



Optimalisasi Pengelolaan Air pada Lahan Kering untuk Meningkatkan Produktivitas Pertanian Berkelanjutan: Pendekatan Prinsip Agroekologi

Alifkha Bagus Sandhiyana^{1*}, Suwardji², Lolita Endang Susilowati³

Program Studi Magister Pertanian Lahan Kering, Pascasarjana, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62, Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia 83115.

Email Korespondensi: alifkhabaguss@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis strategi optimalisasi pengelolaan air pada lahan kering dengan menerapkan tiga prinsip agroekologi: daur ulang nutrisi dan air, integrasi tanaman-ternak, serta peningkatan produktivitas sistem. Metode yang digunakan adalah *Systematic Literature Review (SLR)*, dengan analisis terhadap 30 artikel dari jurnal internasional dan nasional yang terindeks Scopus dan Web of Science, yang diterbitkan antara 2020-2025. Hasil penelitian menunjukkan penerapan prinsip daur ulang air, seperti pemanenan air hujan, penggunaan mulsa organik, dan konservasi in-situ, dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air sebesar 45-65% serta mengurangi evapotranspirasi hingga 25-40%. Integrasi tanaman-ternak terbukti meningkatkan retensi air tanah melalui penambahan bahan organik, yang memperbaiki struktur tanah hingga 50%. Fokus pada produktivitas sistem, seperti diversifikasi tanaman tahan kekeringan, agroforestri, dan pengelolaan holistik, dapat meningkatkan produktivitas air sebesar 35-55% serta meningkatkan ketahanan sistem terhadap variabilitas iklim. Implementasi terintegrasi dari ketiga prinsip ini dapat meningkatkan produktivitas pertanian sebesar 40-60%, mengurangi degradasi lahan, dan meningkatkan sequestrasi karbon hingga 2-4 ton C/ha/tahun. Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan strategi agroekologi yang terintegrasi dapat mendukung keberlanjutan lingkungan dan meningkatkan produktivitas pertanian di lahan kering.

Kata kunci: Agroekologi; Efisiensi Air; Integrasi Tanaman Ternak; Pengelolaan Air; Produktivitas Berkelanjutan.

Water Management Optimization in Dryland Agriculture to Enhance Sustainable Agricultural Productivity: Agroecological Principles Approach

Abstract

This study aims to analyze strategies for optimizing water management in dryland areas by applying three agroecological principles: nutrient and water recycling, crop-livestock integration, and system productivity enhancement. The method used is a Systematic Literature Review (SLR), analyzing 30 articles from international and national journals indexed in Scopus and Web of Science, published between 2020-2025. The findings indicate that the application of water recycling principles, such as rainwater harvesting, organic mulching, and in-situ conservation, can increase water use efficiency by 45-65% and reduce evapotranspiration by 25-40%. Crop-livestock integration has been shown to improve soil water retention through the addition of organic matter, enhancing soil structure by up to 50%. Focusing on system productivity, such as the diversification of drought-tolerant crops, agroforestry, and holistic management, can increase water productivity by 35-55% and improve system resilience to climate variability. The integrated implementation of these three principles can increase agricultural productivity by 40-60%, reduce land degradation, and enhance carbon sequestration by 2-4 tons C/ha/year. This study demonstrates that the application of integrated agroecological strategies can support environmental sustainability and improve agricultural productivity in dryland areas.

Keywords: Agroecology; Water Efficiency; Crop Livestock Integration; Water Management; Sustainable Productivity.

How to Cite: Sandhiyana, A. B., Suwardji, S., & Susilowati, L. E. (2025). Optimalisasi Pengelolaan Air pada Lahan Kering untuk Meningkatkan Produktivitas Pertanian Berkelanjutan: Pendekatan Prinsip Agroekologi. *Empiricism Journal*, 6(4), 2022-2031. <https://doi.org/10.36312/esq9jt38>



<https://doi.org/10.36312/esq9jt38>

Copyright© 2025, Sandhiyana et al.

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) License.



PENDAHULUAN

Lahan kering merupakan salah satu agroekosistem dominan di Indonesia dengan luas mencapai 65% dari total luas lahan pertanian nasional atau sekitar 73,6 juta hektar (Badan

Pusat Statistik (BPS), 2023). Wilayah lahan kering tersebar di berbagai provinsi termasuk Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Sulawesi, dan Jawa bagian selatan. Karakteristik utama lahan kering meliputi ketersediaan air yang terbatas, curah hujan yang tidak merata sepanjang tahun, tingkat evapotranspirasi tinggi, dan rentan terhadap kekeringan (Abdillah et al., 2025). Dalam konteks perubahan iklim global, kondisi lahan kering semakin terancam akibat peningkatan suhu rata-rata bumi sebesar 1,1°C sejak era pra-industri yang menyebabkan perubahan pola presipitasi dan intensifikasi kejadian cuaca ekstrem. Dampak perubahan iklim ini menjadikan pengelolaan air pada lahan kering menjadi semakin krusial sebagai upaya adaptasi dan mitigasi untuk menjamin keberlanjutan produksi pertanian dan ketahanan pangan nasional.

Perubahan iklim global memperburuk kondisi kelangkaan air pada lahan kering dengan meningkatkan frekuensi dan intensitas kejadian kekeringan ekstrem (De & Peersman, 2021). Data meteorologi menunjukkan bahwa curah hujan di wilayah lahan kering Indonesia mengalami penurunan rata-rata 15-25% dalam dua dekade terakhir, dengan variabilitas musiman yang semakin tinggi (Rozaki, 2020). Urgensi pengelolaan air yang optimal menjadi sangat penting mengingat sektor pertanian berkontribusi terhadap 70% penggunaan air tawar global, sementara ketahanan pangan dunia bergantung pada kemampuan sistem pertanian beradaptasi dengan kondisi iklim yang berubah. Optimalisasi pengelolaan air pada lahan kering tidak hanya berperan dalam meningkatkan produktivitas pertanian, tetapi juga berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim melalui peningkatan sequestrasi karbon tanah dan pengurangan emisi gas rumah kaca dari sektor pertanian. Kondisi ini berdampak langsung pada penurunan produktivitas pertanian, peningkatan risiko gagal panen, dan degradasi lahan yang semakin masif.

Sistem pertanian konvensional pada lahan kering yang mengandalkan input kimia intensif, monokultur, dan pengolahan tanah intensif terbukti tidak efektif dan tidak berkelanjutan (Bhagat et al., 2024). Praktik pertanian konvensional tersebut justru memperparah degradasi lahan melalui penurunan kandungan bahan organik tanah, kerusakan struktur tanah, erosi, dan penurunan kapasitas infiltrasi dan retensi air tanah (Lal, 2016). Dalam konteks ini, diperlukan transformasi pendekatan pengelolaan air pada lahan kering yang lebih adaptif, efisien, dan berkelanjutan.

Agroekologi menawarkan kerangka kerja yang komprehensif untuk mengoptimalkan pengelolaan air pada lahan kering melalui pendekatan holistik yang mengintegrasikan prinsip-prinsip ekologi, pengetahuan lokal, dan inovasi teknologi (Altieri et al., 2017). Food and Agriculture Organization (FAO, 2024) mengidentifikasi tiga prinsip fundamental agroekologi yang sangat relevan untuk pengelolaan air lahan kering: (1) daur ulang nutrisi dan air dalam sistem pertanian (recycling), (2) integrasi tanaman dan ternak untuk meningkatkan efisiensi sumberdaya (integration), dan (3) fokus pada produktivitas dan interaksi lintas sistem pertanian (productivity across agricultural systems) (Gliessman, 2020).

Prinsip daur ulang (recycling) air dan nutrisi pada lahan kering mencakup berbagai praktik seperti pemanenan air hujan (rainwater harvesting), aplikasi mulsa organik, penggunaan residu tanaman sebagai penutup tanah, dan teknik konservasi air in-situ (McAllister et al., 2025). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pemanenan air hujan dapat meningkatkan ketersediaan air untuk tanaman hingga 40-60% pada musim kemarau, sementara penggunaan mulsa organik mampu mengurangi evaporasi permukaan tanah sebesar 30-50% (Franzluebbers et al., 2017). Praktik daur ulang ini tidak hanya menghemat air tetapi juga meningkatkan efisiensi penggunaan air (water use efficiency) dan produktivitas air (water productivity).

Prinsip integrasi tanaman-ternak (integration) merupakan strategi penting untuk mengoptimalkan penggunaan air pada lahan kering (Dumont et al., 2013). Sistem integrated crop-livestock systems (ICLS) pada lahan kering memungkinkan pemanfaatan limbah pertanian sebagai pakan ternak dan penggunaan kotoran ternak untuk meningkatkan bahan organik tanah yang berperan krusial dalam meningkatkan kapasitas retensi air tanah (Bansal et al., 2022). Penelitian di Brasil menunjukkan bahwa ICLS pada lahan kering dapat meningkatkan kandungan bahan organik tanah sebesar 25-40% dan meningkatkan kapasitas menahan air (water holding capacity) hingga 30-50% dibandingkan monokultur konvensional (Lemaire et al., 2014).

Prinsip produktivitas sistem (productivity across agricultural systems) menekankan pentingnya diversifikasi spesies, rotasi tanaman, dan pengelolaan holistik untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air dan resiliensi sistem terhadap kekeringan (Kremen, 2020). Pendekatan ini mencakup pemilihan tanaman toleran kekeringan, sistem agroforestri yang meningkatkan infiltrasi air, dan praktik konservasi tanah dan air terpadu. Studi meta-analisis menunjukkan bahwa diversifikasi tanaman pada lahan kering dapat meningkatkan produktivitas air sebesar 35-55% dan mengurangi risiko gagal panen hingga 40-60% dibandingkan monokultur (Romero Antonio et al., 2025).

Di Indonesia, beberapa praktik tradisional pengelolaan air lahan kering telah lama diterapkan masyarakat petani seperti sistem tadah hujan, embung desa, dan sistem wanatani (agroforestri). Namun, praktik-praktik tersebut belum sepenuhnya terintegrasi dengan prinsip-prinsip agroekologi modern dan belum dioptimalkan secara sistematis (Melani Anisa Fitri & Maulia Usni, 2024). Padahal, integrasi pengetahuan lokal dengan inovasi teknologi modern berpotensi besar untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan air pada lahan kering.

Penelitian komprehensif mengenai optimalisasi pengelolaan air pada lahan kering dengan pendekatan tiga prinsip agroekologi masih terbatas, terutama dalam konteks Indonesia. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi dan menganalisis berbagai strategi optimalisasi pengelolaan air pada lahan kering berdasarkan prinsip daur ulang air dan nutrisi; (2) mengkaji implementasi integrasi tanaman-ternak untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air pada lahan kering; (3) mengevaluasi pendekatan produktivitas sistem untuk meningkatkan water productivity dan resiliensi lahan kering; serta (4) merumuskan rekomendasi strategi terintegrasi pengelolaan air lahan kering berbasis agroekologi untuk meningkatkan produktivitas pertanian berkelanjutan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dan praktis bagi pengembangan pertanian lahan kering berkelanjutan di Indonesia.

METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR) yang mengikuti pedoman Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis literatur ilmiah yang relevan dengan optimalisasi pengelolaan air pada lahan kering melalui pendekatan prinsip agroekologi (Terán-Samaniego et al., 2025a). Metode SLR dipilih karena kemampuannya untuk menyediakan analisis yang sistematis, transparan, dan dapat direplikasi dari bukti ilmiah yang tersedia. Pendekatan analisis yang digunakan adalah deskriptif-kualitatif dengan sintesis naratif untuk mengintegrasikan temuan dari berbagai studi.

Sumber Data dan Database

Pencarian literatur dilakukan pada periode Oktober-November 2025 menggunakan empat database elektronik utama: Scopus, Web of Science, ScienceDirect, dan Google Scholar. Database tersebut dipilih karena reputasinya dalam mengindeks publikasi ilmiah berkualitas tinggi dan cakupan yang luas dalam bidang pertanian dan agroekologi. Untuk jurnal nasional Indonesia, pencarian dilakukan melalui portal Garuda (Garba Rujukan Digital), Portal Jurnal Indonesia (PJKI), dan Google Scholar dengan kata kunci dalam Bahasa Indonesia.

Strategi Pencarian dan Kata Kunci

Strategi pencarian menggunakan kombinasi kata kunci yang terkait dengan tiga tema utama penelitian. Kata kunci untuk pencarian internasional meliputi: (1) Tema pengelolaan air di lahan kering: "dryland water management", "water optimization dryland", "water conservation dryland", "rainwater harvesting", "water use efficiency"; (2) Tema prinsip agroekologi: "agroecology principles", "nutrient recycling", "crop-livestock integration", "integrated farming systems", "sustainable agriculture"; (3) Tema produktivitas berkelanjutan: "sustainable productivity", "agricultural resilience", "water productivity", "climate adaptation in agriculture".

Untuk literatur nasional, kata kunci yang digunakan meliputi: "pengelolaan air lahan kering", "agroekologi", "pertanian berkelanjutan", "integrasi tanaman ternak", "produktivitas

lahan kering", "konservasi air", "efisiensi air pertanian". Operator Boolean (AND, OR) digunakan untuk mengkombinasikan kata kunci dan memperluas atau mempersempit hasil pencarian.

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Penelitian ini memiliki fokus pada tiga variabel utama yang menjadi kriteria seleksi artikel: (1) efisiensi penggunaan air (water use efficiency/WUE), (2) integrasi tanaman-ternak dan dampaknya terhadap konservasi air, dan (3) keberlanjutan sistem pertanian lahan kering. Ketiga variabel ini menjadi acuan dalam mengevaluasi relevansi setiap artikel yang ditemukan.

Kriteria inklusi yang ditetapkan adalah:

- (1) Artikel penelitian primer atau review yang dipublikasikan pada jurnal terindeks internasional (Scopus/Web of Science) tahun 2020-2025;
- (2) Jurnal nasional Indonesia terakreditasi Sinta tahun 2020-2025;
- (3) Artikel berbahasa Inggris atau Bahasa Indonesia;
- (4) Fokus penelitian terkait pengelolaan air lahan kering, prinsip agroekologi, atau pertanian berkelanjutan;
- (5) Artikel menyediakan data kuantitatif atau kualitatif yang relevan dengan pertanyaan penelitian;
- (6) Artikel memiliki DOI (Digital Object Identifier) yang valid dan dapat diverifikasi.

Kriteria eksklusi meliputi:

- (1) Artikel yang tidak peer-reviewed;
- (2) Prosiding konferensi, buku, tesis, atau disertasi;
- (3) Artikel dengan data yang tidak lengkap atau metodologi yang tidak jelas;
- (4) Duplikasi artikel;
- (5) Artikel dengan fokus pada pertanian irigasi intensif atau sistem hidroponik yang tidak relevan dengan konteks lahan kering;
- (6) Artikel tanpa data empiris atau hanya berupa opini.

Proses Seleksi Artikel

Proses seleksi artikel dilakukan melalui empat tahap sesuai PRISMA guidelines dengan alur screening dari umum ke spesifik:

- (1) Identifikasi: pencarian awal menghasilkan 1.247 artikel dari seluruh database (Scopus: 432, Web of Science: 385, ScienceDirect: 298, Google Scholar: 132);
- (2) Screening: setelah menghilangkan duplikasi (385 artikel) dan screening berdasarkan judul dan abstrak, tersisa 312 artikel yang potensial relevan;
- (3) Eligibilitas: full-text artikel dievaluasi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, menghasilkan 78 artikel yang memenuhi syarat;
- (4) Inklusi: setelah penilaian kualitas dan relevansi mendalam menggunakan Critical Appraisal Skills Programme (CASP), 25 artikel final dipilih untuk analisis.

Ekstraksi dan Analisis Data

Data diekstraksi dari setiap artikel menggunakan formulir ekstraksi terstandar yang mencakup: (1) Informasi bibliografi (penulis, tahun, judul, jurnal, DOI); (2) Karakteristik studi (lokasi, desain penelitian, ukuran sampel); (3) Prinsip agroekologi yang diterapkan; (4) Strategi pengelolaan air yang diimplementasikan; (5) Variabel outcome (water use efficiency, water productivity, produktivitas tanaman, kandungan air tanah); (6) Temuan utama dan efek yang dilaporkan; (7) Keterbatasan penelitian. Analisis data dilakukan secara tematik dengan mengelompokkan temuan berdasarkan tiga prinsip agroekologi utama: daur ulang air dan nutrisi, integrasi tanaman-ternak, dan produktivitas sistem. Analisis kuantitatif deskriptif digunakan untuk mensintesis data numerik seperti persentase peningkatan efisiensi air, produktivitas, dan parameter lainnya. Data disajikan dalam bentuk tabel ringkasan, grafik, dan naratif deskriptif untuk memberikan gambaran komprehensif tentang penerapan prinsip agroekologi dalam optimalisasi pengelolaan air lahan kering.

HASIL DAN PEMBAHASAN
Hasil Seleksi Literatur

Proses pencarian literatur menghasilkan 1.247 artikel dari empat database utama (Scopus: 432, Web of Science: 385, ScienceDirect: 298, Google Scholar: 132). Setelah menghilangkan duplikasi sebanyak 385 artikel, dilakukan screening berdasarkan judul dan abstrak yang menghasilkan 312 artikel potensial. Evaluasi full-text terhadap 312 artikel tersebut mengidentifikasi 78 artikel yang memenuhi kriteria inklusi awal. Setelah penilaian kualitas dan relevansi mendalam, 30 artikel final dipilih untuk analisis komprehensif, yang terdiri dari 25 jurnal internasional terindeks (20 dari Scopus/Web of Science Q1-Q2, 5 dari Q3-Q4) dan 5 jurnal nasional Indonesia terakreditasi Sinta 1-3. Distribusi artikel berdasarkan tahun publikasi menunjukkan tren peningkatan: 2020 (4 artikel), 2021 (3 artikel), 2022 (6 artikel), 2023 (7 artikel), 2024 (7 artikel), dan 2025 (3 artikel).

Tabel 1. Karakteristik umum artikel yang dianalisis dalam systematic literature review

Karakteristik	Kategori	Jumlah Artikel	Persentase (%)
Sumber Database	Scopus/WoS	20	66,7
	ScienceDirect	5	16,7
	Jurnal Nasional	5	16,7
Wilayah Studi	Asia	12	40,0
	Amerika	7	23,3
	Afrika	6	20,0
	Eropa	5	16,7

Sumber: Hasil analisis data sekunder (2025)

Daur Ulang Air dan Nutrisi pada Lahan Kering

Analisis literatur mengidentifikasi berbagai strategi daur ulang air dan nutrisi yang efektif untuk optimalisasi pengelolaan air pada lahan kering. Temuan ini sejalan dengan teori closed-loop system dalam agroekologi yang menekankan pentingnya meminimalkan input eksternal dan memaksimalkan pemanfaatan sumber daya internal dalam sistem pertanian (Gliessman, 2020). Pemanenan air hujan (rainwater harvesting) merupakan teknik daur ulang air yang paling banyak diteliti dan diimplementasikan dengan berbagai variasi metode seperti rooftop rainwater harvesting, farm pond, embung, dan water retention basin. Penelitian von Cossel et al. (2025) menunjukkan bahwa sistem pemanenan air hujan terintegrasi dengan mulsa organik dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 55-65% dan mengurangi evapotranspirasi sebesar 35-45% pada lahan kering di Eropa.

Sebagai komparasi, studi serupa di wilayah Sub-Sahara Afrika oleh Romero Antonio et al. (2025) menunjukkan peningkatan WUE yang lebih moderat (40-55%), yang dapat dijelaskan oleh perbedaan kondisi iklim dan ketersediaan infrastruktur. Sementara itu, di Asia Selatan, penelitian menunjukkan bahwa kombinasi rainwater harvesting dengan sistem irigasi tetes dapat meningkatkan efisiensi hingga 70%, lebih tinggi dibandingkan konteks Indonesia yang berkisar 45-60%. Perbedaan ini mengindikasikan pentingnya adaptasi teknologi sesuai konteks lokal.

Mcallister et al. (2025) melaporkan bahwa penerapan prinsip daur ulang nutrisi melalui penggunaan kotoran ternak, kompos, dan residu tanaman sebagai pupuk organik pada sistem crop-livestock integration dapat mengurangi ketergantungan pada input eksternal hingga 50-60% dan meningkatkan retensi air tanah sebesar 30-40%. Mekanisme di balik fenomena ini adalah peningkatan kandungan bahan organik tanah yang memperbaiki agregasi tanah dan menciptakan pori-pori makro yang meningkatkan infiltrasi dan kapasitas menahan air. Peningkatan kandungan bahan organik tanah dari 1,8% menjadi 3,2% selama 3 tahun implementasi berkontribusi signifikan terhadap peningkatan kemampuan menahan air (water holding capacity) dan infiltrasi air.

Aplikasi mulsa organik dari residu tanaman dan biomassa lokal terbukti sangat efektif dalam konservasi air tanah. Shanmugam et al. (2024) menemukan bahwa penggunaan mulsa organik setebal 5-10 cm pada lahan kering dapat mengurangi evaporasi permukaan tanah sebesar 40-55%, meningkatkan kadar air tanah sebesar 25-35%, dan meningkatkan produktivitas tanaman sebesar 30-45% dibandingkan tanpa mulsa. Mulsa organik juga berperan dalam meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah yang penting untuk siklus nutrisi.

Tabel 2. Efektivitas strategi daur ulang air pada lahan kering berdasarkan tinjauan literatur

Strategi Daup Ulang	Peningkatan WUE (%)	Reduksi ET (%)	Produktivitas (+%)	Referensi
Rainwater harvesting	55-65	35-45	40-55	Von Cossel et al. (2025)
Mulsa organik	40-50	40-55	30-45	Shanmugam et al. (2024)
Residu tanaman in-situ	35-45	25-35	25-35	Bansal et al. (2022)
Kompos dan pupuk organik	30-40	20-30	35-50	Mcallister et al. (2025)
Kombinasi terintegrasi	60-75	45-60	50-70	Delandmeter et al. (2024)

Keterangan: WUE = Water Use Efficiency; ET = Evapotranspiration. Sumber: Sintesis dari berbagai literatur (2025)

Integrasi Tanaman-Ternak untuk Efisiensi Air Lahan Kering

Sistem integrasi tanaman-ternak (Integrated Crop-Livestock Systems/ICLS) pada lahan kering menunjukkan potensi besar dalam mengoptimalkan pengelolaan air melalui peningkatan siklus nutrisi, perbaikan struktur tanah, dan peningkatan kapasitas retensi air. Pendekatan ini didasarkan pada teori agroekologi yang menekankan prinsip biodiversitas fungsional dan sinergi antar komponen sistem pertanian (Altieri et al., 2017). Dumont et al. (2013) dan Lemaire et al. (2014) menekankan bahwa integrasi tanaman-ternak menciptakan sinergi positif di mana limbah pertanian dimanfaatkan sebagai pakan ternak, sementara kotoran ternak meningkatkan kandungan bahan organik tanah yang krusial untuk konservasi air.

Penelitian Bansal et al. (2022) di South Dakota menunjukkan bahwa implementasi ICLS pada lahan kering selama lebih dari 30 tahun meningkatkan agregat tanah yang stabil sebesar 45-60%, kandungan karbon organik tanah sebesar 35-50%, dan kapasitas menahan air (water holding capacity) sebesar 30-45% dibandingkan sistem monokultur tanpa integrasi ternak. Sebagai perbandingan, studi di Australia dengan kondisi lahan kering serupa menunjukkan peningkatan water holding capacity yang lebih tinggi (40-55%) yang dikaitkan dengan penggunaan leguminosa dalam rotasi. Mekanisme biologis yang mendasari peningkatan ini melibatkan stimulasi aktivitas mikroba tanah oleh input organik, pembentukan agregat tanah yang stabil oleh hifa fungi mikoriza, dan peningkatan porositas tanah oleh aktivitas cacing tanah.

Carvalho et al. (2010) melaporkan bahwa sistem ICLS dengan rotasi kedelai-rumput yang digembalakan ternak di wilayah Cerrado Brasil mampu meningkatkan produktivitas lahan sebesar 40-55% dan efisiensi penggunaan air sebesar 35-50% dibandingkan sistem monokultur kedelai konvensional. Dibandingkan dengan konteks Indonesia, temuan di Brasil menunjukkan konsistensi dalam peningkatan produktivitas, namun dengan variasi yang lebih tinggi karena perbedaan jenis ternak dan sistem penggembalaan. Integrasi ternak dalam sistem ini tidak hanya meningkatkan pendapatan petani melalui diversifikasi produk (tanaman + daging/susu), tetapi juga meningkatkan resiliensi sistem terhadap kekeringan dan variabilitas iklim.

Delandmeter et al. (2024) menggunakan pemodelan sistem STICS untuk mensimulasikan kinerja ICLS pada lahan kering dalam berbagai skenario iklim. Hasil simulasi menunjukkan bahwa integrasi ternak meningkatkan stabilitas hasil tanaman jangka panjang dan memberikan buffer terhadap stress kekeringan. Sistem ICLS mampu mempertahankan produktivitas tanaman lebih tinggi 25-40% pada kondisi kekeringan ekstrem dibandingkan monokultur. Di Indonesia, praktik integrasi tanaman-ternak pada lahan kering telah lama diterapkan masyarakat petani seperti sistem padi-sapi, jagung-kambing, dan wanatani dengan ternak. Melani Anisa Fitri & Maulia Usni (2024) melaporkan bahwa penerapan sistem integrasi padi-sapi di lahan kering Nusa Tenggara Barat meningkatkan produktivitas padi sebesar 30-40% dan pendapatan petani sebesar 45-60% melalui penambahan kotoran sapi sebagai pupuk organik dan pemanfaatan jerami padi sebagai pakan ternak.

Produktivitas Sistem dan Water Productivity pada Lahan Kering

Pendekatan produktivitas sistem yang holistik dengan fokus pada optimalisasi fungsi keseluruhan agroekosistem terbukti sangat efektif untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air pada lahan kering. Pendekatan ini berakar pada teori ekologi lanskap dan prinsip emergent properties dalam sistem kompleks, di mana interaksi antar komponen menghasilkan output yang lebih besar dari jumlah bagian-bagiannya (Kremen, 2020). Altieri et al. (2017) menekankan bahwa diversifikasi spesies tanaman, rotasi tanaman, dan pengelolaan agroekologi terpadu dapat meningkatkan water productivity (produktivitas air) sebesar 35-55% dan resiliensi sistem terhadap perubahan iklim.

Romero Antonio et al. (2025) melakukan meta-analisis terhadap 124 studi di Afrika yang mengevaluasi efek praktik agroekologi terhadap produktivitas pertanian. Hasil meta-analisis menunjukkan bahwa diversifikasi tanaman meningkatkan produktivitas lahan sebesar 30-45%, sementara integrasi praktik agroekologi multipel (rotasi + mulsa + pupuk organik + konservasi air) meningkatkan produktivitas hingga 50-70% dan mengurangi risiko gagal panen akibat kekeringan sebesar 40-60%. Temuan ini konsisten dengan studi di Asia Tenggara yang menunjukkan peningkatan serupa (45-65%), mengindikasikan universalitas prinsip agroekologi lintas konteks geografis.

Sistem agroforestri pada lahan kering memberikan kontribusi signifikan terhadap konservasi air melalui peningkatan infiltrasi, reduksi erosi, dan moderasi iklim mikro. Penelitian Ewert et al. (2025) menunjukkan bahwa sistem agroforestri dengan kombinasi tanaman legum pohon, tanaman pangan, dan tanaman hortikultura dapat meningkatkan infiltrasi air sebesar 45-65%, mengurangi run-off sebesar 50-70%, dan meningkatkan kadar air tanah sebesar 30-45% dibandingkan monokultur konvensional. Mekanisme hidrologis yang terlibat mencakup intersepsi tajuk yang mengurangi energi kinetik hujan, sistem perakaran dalam yang meningkatkan makroporositas tanah, dan serasah yang melindungi permukaan tanah dari kompaksi.

Pemilihan dan penggunaan tanaman toleran kekeringan (drought-tolerant crops) merupakan strategi penting dalam meningkatkan water productivity pada lahan kering. Bhagat et al. (2024) melaporkan bahwa penggunaan varietas tanaman lokal yang beradaptasi dengan kondisi kekeringan dapat meningkatkan water productivity sebesar 40-60% dan stabilitas hasil sebesar 35-50% dibandingkan varietas modern yang memerlukan input air tinggi.

Terán-Samaniego et al. (2025b) dalam systematic literature review mereka mengidentifikasi bahwa pendekatan agroekologi yang terintegrasi dengan fokus pada produktivitas sistem dapat mengurangi kebutuhan input eksternal (pupuk kimia, pestisida) sebesar 50-70%, meningkatkan keanekaragaman hayati lahan pertanian, dan meningkatkan carbon sequestration hingga 2-4 ton C/ha/tahun, yang sekaligus berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim.

Implementasi Terintegrasi Tiga Prinsip Agroekologi

Implementasi terintegrasi ketiga prinsip agroekologi (daur ulang, integrasi, dan produktivitas sistem) menunjukkan efek sinergis yang signifikan dalam mengoptimalkan pengelolaan air lahan kering. Penelitian von Cossel et al. (2025) di Eropa mendemonstrasikan bahwa kombinasi pemanenan air hujan, sistem ICLS, diversifikasi tanaman, dan mulsa organik dapat meningkatkan water use efficiency hingga 65-80%, produktivitas lahan sebesar 60-75%, dan resiliensi sistem terhadap kekeringan ekstrem.

Mcallister et al. (2025) menekankan pentingnya circular bioeconomy dalam sistem pertanian lahan kering di mana prinsip daur ulang nutrisi dan biomassa, integrasi multi-spesies (tanaman-ternak-pohon), dan fokus pada produktivitas sistem secara holistik dapat menciptakan sistem pertanian yang sustainable dan resilient. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan produktivitas tetapi juga mengurangi dampak lingkungan negatif seperti emisi gas rumah kaca, polusi air, dan degradasi tanah.

Studi kasus di Indonesia oleh Melani Anisa Fitri & Maulia Usni (2024) menunjukkan bahwa petani lahan kering di Nusa Tenggara Barat yang menerapkan sistem agroekologi terintegrasi (wanatani + integrasi tanaman-ternak + pemanenan air hujan + mulsa organik) mampu meningkatkan produktivitas lahan sebesar 55-70%, mengurangi risiko gagal panen

sebesar 50-65%, dan meningkatkan pendapatan bersih sebesar 60-85% dibandingkan sistem konvensional.

KESIMPULAN

Systematic literature review terhadap 30 artikel ilmiah (25 jurnal internasional dan 5 jurnal nasional) menunjukkan bahwa optimalisasi pengelolaan air pada lahan kering melalui penerapan tiga prinsip agroekologi sangat efektif untuk meningkatkan produktivitas pertanian berkelanjutan. Prinsip daur ulang air dan nutrisi melalui pemanenan air hujan, mulsa organik, dan penggunaan residu tanaman dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air (WUE) hingga 55-65% dan mengurangi evapotranspirasi sebesar 35-45%.

Prinsip integrasi tanaman-ternak pada lahan kering terbukti meningkatkan produktivitas lahan sebesar 40-55%, kandungan bahan organik tanah sebesar 35-50%, dan kapasitas retensi air tanah sebesar 30-45%. Integrasi ini menciptakan sinergi positif melalui pemanfaatan limbah pertanian sebagai pakan ternak dan penggunaan kotoran ternak untuk memperbaiki kesuburan tanah. Prinsip produktivitas sistem dengan diversifikasi tanaman, sistem agroforestri, dan pengelolaan holistik mampu meningkatkan water productivity sebesar 35-55% dan resiliensi sistem terhadap kekeringan ekstrem hingga 40-60%. Implementasi terintegrasi ketiga prinsip agroekologi menunjukkan efek sinergis dengan peningkatan produktivitas lahan hingga 60-75%, efisiensi penggunaan air hingga 65-80%, dan carbon sequestration hingga 2-4 ton C/ha/tahun.

Dalam implementasi praktis di Indonesia, hasil penelitian ini dapat diterapkan melalui beberapa contoh konkret: (1) pengembangan embung komunal di tingkat desa untuk pemanenan air hujan dengan kapasitas 500-1000 m³ yang dapat mengairi 2-5 hektar lahan kering; (2) penerapan sistem integrasi padi-sapi atau jagung-kambing dengan rasio 1-2 unit ternak per hektar lahan untuk mengoptimalkan siklus nutrisi; dan (3) pengembangan sistem wanatani dengan kombinasi tanaman kayu seperti gamal atau lamtoro sebagai pagar hidup yang sekaligus berfungsi sebagai sumber pakan ternak dan biomassa untuk mulsa. Hasil studi ini merekomendasikan bahwa pengembangan pertanian lahan kering berkelanjutan di Indonesia perlu mengadopsi pendekatan agroekologi terintegrasi yang menggabungkan ketiga prinsip tersebut. Diperlukan dukungan kebijakan, pendampingan teknis, dan insentif ekonomi untuk mendorong adopsi praktik agroekologi oleh petani lahan kering. Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk mengadaptasi dan memvalidasi strategi-strategi tersebut pada konteks spesifik agroekosistem lahan kering di berbagai wilayah Indonesia.

REKOMENDASI

Berdasarkan hasil penelitian ini, terdapat beberapa rekomendasi strategis untuk optimalisasi pengelolaan air pada lahan kering di Indonesia. Pemerintah perlu mengembangkan regulasi yang mendukung adopsi praktik agroekologi, seperti pemberian insentif fiskal berupa subsidi untuk infrastruktur pemanenan air hujan dan pengurangan pajak bagi petani yang menerapkan integrasi tanaman-ternak. Selain itu, integrasi prinsip agroekologi ke dalam kurikulum pendidikan pertanian formal dan non-formal, termasuk sekolah lapang petani, sangat penting untuk meningkatkan pengetahuan dan keterampilan petani. Pengembangan standar nasional untuk sertifikasi produk pertanian berkelanjutan yang dihasilkan dari sistem agroekologi lahan kering juga perlu diprioritaskan. Dalam praktik pertanian, disarankan agar petani membangun sistem pemanenan air hujan skala rumah tangga atau komunal, serta menerapkan mulsa organik untuk mengurangi evaporasi dan meningkatkan kesuburan tanah. Integrasi ternak ruminansia kecil dan diversifikasi tanaman dengan agroforestri dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air dan ketahanan sistem. Penguatan pengetahuan lokal juga diperlukan, termasuk dokumentasi dan validasi ilmiah terhadap praktik tradisional pengelolaan air, serta pengembangan teknologi tepat guna yang menggabungkan pengetahuan lokal dan inovasi modern. Penelitian lanjutan sangat penting untuk mengadaptasi strategi agroekologi pada berbagai tipe agroekosistem lahan kering di Indonesia dan mengembangkan model prediksi untuk mengoptimalkan pengelolaan air di tengah perubahan iklim.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, M. H., Purba, T., Hartati, T. M., Aulia, N., Biantary, M. P., Palupi, J., Prasetya, R., & Muhtar, M. (2025). *Konservasi Tanah Dan Air*. Aikomedia Press.
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., & Montalba, R. (2017). Technological Approaches To Sustainable Agriculture At A Crossroads: An Agroecological Perspective. *Sustainability (Switzerland)*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/su9030349>
- Badan Pusat Statistik (BPS). (2023). Hasil Pencacahan Lengkap Sensus Pertanian 2023-Tahap I.
- Bansal, S., Chakraborty, P., & Kumar, S. (2022). Crop–Livestock Integration Enhanced Soil Aggregate-Associated Carbon And Nitrogen, And Phospholipid Fatty Acid. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06560-6>
- Bhagat, R., Walia, S. S., Sharma, K., Singh, R., Singh, G., & Hossain, A. (2024). The Integrated Farming System Is An Environmentally Friendly And Cost-Effective Approach To The Sustainability Of Agri-Food Systems In The Modern Era Of The Changing Climate: A Comprehensive Review. *Food And Energy Security*, 13(1). <https://doi.org/10.1002/fes3.534>
- Carvalho, J. L. N., Raucci, G. S., Cerri, C. E. P., Bernoux, M., Feigl, B. J., Wruck, F. J., & Cerri, C. C. (2010). Impact Of Pasture, Agriculture And Crop-Livestock Systems On Soil C Stocks In Brazil. *Soil And Tillage Research*, 110(1), 175–186. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.07.011>
- De, J., & Peersman, W. G. (2021). The Adverse Consequences Of Global Harvest And Weather Disruptions On Economic Activity.
- Delandmeter, M., De Faccio Carvalho, P. C., Bremm, C., Dos Santos Cargnelutti, C., Bindelle, J., & Dumont, B. (2024). Integrated Crop And Livestock Systems Increase Both Climate Change Adaptation And Mitigation Capacities. *Science Of The Total Environment*, 912. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169061>
- Dumont, B., Fortun-Lamothe, L., Jouven, M., Thomas, M., & Tichit, M. (2013). Prospects From Agroecology And Industrial Ecology For Animal Production In The 21st Century. *Animal*, 7(6), 1028–1043. <https://doi.org/10.1017/S1751731112002418>
- Ewert, F., Baatz, R., & Finger, R. (2025). Agroecology For A Sustainable Agriculture And Food System: From Local Solutions To Large-Scale Adoption. *Annual Review Of Resource Economics*, 37, 44. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-102422>
- FAO. (2024). *Agroecology Knowledge Hub*. Food And Agriculture Organization Of The United Nations.
- Franzluebbers, A. J., Chappell, J. C., Shi, W., & Cubbage, F. W. (2017). Greenhouse Gas Emissions In An Agroforestry System Of The Southeastern USA. *Nutrient Cycling In Agroecosystems*, 108(1), 85–100. <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9809-7>
- Gliessman, S. R. (2020). Transforming Food And Agriculture Systems With Agroecology. *Agriculture And Human Values*, 37(3), 547–548. <https://doi.org/10.1007/s10460-020-10058-0>
- Kremen, C. (2020). Ecological Intensification And Diversification Approaches To Maintain Biodiversity, Ecosystem Services And Food Production In A Changing World. *Emerging Topics In Life Sciences*, 4(2), 229–240. <https://doi.org/10.1042/ETLS20190205>
- Lal, R. (2016). Soil Health And Carbon Management. *Food And Energy Security*, 5(4), 212–222. <https://doi.org/10.1002/fes3.96>
- Lemaire, G., Franzluebbers, A., Carvalho, P. C. De F., & Dedieu, B. (2014). Integrated Crop-Livestock Systems: Strategies To Achieve Synergy Between Agricultural Production And Environmental Quality. *Agriculture, Ecosystems And Environment*, 190, 4–8. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009>
- Mcallister, T. A., Becquet, P., Amon, B., & Lee, M. R. F. (2025). Livestock - An Essential Component Of A Circular Bioeconomy. *Animal Frontiers*, 15(4), 3–6. <https://doi.org/10.1093/af/vfaf031>
- Melani Anisa Fitri, & Maulia Usni. (2024). Systematic Literature Review: Pertanian Berbasis Agroekologi Untuk Mendukung Pertanian Berkelanjutan. *Prosiding Seminar Nasional Pembangunan Dan Pendidikan Vokasi Pertanian*, 5(1), 427–436. <https://doi.org/10.47687/snppvp.v5i1.1125>

- Romero Antonio, M. E., Faye, A., Betancur-Corredor, B., Baumüller, H., & Von Braun, J. (2025). Productivity Effects Of Agroecological Practices In Africa: Insights From A Systematic Review And Meta-Analysis. *Food Security*, 17(1), 207–229. <https://doi.org/10.1007/s12571-024-01504-6>
- Rozaki, Z. (2020). Covid-19, Agriculture, And Food Security In Indonesia. *Reviews In Agricultural Science*, 8, 243–261. https://doi.org/10.7831/ras.8.0_243
- Shanmugam, P. M., Sangeetha, S. P., Prabu, P. C., Varshini, S. V., Renukadevi, A., Ravisankar, N., Parasuraman, P., Parthipan, T., Satheeshkumar, N., Natarajan, S. K., & Gopi, M. (2024). Crop–Livestock-Integrated Farming System: A Strategy To Achieve Synergy Between Agricultural Production, Nutritional Security, And Environmental Sustainability. *Frontiers In Sustainable Food Systems*, 8. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1338299>
- Terán-Samaniego, K., Robles-Parra, J. M., Vargas-Arispuro, I., Martínez-Téllez, M. Á., Garza-Lagler, M. C., Félix-Gurrlola, D., Maycotte-De La Peña, M. L., Tafolla-Arellano, J. C., García-Figueroa, J. A., & Espinoza-López, P. C. (2025a). Agroecology And Sustainable Agriculture: Conceptual Challenges And Opportunities—A Systematic Literature Review. *Sustainability* (Switzerland), 17(5). <https://doi.org/10.3390/su17051805>
- Terán-Samaniego, K., Robles-Parra, J. M., Vargas-Arispuro, I., Martínez-Téllez, M. Á., Garza-Lagler, M. C., Félix-Gurrlola, D., Maycotte-De La Peña, M. L., Tafolla-Arellano, J. C., García-Figueroa, J. A., & Espinoza-López, P. C. (2025b). Agroecology And Sustainable Agriculture: Conceptual Challenges And Opportunities—A Systematic Literature Review. *Sustainability* (Switzerland), 17(5). <https://doi.org/10.3390/su17051805>
- Von Cossel, M., Scordia, D., Altieri, M., & Gresta, F. (2025). Spotlight On Agroecological Cropping Practices To Improve The Resilience Of Farming Systems: A Qualitative Review Of Meta-Analytic Studies. *Frontiers In Agronomy*, 7. <https://doi.org/10.3389/fagro.2025.1495846>