistem ini menjadi dasar penting bagi pendekatan LEISA karena menekankan keseimbangan antara produksi, efisiensi sumber daya, dan keberlanjutan ekosistem. Pendekatan sistem integrasi tanaman-ternak (ICLS) mampu memperbaiki aliran nutrien dalam lahan karena limbah ternak dimanfaatkan kembali sebagai sumber hara bagi tanaman, sehingga penggunaan input luar dapat ditekan. Sekaran *et al.* (2021) menjelaskan bahwa hubungan timbal balik antara komponen tanaman dan ternak dalam ICLS dapat meningkatkan stabilitas produksi sekaligus mendukung ketahanan pangan. Di sisi lain, penelitian oleh Xing & Wang (2024) menunjukkan bahwa pertanian presisi di wilayah kering melalui pemantauan kelembapan dan pengaturan irigasi secara lebih tepat dapat menghemat air tanpa mengurangi hasil tanaman. Kombinasi kedua pendekatan tersebut berpotensi memperkuat efisiensi pemanfaatan sumber daya pada lahan kering dan sejalan dengan prinsip LEISA, yang menekankan pentingnya mengurangi ketergantungan pada input eksternal serta mengoptimalkan fungsi ekologis di dalam sistem pertanian.

Integrated Farming System (IFS) yang mencakup integrasi tanaman, ternak, perikanan, dan sub sektor lainnya, menunjukkan bahwa sistem pertanian ini secara konsisten memberikan dampak positif terhadap kinerja agronomis dan ekonomi usahatani di Indonesia. Dimana hasil penelitian oleh Usni (2025) menunjukkan beberapa studi empiris yang menerapkan sistem terintegrasi mampu meningkatkan produktivitas lahan sebesar 15-25%, terutama melalui pemanfaatan limbah antar subsektor sebagai input produksi, seperti kotoran ternak sebagai pupuk dan residu tanaman sebagai pakan ternak. Hal ini dicontohkan pada penerapan sistem integrasi tanaman hortikultura dengan ternak rumahan yang kemudian dipasarkan melalui marketplace. Selain itu, efisiensi penggunaan sumberdaya juga meningkat yang tercermin dari penurunan penggunaan input kimia sekitar 30%, seiring dengan meningkatnya peran pupuk organik dan proses biologi tanah. Sedangkan dari sisi ekonomi, diversifikasi usaha dalam sistem integrasi ini terbukti mampu meningkatkan pendapatan petani hingga 35%, karena adanya tambahan sumber penapatan dari sub sektor lain juga dari penurunan biaya produksi.

Sri & Nengsi (2025) menunjukkan bahwa sistem integrasi usahatani-ternak di Indonesia termasuk pola padi-sapi, tanaman pangan-kambing, serta sistem integrasi pada lahan sawah, lahan kering, dan perkebunan mampu meningkatkan produktivitas sekaligus

efisiensi pemanfaatan sumber daya. Studi ini menegaskan bahwa integrasi tanaman dan ternak mendukung ketersediaan pakan sepanjang tahun, meningkatkan kualitas tanah melalui pemanfaatan kotoran ternak sebagai pupuk, serta mengurangi ketergantungan pada input luar. Selain itu sistem pertanian terintegrasi berperan penting dalam memperkuat keberlanjutan lingkungan, sosial, dan ekonomi dalam pembangunan agrokompleks di Indonesia.

Meskipun potensi ICLS dan prinsip agroekologi menjanjikan, adopsinya di lapangan masih menghadapi hambatan teknis dan kelembagaan, seperti masalah logistik distribusi pupuk organik, biaya transportasi kotoran ternak untuk lahan yang berjauhan, hingga kebijakan insentif yang belum memadai (Kronberg *et al.*, 2021). Selain itu, kapasitas kelembagaan petani, keterbatasan teknologi, hingga minimnya dukungan kebijakan pemerintah. Keterbatasan ini menegaskan perlunya kajian komprehensif melalui telaah sistematis untuk memahami bagaimana prinsip-prinsip agroekologi dapat diterapkan secara efektif dalam konteks lahan kering, serta bagaimana integrasi tanaman-ternak dapat berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi sumber daya dan keberlanjutan sistem pertanian.

Penelitian oleh Megawati *et al.* (2023) menyatakan hambatan utama yang dihadapi oleh peternak dalam menerapkan sistem integrasi tanaman jagung dengan sapi Bali adalah faktor lahan, yaitu keterbatasan dan perubahan alokasi penggunaan lahan. Lahan yang seharusnya dimanfaatkan untuk budidaya jagung sebagai sumber pakan ternak sering dialihkan untuk tanaman lain seperti padi dan cabai yang dianggap lebih menguntungkan secara ekonomi, sehingga peluang intergasi tanaman ternak menjadi terbatas. Sementara itu faktor teknologi dan tingkat pengetahuan pengetahuan peternak tidak menjadi hambatan yang signifikan, karena sebagian besar peternak telah memahami dan mampu menerapkan teknologi pemanfaatan libah tanaman jagung sebagai ternak sapi. Sehingga keberhasilan integrasi tanaman-ternak ini tidak hanya ditentukan oleh penguasaan teknologi dan pengetahuan, tetapi juga dipengaruhi oleh ketersediaan dan konsistensi pemanfaatan lahan sebagai komponen utama dalam sistem integrasi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, kajian ini bertujuan untuk: (1) Menganalisis secara komprehensif pengelolaan pertanian lahan kering melalui pendekatan agroekologi dan prinsip LEISA; (2) Mengkaji kontribusi integrasi tanaman-ternak dalam meningkatkan efisiensi penggunaan hara dan air, yaitu dalam memperbaiki siklus nutrien, struktur tanah, dan retensi air; dan (3) Menelaah implikasi sosial dan ekonomi peran sistem LEISA dan integrasi tanaman-ternak dalam mendukung keberlanjutan usahatani lahan kering. Hasil kajian diharapkan memberikan landasan teori dan rekomendasi praktis bagi pengembangan sistem pertanian lahan kering yang berkelanjutan, khususnya dalam konteks Indonesia dan wilayah tropis kering lainnya.

METODE

Kajian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) sebagai pendekatan utama untuk menghimpun, menyeleksi, dan menganalisis berbagai penelitian nasional dan internasional secara terstruktur dan transparan yang berkaitan dengan optimalisasi efisiensi hara dan air melalui pendekatan agroekologi dan sistem LEISA pada pertanian lahan kering (Isurmin, 2025). Proses penelusuran literatur dilakukan secara terstruktur melalui database bereputasi seperti MDPI, *ScienceDirect*, *Google Scholar* dan SINTA. Kombinasi kata kunci dalam Bahasa Indonesia dan Inggris antara lain LEISA, *agroecology*, *crop-livestock integration*, *nutrient use efficiency*, *water use efficiency*, dan *dryland farming* digunakan untuk mengidentifikasi publikasi yang relevan. Seleksi artikel dibatasi pada rentang publikasi 2015-2025 untuk memastikan bahwa kajian yang disusun relevan dan mencerminkan perkembangan terkini yang berfokus pada penelitian yang menyediakan data empiris dan analisis mendalam terkait integrasi tanaman-ternak, efisiensi sumber daya, dan praktik agroekologi di lahan kering. Pendekatan ini dipilih untuk menghasilkan sintesis ilmiah yang komprehensif dan valid mengenai kontribusi sistem integratif terhadap keberlanjutan pertanian lahan kering.

Dengan pendekatan ini, hasil kajian diharapkan mampu memberikan gambaran utuh mengenai penerapan prinsip agroekologi, khususnya dalam meningkatkan efisiensi penggunaan hara dan air melalui integrasi tanaman dan ternak pada sistem pertanian lahan

kering berbasis LEISA, serta memberikan arah strategis bagi pengembangan riset dan kebijakan pengelolaan sumber daya lahan berkelanjutan di masa mendatang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem Pertanian Lahan Kering: Tantangan dan Peluang

Sistem pertanian lahan kering memiliki ciri khas berupa curah hujan terbatas, tingkat penguapan tinggi, serta tanah dengan kesuburan rendah akibat minimnya bahan organik dan unsur hara penting. Kondisi tersebut menyebabkan tanaman mudah mengalami kekurangan air dan nutrisi, sehingga produktivitas sering tidak optimal. Tantangan yang umum dihadapi meliputi rendahnya pasokan hara, cepatnya kehilangan air, dan keterbatasan input produksi yang tersedia bagi petani. Menurut Novita *et al.* (2025) dalam penelitian di Kabupaten Labuhanbatu, lahan kering menunjukkan karakteristik biofisik yang membatasi, terutama rendahnya kandungan bahan organik dan unsur hara makro seperti nitrogen dan fosfor. Dalam studi tersebut terungkap bahwa pH tanah serta indeks kesuburan berada di angka yang kurang optimal, sedangkan kandungan K (kalium) berada pada tingkat sedang. Kondisi ini menyulitkan pertumbuhan tanaman dan biologis tanah yang semestinya mendukung retensi air dan produktivitas tanaman secara berkelanjutan.

Spesialisasi pertanian modern telah menyebabkan terputusnya hubungan alami antara sistem tanaman dan ternak yang sebelumnya saling mendukung dalam daur nutrisi. Akibat pemisahan ini, kotoran ternak yang seharusnya menjadi sumber pupuk alami bagi lahan pertanian kini menjadi limbah yang menimbulkan risiko pencemaran udara dan air. Nuryati *et al.* (2019) mengkaji agroekosistem lahan kering di Kabupaten Tasikmalaya dan menemukan bahwa meski lahan tersebut rentan terhadap erosi karena lereng curam dan tipe tanah seperti podsolik, terdapat peluang nyata untuk menerapkan pola usahatani polikultur terintegrasi. Pola integratif ini bisa memperkuat konservasi tanah lewat vegetasi penutup dan pemanfaatan limbah organik, serta meningkatkan efisiensi pemupukan melalui daur ulang residu tanaman. Dengan demikian, sistem ini menawarkan jalan tengah antara menjaga kesuburan tanah dan menjaga efisiensi penggunaan hara dan air di lahan kering.

Pola integrasi tanaman ternak, khususnya kelapa sawit dengan sapi yang dijalankan di Provinsi Riau belum memberikan dampak yang positif terhadap keberlanjutan usahatani, yaitu pada pengelolaan sumberdaya lingkungan berupa residu nitrogen. Usahatani yang dilakukan saat ini masih memiliki nilai keberlanjutan yang rendah, artinya petani belum mampu mencapai keberlanjutan karena manfaat ekonomi yang dihasilkan belum mampu menutupi *opportunity cost* sumberdaya yang digunakan, seperti pengelolaan tenaga kerja keluarga dan pengelolaan pupuk, jika dibandingkan dengan usahatani non-integrasi yang sudah efisien. Meskipun demikian, sejumlah variabel secara statistik terbukti memberikan pengaruh positif terhadap keberlanjutan, yakni efisiensi teknis, luas kebun kelapa sawit, residu nitrogen produksi sapi, serta harga tandan buah segar. Sehingga integrasi tanaman-ternak ini memerlukan manajemen sumberdaya yang lebih produktif dan perhatian terhadap jumlah tenaga kerja rumah tangga serta pedyedian pupuk kelapa sawit agar sistem integratif ini benar-benar berkelanjutan (Yuhendra *et al.*, 2022).

Prinsip Dasar LEISA dan Agroekologi

Prinsip dasar *Low External Input Sustainable Agriculture* (LEISA) dan agroekologi menekankan optimalisasi sumber daya lokal melalui pengelolaan alamiah yang efisien dan berkelanjutan. Kedua pendekatan ini berupaya mengurangi ketergantungan terhadap input eksternal seperti pupuk dan pestisida kimia, dengan menggantinya melalui siklus alami yang melibatkan interaksi antara tanah, tanaman, hewan, dan mikroorganisme. Melalui pemanfaatan proses biologis, sistem LEISA mendorong efisiensi produksi tanpa merusak keseimbangan ekosistem. Pendekatan ini tidak hanya menjaga produktivitas jangka panjang, tetapi juga memperkuat ketahanan lingkungan dan kesejahteraan petani di tingkat lokal. Soares *et al.* (2024), menyatakan prinsip dasar agroekologi dan pertanian berinput rendah sangat jelas dalam sistem pertanian terpadu tanaman-ternak, di mana limbah tanaman dan kotoran hewan didaur ulang sebagai nutrien organik untuk tanah. Sehingga sistem integratif tidak hanya meningkatkan kandungan materi organik tanah tetapi juga memperkuat siklus karbon dan nitrogen, memungkinkan pemanfaatan sumber daya lokal secara efisien tanpa bergantung besar pada pupuk kimia.

Pendekatan ekonomi sirkular dalam pertanian menekankan pentingnya penggunaan kembali sumber daya (*resource reuse*) dan penerapan sistem daur tertutup (*closed-loop system*). Konsep pertanian organik terintegrasi (*Integrated Organic Farming System, IOFS*) secara eksplisit mengusung prinsip 5R (*Reduce, Reuse, Recycle, Refuse, Replace*), merupakan pendekatan inovatif yang dirancang untuk menyeimbangkan antara peningkatan produksi pangan dan pelestarian lingkungan. Sistem ini menekankan penggunaan input kimia yang sangat minimal atau bahkan tidak sama sekali, serta mendorong pemanfaatan kembali residu dan limbah pertanian melalui proses daur ulang di dalam sistem usahatani. Dengan mengintegrasikan berbagai komponen pertanian secara terpadu, IOFS membentuk sistem yang lebih alami, efisien dan berkelanjutan. Pendekatan ini memungkinkan pemanfaatan sumberdaya secara optimal, mengurangi limbah, serta memperkuat ketahanan sistem pangan dalam jangka panjang tanpa merusak lingkungan (Selvan *et al.*, 2023).

Pemanfaatan limbah ternak secara optimal menjadi salah satu kunci dalam membangun sistem pertanian yang mengikuti prinsip ekonomi sirkular, karena bahan buangan tersebut dapat diubah menjadi sumber hara yang bermanfaat bagi tanah. Studi yang dilakukan oleh Islami *et al.* (2025) menunjukkan bahwa penggunaan pupuk organik hasil pengolahan limbah ternak mampu mengurangi ketergantungan petani pada pupuk sintetis sekaligus membantu memperbaiki kualitas tanah. Praktik ini juga memberikan kontribusi terhadap keberlanjutan lingkungan karena dapat meminimalkan pencemaran dan mendukung pemulihian fungsi ekologis lahan pertanian. Selain aspek ekologis, pendekatan ini berdampak positif terhadap ekonomi petani melalui pengurangan biaya produksi dan peningkatan hasil tanaman yang diusahakan. Secara keseluruhan, pemanfaatan limbah ternak dalam kerangka pertanian sirkular menjadi strategi yang menjanjikan untuk menciptakan agroekosistem yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan adaptif terhadap perubahan kondisi lahan maupun iklim.

Integrasi Tanaman-Ternak dalam Sistem LEISA

Sistem integrasi tanaman-ternak dicirikan oleh keterkaitannya yang erat antara komponen tanaman dan ternak. Keterpaduan tanaman dan ternak akan menciptakan siklus hara yang efisien. Limbah hasil pertanian dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak, sementara kotoran ternak menjadi sumber pupuk organik. Integrasi tanaman-ternak di lahan kering, sebagaimana dijelaskan dalam penelitian Suwarta & Purwani (2018), menunjukkan bahwa pemanfaatan kotoran kambing sebagai pupuk organik menjadi strategi penting untuk meningkatkan efisiensi hara. Rata-rata peternak menghasilkan sekitar 1,2 ton pupuk kandang per tahun. Namun, sebelum adanya pendampingan, sebagian besar peternak belum mampu mengolah dan memanfaatkannya secara optimal. Setelah diperkenalkan dengan teknik pembuatan pupuk organik, limbah ternak tersebut dapat dikembalikan ke lahan sehingga dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kesuburan tanah tanpa bergantung pada pupuk kimia. Penelitian yang sama juga menyoroti perbaikan efisiensi nutrisi pada ternak melalui pengolahan limbah pertanian menjadi pakan fermentasi. Proses fermentasi pada jerami, tongkol jagung, dan residu tanaman lainnya terbukti menurunkan kadar serat kasar sehingga pakan lebih mudah dicerna dan lebih efektif sebagai sumber energi dan nutrien bagi kambing. Pemanfaatan limbah pertanian sebagai bahan pakan juga membantu peternak mengurangi ketergantungan pada pakan hijauan yang membutuhkan air lebih banyak dalam proses produksinya.

Kesuksesan Indonesia dalam swasembada pangan dibarengi dengan tantangan berupa degradasi kesuburan tanah dan dampak lingkungan. Untuk mengatasi masalah ini, strategi pertanian ramah lingkungan, seperti ICLS dapat menciptakan hubungan timbal balik yang memperkuat efisiensi siklus hara dan air dalam agroekosistem. Sistem ini berpotensi mengurangi dampak lingkungan negatif, karena limbah ternak dapat menggantikan sebagian pupuk kimia, sementara limbah tanaman dimanfaatkan sebagai pakan ternak. Selain itu, limbah ternak juga dapat diubah menjadi biogas, memberi manfaat bagi rumah tangga petani dan mengurangi ketergantungan pada input eksternal seperti pupuk kimia dan sumber energi seperti gas alam dan kayu bakar. Melalui mekanisme ini, terjadi peningkatan retensi hara dan karbon organik tanah, sehingga sistem mampu menjaga kesuburan tanah dan mempertahankan produktivitas di lahan kering. Selain itu, peningkatan kandungan karbon tanah turut memperbaiki kapasitas tukar kation (KTK) tanah, sehingga efisiensi

serapan nitrogen, fosfor, dan kalium meningkat. Dengan demikian, sistem integratif ini tidak hanya mendukung produktivitas tetapi juga memperbaiki fungsi ekologis tanah secara keseluruhan (Swastika et al., 2024).

de Bortolli et al. (2024), menekankan bahwa pengelolaan berbasis integrasi tanaman-ternak (ICLS) memungkinkan hara tersirkulasi lebih efisien antar fase sistem. Integrasi antara komponen tanaman dan ternak memungkinkan terjadinya proses dekomposisi dan daur ulang residu tanaman yang lebih cepat, sehingga mengurangi kehilangan hara dan meningkatkan ketersediaannya di lapisan akar. Berdasarkan hasil penelitian, residu tanaman dalam sistem integrasi tanaman-ternak menunjukkan perbedaan yang jelas dalam jumlah biomassa, kandungan hara, serta laju dekomposisinya. Residu jagung yang tidak digembalakan menghasilkan biomassa sisa tertinggi setelah panen, yaitu sekitar 6.773 kg bahan kering ha^{-1} , namun memiliki kandungan serat struktural paling tinggi, sehingga dekomposisinya berlangsung lebih lambat. Sebaliknya, residu oat hitam memiliki biomassa terendah ± 1.385 kg bahan kering ha^{-1} , tetapi kandungan nitrogen, fosfor, dan kalium paling tinggi. Fraksi bahan aktif yang terdekomposisi berkisar antara 36,8-80,2%, dengan nilai tertinggi pada residu oat hitam dan nilai terendah pada residu jagung, menunjukkan bahwa residu dengan kandungan serat lebih rendah lebih cepat terurai. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa jenis residu tanaman, tinggi tajuk, dan waktu pemupukan nitrogen sangat memengaruhi dinamika dekomposisi dan siklus hara, sehingga perlu dipertimbangkan secara cermat dalam strategi pemupukan untuk meningkatkan keberlanjutan sistem integrasi tanaman-ternak.

Perlakuan ini memperbaiki dinamika pelepasan hara dan menjaga ketersediaan nitrogen bagi tanaman berikutnya. Dengan demikian, integrasi yang baik antara pengelolaan pupuk, ternak, dan residu tanaman menjadi kunci dalam menjaga efisiensi siklus nutrisi serta kualitas tanah di lahan kering.

Efisiensi Penggunaan Hara dalam Sistem LEISA

Sistem pertanian terintegrasi tanaman-ternak (*Crop-Livestock Integration/CLI*) merupakan pendekatan yang menjanjikan untuk memulihkan lahan terdegradasi dan meningkatkan efisiensi siklus hara di wilayah tropis. Komponen fisik tanah berfungsi dalam mendukung pertumbuhan dan struktur akar, sebagai habitat bagi organisme tanah, dan berfungsi dalam pemurnian dan pengaturan air tanah yang ditandai dengan terbentuknya kepadatan tanah serta agregat yang stabil. Komponen kimia tanah berfungsi dalam pengaturan pH dan siklus hara di dalam tanah. Sedangkan komponen biologi tanah berfungsi dalam proses penyerapan dan penyimpanan CO_2 , serta dapat mengendalikan iklim mikro tanah. Berdasarkan hasil penelitian, diversifikasi tanaman dan penerapan praktik regeneratif terbukti efektif dalam memperbaiki retensi karbon, kesuburan tanah, serta aktivitas biologis tanah. Penerapan *Megathyrsus maximus* dalam sistem CLI secara nyata meningkatkan kesehatan biologi tanah melalui peningkatan kandungan karbon dan aktivitas enzim ekstraseluler. Namun, meskipun manfaat jangka pendeknya cukup jelas, perbaikan yang berkelanjutan tetap memerlukan pengelolaan yang konsisten untuk mengatasi berbagai kendala, seperti pemanfaatan tanah dan pencucian unsur hara. Selain itu, integrasi komponen pepohonan dalam sistem CLI berpotensi memberikan keuntungan tambahan, seperti peningkatan kemampuan tanah dalam menyimpan air dan akumulasi bahan organik tanah yang lebih tinggi (Vanolli et al., 2025).

Sistem integrasi tanaman kelapa sawit dengan ternak sapi memiliki peran penting dalam meningkatkan kualitas tanah melalui pemanfaatan limbah tanaman dan ternak sebagai sumber bahan organik. Dimana serasah kelapa sawit serta kotoran ternak sapi yang dikembalikan ke lahan berfungsi sebagai input organik yang mampu memperbaiki sifat fisik tanah, seperti peningkatan stabilitas agregat dan perbaikan struktur tanah, yang secara tidak langsung mendukung kemampuan tanah dalam meresapkan air (infiltrasi). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa 1,6 ton tandan buah kosong menghasilkan 107 kg N ha^{-1} , 35,3 kg K ha^{-1} , 2,7 kg Mg ha^{-1} , dan 0,4 kg P ha^{-1} , demikian juga pelepasan terutama dari pangkasannya menghasilkan sebesar 139,4 kg K ha^{-1} sebagai sumber hara tambahan. Sedangkan bila petani memiliki sapi 2-3 ekor, maka kotoran padat sapi dapat menghasilkan sekitar 8-14 ton C, 46-74 kg N, 10-18 kg P, dan 0,09-0,15 kg K per tahun dan urin sapi menghasilkan sekitar 0,14-0,24 ton C, 44,6-90 kg

N, 0,52-0,78 kg P, dan 0,0134-0,0219 kg K per tahun. Proses dekomposisi bahan organik dari limbah sawit dan ternak menghasilkan senyawa yang berperan dalam pembentukan agregat tanah yang lebih stabil, sehingga tanah menjadi lebih gembur, tidak mudah tererosi, dan memiliki fungsi hidrologi yang lebih baik (Husnain & Nursyamsi, 2015).

Sedangkan menurut (UGM, 2020), pupuk kandang sebanyak 40 ton ha⁻¹ dari sapi potong dapat menyumbang 260 kg N, 60 kg P, dan 120 kg K per hektar; dari itik petelur menyumbang 600 kg N, 308 kg P, dan 356 kg K per hektar. Hara makro tersebut dapat mencukupi bagi pertanaman. Pemanfaatan limbah ternak sebagai pupuk kandang terbukti berkontribusi signifikan terhadap peningkatan ketersediaan hara makro (N, P, K) di tanah. Hal ini memperlihatkan efektivitas integrasi tanaman-ternak dalam menjaga keseimbangan siklus hara serta mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia.

Tingkat integrasi dalam sistem tanaman-ternak sangat memengaruhi efisiensi produksi dan siklus nutrien. Sistem integrasi tingkat tinggi, yaitu jagung-semanggi merah-rumput campuran atau *Maize-Red Clover-Mixed Praire* (MRP) dan jagung-tanaman penutup tanah-rumput campuran atau *Maize-Cover Crop-Mixed Praire* (MCP) terbukti mampu meningkatkan kandungan bahan organik tanah sebesar 17,4% dan efisiensi pemanfaatan nitrogen hingga 91,5% dibandingkan sistem dengan tingkat integrasi yang lebih rendah (MM) atau *maize monoculture*. Sistem integrasi tingkat tinggi *Maize-Red Clover-Mixed Praire* (MRP) atau jagung-semanggi merah-rumput campuran. Produksi biomassa dan efisiensi energi juga meningkat secara signifikan, menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah ternak dan residu tanaman dalam satu sistem tertutup dapat mengoptimalkan aliran nutrien. Penelitian ini menyimpulkan bahwa semakin tinggi tingkat integrasi tanaman-ternak, semakin besar pula manfaat ekologis dan produktivitas yang diperoleh. Pengelolaan limbah ternak dan residu tanaman secara terintegrasi terbukti meningkatkan efisiensi siklus nutrien dan keberlanjutan sistem produksi (Domínguez-hernández *et al.*, 2025).

Sistem pertanian terintegrasi tanaman-ternak (ICLS) terbukti mampu memperbaiki sifat biokimia tanah yang berpengaruh langsung terhadap efisiensi penggunaan hara dan air. Penelitian de Carvalho *et al.* (2024), menunjukkan bahwa kandungan karbon total (TC), nitrogen total (TN), dan karbon biomassa mikroba (MBC) meningkat secara signifikan pada sistem integratif jangka panjang dibandingkan dengan lahan monokultur atau padang penggembalaan. Peningkatan aktivitas mikroba dan biomassa karbon ini memperkuat fungsi ekosistem tanah, menjaga stabilitas bahan organik, serta menurunkan kehilangan nitrogen melalui pencucian maupun emisi N₂O. Kondisi tersebut mencerminkan bahwa proses biologis tanah berlangsung lebih aktif dalam sistem integrasi, sehingga ketersediaan hara bagi tanaman menjadi lebih baik dan siklus nutrisi berjalan lebih tertutup dan efisien. Dengan demikian, integrasi tanaman-ternak tidak hanya meningkatkan efisiensi hara, tetapi juga memberikan manfaat ekologis yang luas melalui perbaikan kualitas tanah dan pengurangan kebutuhan pupuk kimia eksternal dalam jangka panjang.

Penelitian yang dilakukan oleh Murnita *et al.* (2019) dengan mengadakan pelatihan kepada Kelompok Tani Bina Karya di Kabupaten Solok dalam penerapan sistem integrasi padi sawah dan sapi melalui pemanfaatan kotoran sapi dan jerami padi sebagai bahan baku pupuk organik. Berdasarkan hasil penelitian, telah dilakukan pelatihan pembuatan pupuk organik dari kotoran sapi dan jerami padi, pembuatan pakan ternak, dan pemeliharaan ternak sapi. Mitra memiliki motivasi tinggi dalam melanjutkan dan menerapkan hal tersebut untuk meningkatkan produktivitas usahatannya. Kombinasi penggunaan pupuk organik hasil olahan limbah ternak dengan pupuk anorganik terbukti mampu meningkatkan hasil gabah sebesar 25-27% dibandingkan dengan sistem pemupukan yang hanya mengandalkan pupuk anorganik, yaitu penggunaan pupuk organik saja menghasilkan produksi padi yang rendah (6,08-6,20 ton/ha) tetapi dengan pemberian pupuk organik dapat mengurangi pemakaian pupuk anorganik. Sedangkan pemberian pupuk anorganik 50% + organik 50% dapat meningkatkan hasil tanaman padi sebesar 25% (8,34 ton/ha) dan dengan penambahan pupuk organik cair lebih meningkatkan produksi padi yaitu sebanyak 27% (8,6 ton/ha) dibandingkan tanpa menambahkan pupuk organik.

Pemberian biochar dari pangkasan *G. sepium* dan brangkasan jagung nyata meningkatkan kandungan C-organik tanah, dari 1,56% menjadi 2,0-2,09%. Biochar mengandung senyawa aromatik yang bersifat rekalsitran dan mampu mempertahankan stabilitas karbon dalam tanah". Penambahan biochar berbasis limbah pertanian secara

signifikan meningkatkan kandungan karbon organik tanah dan efisiensi penyerapan hara, karena biochar memiliki sifat kimia yang stabil dan mampu mempertahankan unsur hara lebih lama di dalam tanah (Mateus *et al.*, 2017). Studi ini menegaskan bahwa biochar dari residu tanaman seperti *G. sepium* dan jagung sangat potensial diterapkan dalam sistem pertanian lahan kering berbasis agroekologi untuk meningkatkan efisiensi hara dan kualitas tanah secara berkelanjutan.

Efisiensi Penggunaan Air dalam Sistem Agroekologi

Penerapan *Integrated Crop-Livestock System* (ICLS) secara signifikan memperbaiki sifat fisik tanah terutama pada lapisan permukaan (0-10 cm), dibandingkan dengan sistem *cropland* intensif tanpa integrasi. Hasil penelitian mengungkapkan bahwa tanah yang dikelola dengan ICLS memiliki 27% hingga 46% lebih banyak kandungan karbon organik tanah (SOC) di kedalaman 0-10 cm dibandingkan *cropland* biasa, menunjukkan peningkatan akumulasi bahan organik yang lebih kuat di permukaan tanah. Selain itu, ICLS juga berkontribusi pada penurunan kepadatan *bulk density* (pb) di beberapa lokasi dan peningkatan *saturated hydraulic conductivity* (Ksat) yang berarti tanah lebih mampu mentransmisikan air melalui pori-porinya. Kapasitas air tersedia (*Available Water Capacity/AWC*) juga meningkat seiring peningkatan SOC, mengindikasikan bahwa tanah bawah ICLS mampu menyimpan dan memberikan air lebih baik bagi tanaman. Sehingga disimpulkan ICLS dapat meningkatkan sifat hidro-fisik tanah yang penting untuk infiltrasi air dan struktur tanah secara umum jika dilakukan dalam jangka panjang (Chakraborty *et al.*, 2024).

Konservasi tanah dan air (*Soil and Water Conservation/SWC*) memiliki manfaat terhadap keanekaragaman hayati, memperbaiki keseimbangan air tanah, pengendalian erosi, memperkuat ketahanan sistem pertanian terhadap kekeringan dan perubahan iklim. Peningkatan tutupan vegetasi tidak hanya menekan laju erosi dan kehilangan hara, tetapi juga meningkatkan penyerapan karbon di dalam profil tanah. hal ini menegaskan pentingnya vegetasi penutup atau tanaman pakan ternak dalam mempertahankan kesuburan dan efisiensi daur hara. Bahan organik yang berasal dari bagian tanaman dan limbah ternak, yang manfaatkan sebagai mulsa, memiliki peran penting dalam konservasi tanah dan air. Penerapan jalur rumput dan pagar tanaman (*hedgerows*) efektif dalam mengurangi limpasan masing-masing sebesar 56% dan 61%, bahkan dapat mencapai 77% tergantung pada jenis tanaman dan kerapatannya. Pada perkebunan kelapa sawit, penggunaan guludan (*bunds*) terbukti menurunkan limpasan permukaan sebesar 63,4%, dan efektivitasnya meningkat secara signifikan ketika dikombinasikan dengan tanaman penutup tanah *Nephrolepis biserrata*, dengan penurunan limpasan hingga 95,7%. Tanaman penutup tanah juga dapat dikombinasikan secara efektif dengan perangkap sedimen dan pupuk kandang, yang mampu mengurangi limpasan hingga 127,8 m³/ha (Dharmawan *et al.*, 2023).

Permasalahan yang dihadapi petani di di Tuban, Jawa Timur adalah meningkatnya harga input pupuk organik dan ketersediaannya yang terbatas. Sedangkan bagi ternak sapi dihadapi kendala kurangnya pakan ternak yang tersedia. Berdasarkan hasil penelitian oleh Suwarto & Prihantoro (2020), biomassa batang, daun, kelobot, dan tongkol sebagai produk samping jagung dapat dimanfaatkan menjadi pakan ternak. Penggabungan usahatanji jagung dengan ternak sapi mampu menciptakan aliran nutrien yang lebih tertutup. Selain itu, pemanfaatan pupuk organik dari kotoran sapi dapat berperan langsung dalam meningkatkan kemampuan tanah menyerap, menyimpan, dan menyediakan air bagi tanaman. Bahan organik dari kotoran hewan memperbaiki struktur tanah dan membentuk agregat tanah yang stabil. Agregat ini menciptakan pori-pori mikro yang dapat menyimpan air lebih lama sehingga tanaman bisa memanfaatkannya secara lebih efisien. Terutama pada lahan kering, ini sangat penting karena ketersediaan air bersifat terbatas dan cepat hilang jika tanah miskin organik. Dengan meningkatnya bahan organik dan aktivitas biologis tanah, sistem ini dapat meningkatkan produktivitas jagung, yaitu penggunaan urea sebanyak 200 kg menghasilkan biji sebanyak 6.890 Kg dan penerimaan tertinggi sebesar Rp21.288.000. Urea dihemat 100 kg ha⁻¹ atau 9.651 ton untuk luas tanaman jagung 96.505 ha/tahun di Tuban.

Xu *et al.* (2023), menyatakan bahwa pupuk organik berperan dalam menjaga kelembapan tanah dan menurunkan laju penguapan, terutama pada musim kering. Penggunaan pupuk kandang pada lahan kering meningkatkan kapasitas penyimpanan air di

lapisan tanah 0-160 cm dan menurunkan konsumsi air yang tidak efisien selama musim tanam. Aplikasi pupuk kandang domba sebanyak 25.000 kg ha⁻¹ menghasilkan peningkatan efisiensi penggunaan air hingga 61,29% dibandingkan dengan perlakuan kontrol tanpa pupuk organik. Peningkatan ini disebabkan oleh perbaikan struktur tanah dan peningkatan aktivitas biologis mikroorganisme yang mempercepat mineralisasi unsur hara seperti nitrogen dan fosfor. Selain itu, pupuk organik juga memperbaiki ketersediaan air di zona perakaran, yang memungkinkan tanaman menyerap unsur hara lebih optimal. Kondisi ini menunjukkan bahwa bahan organik juga meningkatkan kemampuan tanah dalam mempertahankan kelembapan dan memperlancar sirkulasi nutrisi. Peningkatan bahan organik memperkuat struktur agregat tanah, sehingga porositas dan kapasitas infiltrasi air meningkat. Efek ini tidak hanya menekan erosi permukaan tetapi juga mengurangi kebutuhan irigasi tambahan, yang sangat penting bagi pertanian di lahan semi-arid. Dengan demikian, penerapan pupuk organik dari limbah ternak menjadi strategi efektif untuk konservasi air sekaligus memperkuat efisiensi penggunaan air dan hara di ekosistem pertanian berkelanjutan.

Arah Penelitian dan Pengembangan

Arah penelitian dan pengembangan ke depan perlu difokuskan pada upaya menjembatani kesenjangan pengetahuan mengenai hubungan antara efisiensi hara air dan penerapan prinsip agroekologi dalam sistem pertanian lahan kering. Meskipun sejumlah studi menunjukkan manfaat integrasi tanaman-ternak terhadap perbaikan kualitas tanah dan peningkatan efisiensi sumber daya, masih terbatas kajian jangka panjang yang mengkaji dinamika karbon tanah, ketersediaan nitrogen, serta retensi air pada berbagai kondisi biofisik dan social ekonomi petani. Oleh karena itu, penelitian mendatang perlu diarahkan pada pengembangan model integratif yang lebih kontekstual dan adaptif, termasuk evaluasi performa teknologi agroekologi seperti *biofertilizer* berbasis mikroba lokal, aplikasi biochar dari limbah pertanian, serta berbagai teknik panen air (*water harvesting*) yang sesuai dengan karakteristik lahan kering tropis. Selain itu, diperlukan analisis yang lebih mendalam mengenai efektivitas kebijakan dan kelembagaan yang mendukung implementasi LEISA, seperti insentif organik, penyuluhan berbasis agroekologi, dan penguatan kelembagaan kelompok tani dalam pengelolaan sumber daya secara kolektif. Dengan pendekatan multidisipliner yang mencakup aspek biofisik, teknologi, sosial, dan ekonomi, penelitian dan pengembangan ke depan diharapkan mampu menghasilkan strategi yang lebih komprehensif untuk membangun sistem pertanian lahan kering yang produktif, resilien, dan berkelanjutan.

KESIMPULAN

Kajian ini menegaskan bahwa penerapan sistem integrasi tanaman-ternak berbasis pendekatan agroekologi dan prinsip LEISA memiliki potensi yang kuat dalam meningkatkan efisiensi penggunaan hara dan air, memperbaiki kualitas tanah pada ekosistem lahan kering yang rentan terhadap degradasi untuk mendukung keberlanjutan pertanian lahan kering. Integrasi tanaman-ternak terbukti mampu memperbaiki kualitas biofisik dan biokimia tanah, meningkatkan kandungan bahan organik, memperkuat aktivitas mikroba, serta menutup siklus nutrisi melalui pemanfaatan residu tanaman dan kotoran ternak secara berkelanjutan. Perbaikan sifat tanah tersebut berkontribusi langsung terhadap peningkatan kapasitas retensi air, penurunan kehilangan hara, serta peningkatan ketahanan tanaman terhadap cekaman kekeringan. Selain manfaat biofisik dan agronomis, sistem ini juga memberikan peluang peningkatan efisiensi usaha dan ketahanan ekonomi petani melalui diversifikasi sumber pendapatan dan pengurangan ketergantungan terhadap input eksternal. Namun demikian, percepatan adopsi sistem integrasi tanaman-ternak (ICLS) masih memerlukan dukungan kebijakan yang lebih konkret, khususnya dalam bentuk penguatan kelembagaan petani, insentif untuk pemanfaatan input lokal, akses terhadap teknologi tepat guna, serta integrasi program lintas sektor pertanian dan peternakan. Oleh karena itu, pemerintah daerah dan nasional disarankan untuk mengembangkan kebijakan yang mendorong implementasi sistem pertanian terintegrasi secara lebih luas dan adaptif terhadap kondisi agroekosistem setempat. Di sisi lain, penelitian lanjutan perlu diarahkan pada evaluasi jangka panjang dampak sistem integrasi tanaman-ternak terhadap stabilitas produktivitas,

dinamika karbon tanah, dan ketahanan sistem pertanian terhadap perubahan iklim, sehingga dapat memperkuat dasar ilmiah bagi perumusan kebijakan pembangunan pertanian berkelanjutan di lahan kering.

REKOMENDASI

Untuk meningkatkan keberlanjutan pertanian lahan kering, diperlukan arah pengembangan yang menekankan inovasi teknologi konservasi seperti pemanfaatan biofertilizer, aplikasi biochar, dan penerapan teknik panen air untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya terbatas. Sebagian besar studi yang ada masih menitikberatkan pada aspek biofisik, seperti efisiensi hara dan perbaikan sifat tanah. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengombinasikan pendekatan biofisik dengan analisis kebijakan dan sosial ekonomi, termasuk pengujian berbagai model teknologi agroekologi yang disesuaikan dengan skala usaha, akses sumber daya, dan karakteristik wilayah. Upaya ini perlu didukung oleh penguatan kelembagaan petani serta kebijakan pemerintah yang mendorong pengelolaan sumber daya lokal secara terpadu. Integrasi prinsip agroekologi, pendekatan *Low External Input Sustainable Agriculture* (LEISA), dan sistem tanaman-ternak menjadi strategi yang dapat diterapkan guna membangun sistem pertanian lahan kering yang lebih produktif, adaptif terhadap variabilitas iklim, serta berkelanjutan secara ekologis maupun sosial ekonomi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bortolli, M. A., Assmann, T. S., de Bortolli, B. B., Maccari, M., Bernardon, A., Jamhour, J., Franzluebbers, A. J., Soares, A. B., & Severo, I. K. (2024). Nutrient Dynamics in Integrated Crop–Livestock Systems: Effects of Stocking Rates and Nitrogen System Fertilization on Litter Decomposition and Release. *Agronomy*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/agronomy14092009>
- Carvalho, A. M., Ramos, M. L. G., Dos Santos, D. C. R., de Oliveira, A. D., de Carvalho Mendes, I., Silva, S. B., de Sousa, T. R., Dantas, R. de A., Silva, A. M. M., & Marchão, R. L. (2024). Understanding the Relations between Soil Biochemical Properties and N₂O Emissions in a Long-Term Integrated Crop–Livestock System. *Plants*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/plants13030365>
- Chakraborty, P., Thotakuri, G., Singh, N., Dhaliwal, J. K., & Kumar, S. (2024). Crop-livestock integration influenced soil profile organic carbon and hydro-physical properties in converted grasslands to row crops. *Soil and Tillage Research*, 240. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106093>
- Dharmawan, I. W. S., Pratiwi, Siregar, C. A., Narendra, B. H., Undaharta, N. K. E., Sitepu, B. S., Sukmana, A., Wiratmoko, M. D. E., Abywijaya, I. K., & Sari, N. (2023). Implementation of Soil and Water Conservation in Indonesia and Its Impacts on Biodiversity, Hydrology, Soil Erosion and Microclimate. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(13). <https://doi.org/10.3390/app13137648>
- Domínguez-hernández, A., Juárez-velázquez, A., & Domínguez-hernández, E. (2025). Impact of the Integration Level in Crop – Livestock Systems on Biomass Production , Nutrient Recycling , and Energy Efficiency. *Biomass*, 5(2), 1–19.
- Ghimire, S., Wang, J., & Fleck, J. R. (2021). Integrated crop-livestock systems for nitrogen management: A multi-scale spatial analysis. *Animals*, 11(1), 1–21. <https://doi.org/10.3390/ani11010100>
- Husnain, & Nursyamsi, D. (2015). Peranan Bahan Organik dalam Sistem Integrasi Sawit-Sapi. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 9(1), 27–36.
- Islami, S., Budi, Y., & Dewi, A. (2025). Peran Limbah Ternak dalam Ekonomi Sirkular Pertanian Membangun Sistem Agroekologi yang Regeneratif. *Jurnal Ilmiah Ekonomi Dan Pembangunan*, 14(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.24036/ecosains.13375757.00>
- Isurmin. (2025). Systematic Literature Review Metode Ilmiah. *Journal of Innovation in Teaching and Instructional Media*, 5(2), 814–828.
- Koval, V., & Perovi, N. (2025). *Biofuel Production Assessment of Crop Rotation Systems and Organic Residues in Agricultural Management*. 1–24.

- Kronberg, S. L., Provenza, F. D., van Vliet, S., & Young, S. N. (2021). Review: Closing nutrient cycles for animal production – Current and future agroecological and socio-economic issues. *Animal*, 15, 100285. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100285>
- Mada, U. G. (2020). Model pertanian terpadu. *Pusat Inovasi Agroteknologi Universitas Gadjah Mada*, 43(2), 1–2.
- Mateus, R., Kantur, D., & Moy, D. A. N. L. M. (2017). Pemanfaatan Biochar Limbah Pertanian sebagai Pemberah Tanah untuk Perbaikan Kualitas Tanah dan Hasil Jagung di Lahan Kering. *Agrotrop*, 7(2), 99–108.
- Megawati, Paly, M. B. S., & Lestari, A. (2023). Hambatan Peternak Dalam Penerapan Sistem Integrasi Tanaman Jagung Dengan Sapi Bali Di Kecamatan Polongbangkeng Utara Kabupaten Takalar,. *Jurnal Ilmiah Peternakan*, 5(1), 30–37.
- Murnita, Yessirita, N., & Taher, Y. A. (2019). Penerapan Sistem Integrasi Ternak Sapi Dan Tanaman Padi. *Jurnal Hilirisasi IPTEKS*, 2(3b), 292–304.
- Novita, A., Harahap, F. S., Walida, H., Julia, H., & Nora, S. (2025). KUALITAS DAN KESUBURAN TANAH DI LAHAN KERING DI KABUPATEN LABUHAN BATU INDONESIA. *Jurnal Agrotek Tropika*, 13(1), 1–6. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.23960/jat.v12i2.6400>
- Nuryati, R., Setiawan, I., & Noor, T. I. (2019). Agroekosistem Lahan Kering Untuk Pengembangan Usahatani Polikultur Perkebunan Terintegrasi (UTPPT). *Jurnal AGRISTAN*, 1(2), 63–79.
- 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>
- Selvan, T., Panmei, L., Murasing, K. K., Guleria, V., Ramesh, K. R., Bhardwaj, D. R., Thakur, C. L., Kumar, D., Sharma, P., Digvijaysinh Umedsinh, R., Kayalvizhi, D., & Deshmukh, H. K. (2023). Circular economy in agriculture: unleashing the potential of integrated organic farming for food security and sustainable development. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1170380>
- Soares, S., Souza, W., Homem, B., Ramalho, I., Borre, J., Pereira, M., Pinheiro, É., Marchao, R., Alves, B., Boddey, R., & Urquiaga, S. (2024). The Use of Integrated Crop–Livestock Systems as a Strategy to Improve Soil Organic Matter in the Brazilian Cerrado. *Agronomy*, 14(11), 1–20. <https://doi.org/10.3390/agronomy14112547>
- Sri, S., & Nengsi, W. (2025). Integration of Farming-Livestock Systems in Sustainable Agrocomplex Development in Indonesia. *Journal of Agro Complex Development Society*, 2(1). <https://agrocomplex.professorline.com/index.php/journal/index>
- Suwarta, F. X., & Purwani, T. (2018). Penerapan Integrasi Tanaman Ternak Lahan Kering Berbasis Usaha Ternak Kambing Di Kabupaten Gunung Kidul. *Prosiding Seminar Pengabdian Kepada Masyarakat (Senadimas)*, 306–312.
- Suwarto, S., & Prihantoro, I. (2020). Study of Sustainable Corn Development through the Integration with Cow in Tuban, East Java. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 25(2), 232–238. <https://doi.org/10.18343/jipi.25.2.232>
- Swastika, D. K. S., Priyanti, A., Hasibuan, A. M., Sahara, D., Arya, N. N., Malik, A., Ilham, N., Sayekti, A. L., Triastono, J., Asnawi, R., Sugandi, D., Hayati, N. Q., & Atman, A. (2024). Pursuing circular economics through the integrated crop-livestock systems: An integrative review on practices, strategies and challenges post Green Revolution in Indonesia. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18(September 2023), 101269. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101269>
- Usni, M. (2025). Systematic Literature Review: Integrated Farming System Sebagai Daya Saing Dan Keberlanjutan Pertanian Di Indonesia. *Jurnal Pertanian Agoekoteknologi*, 13(3), 237–248.
- Vanolli, B. da S., Dias, H. B., da Luz, F. B., Lamparelli, R. A. C., Magalhães, P. S. G., & Cherubin, M. R. (2025). Crop–Livestock Integrated Systems Improve Soil Health in Tropical Sandy Soils. *Agronomy*, 15(2), 378. <https://doi.org/10.3390/agronomy15020378>
- Winarso, B., & Basuno, E. (2013). Pengembangan Pola Integrasi Tanaman-Ternak Merupakan Bagian Upaya Mendukung Usaha Pembibitan Sapi Potong Dalam Negeri

- Developing an Integrated Crop-Livestock Farm to Enhance The Domestic Beef Cattle Breeding Business. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 31(2), 151–169.
- Xing, Y., & Wang, X. (2024). Precision Agriculture and Water Conservation Strategies for Sustainable Crop Production in Arid Regions. *Plants*, 13(22). <https://doi.org/10.3390/plants13223184>
- Xu, P., Gao, Y., Cui, Z., Wu, B., Yan, B., Wang, Y., Wen, M., Wang, H., Ma, X., & Wen, Z. (2023). Application of Organic Fertilizers Optimizes Water Consumption Characteristics and Improves Seed Yield of Oilseed Flax in Semi-Arid Areas of the Loess Plateau. *Agronomy*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/agronomy13071755>
- Yuhendra, Syaukat, Y., Hartoyo, S., & Kusnadi, N. (2022). Analisis Keberlanjutan Sistem Usaha Tani Integrasi Kelapa Sawit Rakyat Dengan Ternak Sapi Potong Di Provinsi Riau. *Jurnak Agro Ekonomi*, 40(1), 1–16.