



AGROPROSS
National Conference
Proceedings of Agriculture

Prosiding
Seminar dan Bimbingan Teknis Pertanian Politeknik Negeri Jember 2026
*Pertanian Masa Depan Indonesia 2045 : Transformasi Teknologi,
Ketahanan Pangan dan Adaptasi terhadap Tantangan Global*
3 Juni 2026

Publisher:
Agropross, National Conference Proceedings of Agriculture
E-ISSN: 2964-0172
DOI:

Strategi *Cleaner Production* Melalui Pemanfaatan *Eco Enzyme* Sebagai Substitusi Pupuk Kimia pada Budidaya Padi Rawa Lebak

Cleaner Production Strategy for Eco-Enzyme-Based Reduction of Chemical Fertilizer Dependence in Wetland Rice

Author(s): Edward Saleh*, Edinia Aisha Irawan, Hilda Agustina, Vincentia Veni Vera

Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya

*Corresponding author: edward.saleh@fp.unsri.ac.id

ABSTRAK

Budidaya padi rawa lebak masih sangat bergantung pada pupuk kimia, padahal pola tersebut meningkatkan ketergantungan petani pada input eksternal dan menyisakan persoalan efisiensi, biaya, serta tekanan lingkungan. *eco enzyme*, yang dihasilkan dari fermentasi limbah organik rumah tangga atau komunitas, menawarkan peluang untuk dimanfaatkan sebagai input alternatif dalam kerangka produksi bersih. Penelitian ini bertujuan merumuskan strategi implementasi *eco enzyme* sebagai substitusi bertahap pupuk kimia pada budidaya padi rawa lebak di Kecamatan Pemulutan, Kabupaten Ogan Ilir. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif-analitis dengan integrasi gap analysis, SWOT, dan *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Hasil analisis menunjukkan bahwa kesenjangan utama terletak pada rendahnya pengetahuan petani, lemahnya ketersediaan produk, dan kuatnya preferensi terhadap pupuk kimia yang sudah mapan. Posisi strategi berada pada kuadran Weakness–Threat, sehingga pendekatan yang paling realistis adalah strategi defensif yang berfokus pada pengurangan hambatan internal dan eksternal. Prioritas AHP menempatkan demplot aplikasi *eco enzyme* sebagai strategi utama, diikuti pelatihan pembuatan, penyuluhan, dan penguatan dukungan kelembagaan. Temuan ini menunjukkan bahwa *eco enzyme* lebih tepat diposisikan sebagai pintu masuk menuju transisi input yang lebih efisien dan sirkular, bukan sebagai pengganti instan. Implikasinya, produksi bersih di padi rawa lebak perlu dibangun secara bertahap melalui bukti lapang, pembelajaran praktis, dan penguatan jejaring pendampingan.

Kata Kunci:

Cleaner
Production;
Eco Enzyme;
Padi Rawa
Lebak;
Produksi
Bersih;
Substitusi
Pupuk Kimia

Keywords:

Chemical
fertilizer
substitution;
Cleaner
Production;
Eco Enzyme;
Lebak Swamp
Rice;
Organic-Waste
Utilization

ABSTRACT

Wetland rice farming in lebak swamp areas remains heavily dependent on chemical fertilizers, creating long-term dependence on external inputs while raising cost, efficiency, and environmental concerns. Eco enzyme, produced through the fermentation of organic waste, offers a potential alternative input within a cleaner production framework. This study aimed to formulate an implementation strategy for the gradual substitution of chemical fertilizer with eco enzymes in lebak swamp rice farming in Pemulutan District, Ogan Ilir Regency. A descriptive-analytical approach was applied by integrating gap analysis, SWOT, and the Analytical Hierarchy Process (AHP). The results show that the main barriers lie in farmers' limited knowledge, weak product availability, and the entrenched preference for chemical fertilizers. The strategic position falls in the Weakness–Threat quadrant, indicating that a defensive strategy is the most realistic pathway at the current stage. AHP prioritization places field demonstration of eco enzyme application as the top strategy, followed by production





AGROPROSS
National Conference
Proceedings of Agriculture

Prosiding

Seminar dan Bimbingan Teknis Pertanian Politeknik Negeri Jember 2026
*Pertanian Masa Depan Indonesia 2045 : Transformasi Teknologi,
Ketahanan Pangan dan Adaptasi terhadap Tantangan Global*
3 Juni 2026

Publisher:

Agropross, National Conference Proceedings of Agriculture
E-ISSN: 2964-0172
DOI:

training, extension, and stronger institutional support. These findings suggest that eco enzymes should be framed not as an instant replacement but as an entry point for a more circular and resource-efficient transition in rice farming. The practical implication is that cleaner production in lebak swamp rice systems needs to be developed stepwise through field-based proof, practical learning, and coordinated local support.

PENDAHULUAN

Budidaya padi rawa lebak memiliki arti penting bagi ketahanan pangan dan ekonomi rumah tangga petani di Sumatera Selatan, termasuk di Kecamatan Pemulutan, Kabupaten Ogan Ilir. Di wilayah seperti ini, keberlanjutan produksi tidak hanya ditentukan oleh hasil panen, tetapi juga oleh kemampuan petani mengelola input secara efisien pada lingkungan yang sensitif terhadap perubahan kualitas tanah dan air. Dalam praktik sehari-hari, pupuk kimia tetap menjadi pilihan utama karena cepat tersedia, mudah diaplikasikan, dan sudah melekat dalam kebiasaan budidaya petani.

Namun, ketergantungan yang tinggi pada pupuk kimia menimbulkan persoalan jangka panjang. Pada sistem padi, pemupukan anorganik yang dominan cenderung menekan efisiensi pemanfaatan hara, memperbesar kehilangan nitrogen ke lingkungan, dan menambah beban emisi maupun biaya produksi bila tidak diimbangi pengelolaan yang tepat (Abbhishek *et al.*, 2022; Chen, *et al.*, 2021). Sejumlah studi mutakhir menunjukkan bahwa kombinasi input organik dan anorganik, atau substitusi sebagian pupuk kimia dengan sumber organik, dapat menjaga bahkan meningkatkan kinerja produksi sekaligus memperbaiki efisiensi hara dan mutu tanah (Bu *et al.*, 2025; Ding *et al.*, 2025).

Dalam konteks itu, *eco enzyme* menarik untuk dibahas karena berasal dari

fermentasi limbah organik yang relatif mudah diperoleh di tingkat rumah tangga maupun komunitas. Secara konseptual, *eco enzyme* sejalan dengan gagasan sirkularitas sumber daya: limbah organik tidak berakhir sebagai beban, melainkan diolah kembali menjadi input yang bernilai guna. Tinjauan literatur menunjukkan bahwa *garbage enzyme* atau *eco enzyme* memiliki spektrum aplikasi yang luas, termasuk untuk pengelolaan limbah, pengendalian biologis, dan *biofertilizer*, walaupun tingkat pembuktian lapang pada setiap komoditas masih beragam (Barman *et al.*, 2022; Cheng *et al.*, 2023). Pada level komoditas non-padi, *eco enzyme* berbasis limbah sayuran telah dilaporkan memenuhi karakteristik pupuk organik cair dan mendukung pertumbuhan tanaman bawang merah di lahan marginal, sehingga memperkuat argumen bahwa bahan ini layak diuji lebih jauh pada konteks budidaya lain (Arma & Rembon, 2025).

Gagasan produksi bersih dalam pertanian tidak semata berarti mengganti satu input dengan input lain yang dianggap lebih ramah lingkungan. Produksi bersih menuntut pencegahan pencemaran sejak sumbernya, efisiensi penggunaan bahan, serta pemanfaatan kembali sumber daya lokal. Pada sistem padi, penguatan input organik dan pengelolaan residu lokal telah dikaitkan dengan perbaikan kualitas tanah, peningkatan stok karbon, pengurangan ketergantungan pada pupuk sintetis, dan penguatan keberlanjutan sistem produksi

(Adjie *et al.*, 2024; Candra *et al.*, 2025). Di sisi lain, pengolahan limbah pertanian menjadi pupuk juga dinilai mampu menurunkan biaya dan membuka jalan bagi sistem nutrisi yang lebih mandiri di tingkat lokal (Cahyani *et al.*, 2024; Da *et al.*, 2025).

Meski demikian, persoalan utama di lapangan sering kali bukan terletak pada gagasan teknis semata, melainkan pada kesiapan adopsi. Petani cenderung tidak langsung beralih ke input baru jika manfaatnya belum terlihat, pasokannya belum tersedia, dan dukungan kelembagaan masih lemah. Kajian tentang kesiapan petani untuk meningkatkan penggunaan input organik pada usaha tani padi menunjukkan bahwa kesiapan tersebut dipengaruhi oleh modal alami, pengalaman, dukungan pemerintah, dan persepsi atas kelayakan praktik baru (Ariyaratna *et al.*, 2023). Karena itu, studi ini tidak berfokus membuktikan keunggulan agronomis *eco enzyme* di laboratorium atau petak uji, melainkan merumuskan bagaimana *eco enzyme* dapat diimplementasikan secara realistis sebagai substitusi bertahap pupuk kimia pada budidaya padi rawa lebak. Tujuan penelitian ini adalah: (1) mengidentifikasi kesenjangan implementasi *eco enzyme* di tingkat petani; (2) memetakan faktor internal dan eksternal melalui SWOT; (3) menentukan prioritas strategi dengan AHP; dan (4) menyusun model implementasi produksi bersih yang sesuai dengan konteks lokal.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Kecamatan Pemulutan, Kabupaten Ogan Ilir, Sumatera Selatan, pada Desember 2024 sampai Maret 2025. Lokasi dipilih secara purposif karena merupakan sentra budidaya padi rawa lebak dengan ketergantungan tinggi pada pupuk kimia dan sekaligus memiliki ketersediaan limbah organik rumah tangga yang

berpotensi diolah menjadi *eco enzyme*. Penelitian menggunakan pendekatan campuran kuantitatif-kualitatif yang bersifat deskriptif-analitis. Data primer diperoleh melalui survei lapang, wawancara semi-terstruktur, dan kuesioner penilaian, sedangkan data sekunder berasal dari dokumen wilayah, catatan pendukung, naskah awal penelitian, serta literatur yang relevan dari berkas referensi yang disediakan. Responden utama adalah petani padi rawa lebak, sedangkan responden ahli pada tahap AHP meliputi pihak yang memahami budidaya padi, penyuluhan, dan pengembangan input pertanian alternatif.

Tahapan analisis dilakukan berurutan. Pertama, *gap analysis* digunakan untuk membandingkan kondisi aktual dan kondisi yang diharapkan pada lima aspek, yaitu pengetahuan petani, biaya/harga input, ketersediaan produk, ketergantungan pada pupuk kimia, dan penerimaan terhadap inovasi. Kedua, faktor-faktor strategis hasil survei dan wawancara dikelompokkan menjadi kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman, lalu diberi bobot melalui matriks IFAS-EFAS untuk menentukan posisi strategi implementasi *eco enzyme*. Ketiga, alternatif strategi hasil SWOT disusun ke dalam hirarki AHP yang terdiri atas tujuan, sasaran, dan alternatif tindakan. Perbandingan berpasangan dilakukan menggunakan skala 1–9 untuk memperoleh bobot prioritas strategi.

Alternatif strategi yang dinilai pada AHP meliputi demplot aplikasi *eco enzyme*, pelatihan pembuatan *eco enzyme*, penyuluhan *eco enzyme*, dan penguatan dukungan kelembagaan/diseminasi. Hasil pembobotan digunakan untuk mengurutkan prioritas intervensi yang paling layak diterapkan pada tahap awal. Seluruh hasil kemudian disintesis untuk menyusun model strategi produksi bersih yang kontekstual bagi budidaya padi rawa lebak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kesenjangan Implementasi *Eco Enzyme*

Analisis awal menunjukkan bahwa *eco enzyme* memiliki daya tarik konseptual yang kuat, tetapi kesiapan implementasinya di tingkat petani masih rendah. Di Pemulutan, pupuk kimia telah menjadi bagian dari rutinitas budidaya karena mudah diakses, manfaatnya dianggap cepat terlihat, dan sistem distribusinya sudah terbentuk. Sebaliknya, *eco enzyme* belum hadir sebagai pilihan yang familiar. Banyak petani belum memahami bahan baku, proses fermentasi, cara aplikasi, ataupun manfaat yang realistis pada budidaya padi rawa lebak. Kondisi ini memperlihatkan bahwa hambatan utama bukan hanya pada ketersediaan produk, melainkan juga pada legitimasi inovasi di mata petani.

Kesenjangan tersebut penting dibaca dalam kerangka produksi bersih. Kesenjangan implementasi *eco enzyme* pada budidaya padi rawa lebak disajikan pada Tabel 1. Pada satu sisi, *eco enzyme* sejalan dengan upaya memanfaatkan limbah organik lokal dan menekan dominasi input sintetis. Pada sisi lain, transisi menuju input yang lebih sirkular membutuhkan kondisi pendukung yang belum sepenuhnya tersedia. Literatur pada sistem padi memperlihatkan bahwa penguatan input organik dan *biofertilizer* umumnya memberi hasil lebih baik ketika didukung kombinasi manajemen yang tepat, bukan ketika diperkenalkan sebagai solusi tunggal yang berdiri sendiri (Chen, *et al.*, 2025; Ding *et al.*, 2025). Dengan kata lain, potensi *eco enzyme* tidak otomatis berubah menjadi praktik jika tidak disertai proses belajar, pembuktian, dan penguatan akses.

Tabel 1. Ringkasan kesenjangan implementasi *eco enzyme* pada budidaya padi rawa lebak.

Aspek	Kondisi Aktual	Kondisi yang Diharapkan	Implikasi Strategis
Pengetahuan petani	Masih rendah; manfaat, pembuatan, dan aplikasi <i>eco enzyme</i> belum dipahami luas	Petani memahami fungsi dan batas penggunaan <i>eco enzyme</i>	Perlu demplot dan pelatihan berbasis praktik
Ketersediaan produk	Belum tersedia luas dalam rantai pasok lokal	<i>Eco enzyme</i> mudah diakses atau diproduksi mandiri	Perlu penguatan produksi berbasis kelompok
Ketergantungan input	Pupuk kimia masih dominan karena praktis dan familiar	Substitusi berlangsung bertahap dan terukur	Perlu strategi transisi, bukan penggantian mendadak
Penerimaan inovasi	Kepercayaan petani masih terbatas	Inovasi diterima setelah manfaat terlihat	Bukti lapang menjadi prasyarat adopsi awal

Temuan *gap analysis* juga memperlihatkan adanya peluang yang tidak kecil. Bahan baku organik untuk pembuatan *eco enzyme* relatif mudah dijumpai, baik dari rumah tangga maupun dari lingkungan sekitar desa. Ini memberi dasar bagi pengembangan input lokal yang lebih mandiri. Sejalan dengan itu, studi tentang pengolahan jerami padi dan limbah

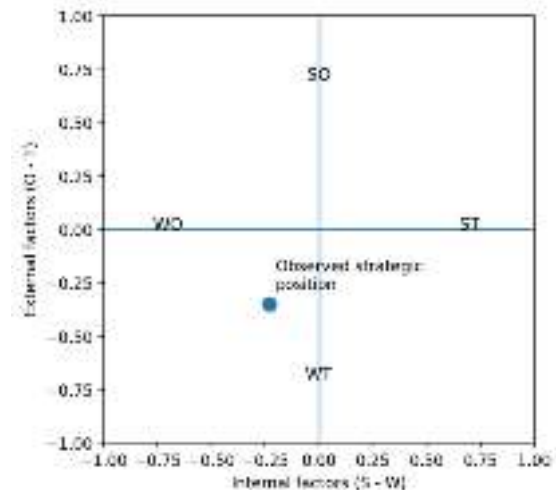
pertanian menunjukkan bahwa pengembalian bahan organik ke sistem produksi dapat memperbaiki kualitas tanah, mengurangi pemborosan sumber daya, dan menurunkan biaya budidaya dalam jangka menengah (Cahyani *et al.*, 2024; Dinh *et al.*, 2024). Bagi petani rawa lebak, argumen ini penting karena persoalan input tidak hanya terkait

produktivitas, tetapi juga biaya dan ketergantungan pada pasokan luar.

Akan tetapi, peluang bahan baku lokal tidak cukup tanpa pembuktian manfaat di lapang. Pada beberapa studi padi, substitusi sebagian pupuk kimia dengan input organik atau *biofertilizer* justru berhasil ketika petani atau peneliti mampu menjaga keseimbangan antara keberlanjutan dan hasil, misalnya melalui pengurangan parsial bukan penggantian total yang mendadak (Abhishek *et al.*, 2022; Anh *et al.*, 2025). Pola ini memberi pelajaran penting bagi konteks *eco enzyme*: strategi implementasi sebaiknya dimulai sebagai substitusi bertahap yang adaptif, bukan sebagai klaim penggantian penuh sejak awal.

Faktor Strategis dan Posisi SWOT

Berdasarkan wawancara, survei, dan pembobotan IFAS-EFAS, faktor internal yang paling dominan ialah rendahnya pengetahuan petani tentang *eco enzyme*, preferensi yang kuat terhadap pupuk kimia, terbatasnya pengalaman penggunaan *eco enzyme*, dan lemahnya inisiatif produksi mandiri. Dari sisi eksternal, ancaman utama datang dari minimnya penyuluhan spesifik, belum tersedianya *eco enzyme* pada rantai pasok pertanian lokal, serta kuatnya pengaruh pupuk kimia bersubsidi. Dengan susunan faktor seperti itu, posisi implementasi *eco enzyme* berada pada kuadran *Weakness–Threat* (WT), seperti pada Gambar 1. Artinya, konteks lapang belum mendukung strategi ekspansi yang agresif; yang lebih dibutuhkan ialah strategi defensif untuk mengurangi kelemahan dasar sambil menghadapi hambatan eksternal.



Gambar 1. Posisi strategi implementasi *eco-enzyme* dalam kuadran SWOT

Posisi WT ini tidak berarti *eco enzyme* tidak layak dikembangkan. Sebaliknya, posisi tersebut menegaskan bahwa strategi implementasinya harus dimulai dari fondasi sosial dan kelembagaan. Studi tentang kesiapan petani untuk memperluas penggunaan input organik menunjukkan bahwa perubahan praktik lebih mudah terjadi ketika petani memiliki persepsi manfaat yang jelas dan merasa bahwa sistem pendukungnya hadir secara nyata (Ariyaratna *et al.*, 2023). Dalam penelitian ini, persepsi manfaat belum cukup terbentuk karena *eco enzyme* belum memiliki bukti lapang yang dapat dilihat langsung oleh petani setempat.

Kondisi tersebut juga sejalan dengan perkembangan riset input organik pada padi. Berbagai penelitian mutakhir menunjukkan bahwa penggunaan bahan organik, *biochar-based fertilizer*, atau kombinasi pupuk organik-anorganik dapat meningkatkan produktivitas, efisiensi hara, dan kualitas tanah, tetapi keberhasilannya ditentukan oleh dosis, proporsi substitusi, dan cara pengelolaan yang spesifik lokasi (Bu *et al.*, 2025; Chen, *et al.*, 2025). Dari perspektif strategi, pelajaran pentingnya bukan sekadar “organik itu baik”, melainkan bahwa keberhasilan transisi input membutuhkan desain implementasi

yang bertahap, terukur, dan sesuai konteks. Maka, pada kasus Pemulutan, strategi WT justru menjadi pilihan yang realistis karena memberi ruang untuk membangun kepercayaan petani sebelum mendorong adopsi yang lebih luas.

Prioritas Strategi Berdasarkan AHP

Hasil AHP menempatkan demplot aplikasi *eco enzyme* sebagai strategi prioritas tertinggi, disusul pelatihan pembuatan *eco enzyme*, penyuluhan *eco enzyme*, dan penguatan dukungan kelembagaan/diseminasi, seperti pada Tabel 2 dan Gambar 2. Urutan ini memperlihatkan bahwa bentuk intervensi yang paling dibutuhkan petani adalah pengalaman visual dan praktis, bukan penjelasan teoritis semata. Dalam konteks adopsi inovasi pertanian, keputusan petani lazimnya dipengaruhi oleh seberapa jauh suatu teknologi dapat dibuktikan

manfaatnya di lahan yang serupa dengan kondisi mereka sendiri. Karena itu, demplot menjadi titik masuk yang paling masuk akal.

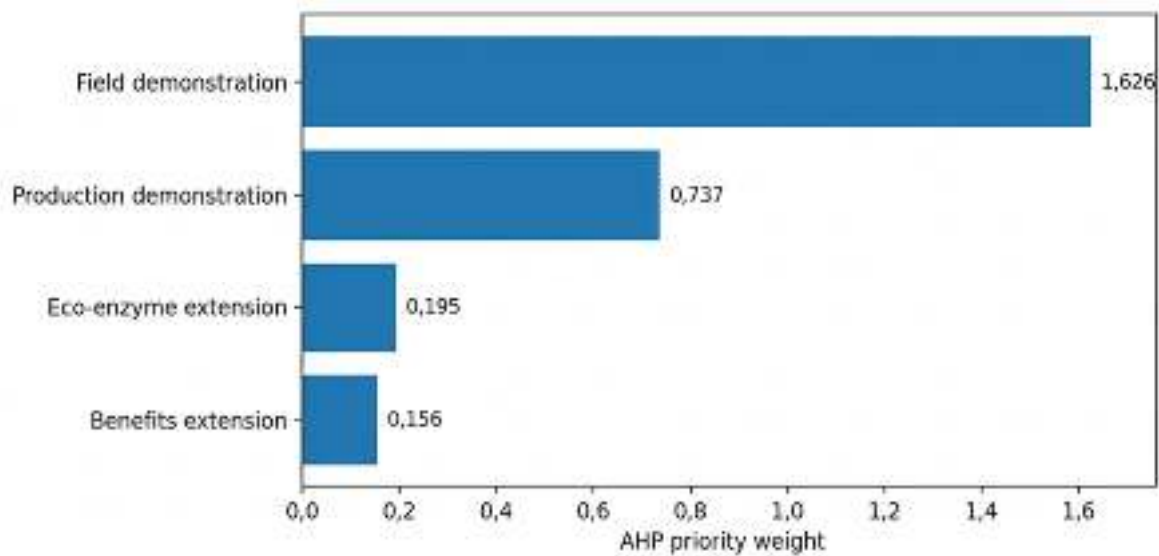
Demplot berfungsi ganda. Pertama, ia menjadi sarana pembuktian. Petani dapat melihat langsung apakah *eco enzyme* layak dicoba sebagai substitusi sebagian pupuk kimia, bagaimana respons tanaman, serta bagaimana tata cara aplikasinya. Kedua, demplot menjadi ruang belajar sosial. Interaksi antara petani, penyuluh, dan pihak pendamping berlangsung secara konkret, sehingga informasi tidak berhenti sebagai wacana. Temuan ini konsisten dengan arah riset pada sistem padi berkelanjutan yang menempatkan pembelajaran berbasis praktik dan adaptasi lokal sebagai kunci keberhasilan pengurangan input sintetis (Candra *et al.*, 2025; Da *et al.*, 2025).

Tabel 2 Prioritas strategi implementasi *eco enzyme* berdasarkan hasil AHP

Prioritas	Strategi	Makna implementatif
1	Demplot aplikasi <i>eco enzyme</i>	Membangun kepercayaan melalui bukti lapang yang dapat diamati langsung
2	Pelatihan pembuatan <i>eco enzyme</i>	Mengubah potensi limbah organik menjadi kapasitas produksi lokal
3	Penyuluhan <i>eco enzyme</i>	Memperluas pemahaman setelah ada bukti dan keterampilan dasar
4	Penguatan kelembagaan/diseminasi	Menjaga keberlanjutan, koordinasi, dan peluang replikasi

Pelatihan pembuatan *eco enzyme* berada pada urutan kedua. Posisi ini logis karena ketersediaan produk merupakan salah satu hambatan utama. Tanpa kemampuan memproduksi secara mandiri atau berbasis kelompok, *eco enzyme* akan tetap berada di level gagasan dan tidak pernah menjadi input yang benar-benar dapat diakses. Penelitian tentang

pengolahan limbah organik menjadi pupuk memperlihatkan bahwa kapasitas produksi lokal adalah syarat penting bagi terbentuknya sistem nutrisi yang lebih sirkular dan hemat biaya (Cahyani *et al.*, 2024; Da *et al.*, 2025). Dengan demikian, pelatihan bukan hanya kegiatan teknis, tetapi juga langkah awal untuk membangun kemandirian input.



Gambar 2. Ranking Prioritas Strategi Implementasi Berdasarkan AHP

Penyuluhan *eco enzyme* berada pada urutan berikutnya. Ini menunjukkan bahwa penyuluhan tetap diperlukan, tetapi efektivitasnya akan meningkat jika didahului oleh bukti lapang dan keterampilan dasar produksi. Pada lingkungan yang masih sangat dipengaruhi oleh pupuk kimia, informasi saja belum cukup untuk mengubah kebiasaan. Petani perlu melihat hasil, memahami proses, lalu menerima pesan penyuluhan dalam konteks yang sudah lebih masuk akal bagi mereka. Penguatan dukungan kelembagaan/diseminasi berada pada urutan akhir bukan karena tidak penting, melainkan karena perannya lebih bersifat menjaga keberlanjutan setelah kepercayaan awal berhasil dibangun.

Model Strategi Produksi Bersih yang Diusulkan

Berdasarkan sintesis *gap analysis*, SWOT, dan AHP, model strategi yang diusulkan terdiri atas empat tahap berurutan: (1) demplot aplikasi *eco enzyme*; (2) pelatihan pembuatan *eco enzyme*; (3) penyuluhan partisipatif; dan (4) penguatan dukungan kelembagaan serta diseminasi. Urutan ini menempatkan *eco enzyme* sebagai pintu masuk menuju produksi bersih, bukan sebagai teknologi

tunggal yang berdiri sendiri. Tahap pertama membangun bukti dan kepercayaan, tahap kedua membangun kapasitas produksi, tahap ketiga memperluas pemahaman, dan tahap keempat menjaga kesinambungan implementasi.

Secara konseptual, model ini mempertemukan tiga agenda yang saling terkait. Agenda pertama adalah pengurangan ketergantungan bertahap pada pupuk kimia. Agenda kedua adalah pemanfaatan limbah organik lokal agar tidak berhenti sebagai residu, tetapi kembali ke sistem budidaya sebagai sumber daya. Agenda ketiga adalah penguatan kelembagaan lokal melalui kelompok tani, penyuluh, dan mitra pendamping. Dalam kerangka yang lebih luas, pendekatan ini sejalan dengan gagasan bahwa sistem padi berkelanjutan tidak dibangun hanya dari penggantian input, tetapi dari kombinasi antara perbaikan pengelolaan, daur ulang biomassa, dan pembelajaran kolektif (Adjie *et al.*, 2024; Dinh *et al.*, 2024).

Yang perlu ditekankan, penelitian ini tidak menyimpulkan bahwa *eco enzyme* telah terbukti unggul secara agronomis pada padi rawa lebak. Naskah ini justru menegaskan batas tersebut. Bukti yang

dihasilkan bersifat strategis: penelitian memetakan bagaimana kondisi lapang saat ini dan intervensi apa yang paling rasional dilakukan agar inovasi berpeluang diadopsi. Karena itu, model yang diusulkan lebih tepat dibaca sebagai peta jalan implementasi awal. Penelitian lanjutan perlu menguji respon pertumbuhan, hasil, efisiensi penggunaan hara, perubahan sifat tanah, dan kelayakan ekonomi pada beberapa skenario substitusi. Namun demikian, secara praktis model ini sudah memberi arah yang jelas bahwa jalan menuju produksi bersih di rawa lebak harus dibangun dari proses yang realistis, dekat dengan pengalaman petani, dan didukung oleh kapasitas lokal.

KESIMPULAN

Eco enzyme memiliki relevansi strategis untuk produksi bersih pada budidaya padi rawa lebak karena menghubungkan dua agenda sekaligus, yakni pengurangan bertahap ketergantungan pada pupuk kimia dan pemanfaatan limbah organik lokal. Namun, hambatan implementasi saat ini lebih banyak bersumber dari rendahnya pengetahuan petani, lemahnya akses terhadap produk, dan kuatnya dominasi sistem input kimia yang sudah mapan. Oleh karena itu, strategi implementasi paling realistis berada pada kuadran Weakness–Threat, dengan urutan prioritas berupa demplot aplikasi *eco enzyme*, pelatihan pembuatan, penyuluhan partisipatif, dan penguatan dukungan kelembagaan. Dengan pendekatan tersebut, *eco enzyme* tidak dipaksakan sebagai pengganti instan, melainkan dikembangkan sebagai jalur transisi yang bertahap, kontekstual, dan lebih mudah diterima petani.

DAFTAR PUSTAKA

Abhishek, K., Swain, D. K., Dey, S., Singh, A., Kuttippurath, J., Chander, G., & Kumar, K. A.

(2022). Nutrient Management May Reduce Global Warming Potential of Rice Cultivation in Subtropical India. *Current Research in Environmental Sustainability*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100169>

Adjie, E. M. A., Mujiyo, M., Maro’Ah, S., Herawati, A., & Herdiansyah, G. (2024). Total Carbon Sequestration on Soil and Plant Biomass Under Different Farming Systems of Organic, Semi-Organic and Conventional Rice Fields. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 19(1), 101–109. <https://doi.org/10.18280/ij dne.190112>

Anh, N. H., Trong, N. D., Thu, L. T. M., Nguyen, T. T. K., Tu, N. L. C., Quang, L. T., Xuan, D. T., & Khuong, N. Q. (2025). Effects of *Rhodobacter sphaeroides* on Nitrogen Uptake, Growth, and Yield of Rice in Saline Soil. *Vegetos*. <https://doi.org/10.1007/s42535-025-01554-x>

Ariyaratna, S. M. W. P. K., Nanayakkara, K. G. M., & Thushara, S. C. (2023). The Nexus of Farmers’ Sustainable Agriculture Potential and Readiness for More Organic Use in Rice Farming: Insights from Resilience Theory. *Sustainable Environment*, 9(1). <https://doi.org/10.1080/27658511.2023.2273619>

Arma, M. J., & Rembon, F. S. (2025). Chemical Characteristics of Eco-Enzymes As Liquid Organic Fertilizer from Vegetable Waste and Its Impact to Improve the Growth of Red Onion (*Allium ascalonicum* L.) on Marginal Dry Land. *International Journal of Agriculture and Biosciences*, 14(4),

- 582–588.
<https://doi.org/10.47278/journal.ijab/2025.050>
- Barman, I., Hazarika, S., Gogoi, J., & Talukdar, N. (2022). A Systematic Review on Enzyme Extraction from Organic Wastes and Its Application. *Journal of Biochemical Technology*, 13(3), 32–37.
<https://doi.org/10.51847/JVfUPnKi16>
- Bu, R., Cheng, W., Wu, J., Tang, S., Li, M., Lu, J., Ji, G., Wang, H., Zhu, R., Jiang, F., Tang, M., & Han, S. (2025). Organic-Inorganic Fertilization Application and Deep Tillage Enhance Productivity and Nutrient Use Efficiency in Rice-Rapeseed Rotations. *Scientia Agricultura Sinica*, 58(16), 3178–3189.
<https://doi.org/10.3864/j.issn.0578-1752.2025.16.003>
- Cahyani, V. R., Lakshitarsari, K. P., Megow, R. A. Z. W., & Azzahra, N. Y. (2024). Composting of Rice Straw-Based Materials Using Aerobic Bioactivator Isolated From Rice Straw, Mahogany Bark and Cassava Peels. *Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture*, 39(1), 48–64.
<https://doi.org/10.20961/carakatani.v39i1.74297>
- Candra, B., Ambarita, D. D. M., Utami, D. S., Adinata, K., Stöber, S., & Simarmata, T. (2025). Assessment of Azolla for Carbon Capture, Biofertilizer Application, and Rice Productivity Enhancement in Sustainable Lowland Farming Systems Under Climate Change Adaptation. *Discover Sustainability*, 6(1).
<https://doi.org/10.1007/s43621-025-02210-9>
- Chen, H., Yunze, R., & Zhongjun, J. (2025). A Meta-Analysis of 30 Years in China and Micro-District Experiments Shows Organic Fertilizer Quantification Combined with Chemical Fertilizer Reduction Enhances Rice Yield on Saline-Alkali Land. *Rice Science*, 32(2), 259–272.
<https://doi.org/10.1016/j.rsci.2025.01.004>
- Chen, J., Ma, C., Hu, X., Li, D., Guo, Y., Liu, C., Zhou, K., & Zheng, T. (2025). Effects of Incorporation of Inorganic-Organic Fertilizers on Soil Fertility, Ecological Stoichiometric Characteristics, and Yields of Rice Cropping System in The Red Soil Region of China. *Scientia Agricultura Sinica*, 58(23), 4952–4965.
<https://doi.org/10.3864/j.issn.0578-1752.2025.23.011>
- Chen, L., Xie, H., Wang, G., Yuan, L., Qian, X., Wang, W., Xu, Y., Zhang, W., Zhang, H., Liu, L., Wang, Z., Gu, J., & Yang, J. (2021). Reducing Environmental Risk by Improving Crop Management Practices at High Crop Yield Levels. *Field Crops Research*, 265.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108123>
- Cheng, X.-J., Liu, Y.-X., & Zhang, S.-T. (2023). Research Progress on Application of Garbage Enzyme. *Modern Chemical Industry*, 43(1), 67–70, 76.
<https://doi.org/10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2023.01.012>
- Da, C. T., Nguyen, N. T., Dung, T. V., Hoang, M.-N., & Bui, X.-T. (2025). Organic Fertilizer Production from Agriculture By-Products for Sustainable Agricultural Systems. In *Nature-Based Solutions for Urban Sustainability* (pp. 249–267).

https://doi.org/10.2166/9781789065015_0249

- Ding, C., Luo, X., Wang, Y., Long, W., Guan, Y., Hou, Q., Yuan, C., & Wang, L. (2025). Partial Replacement of Chemical Fertilizer by Biochar-Based Fertilizer Increases Rice Yield and Soil Quality. *Agronomy*, 15(12). <https://doi.org/10.3390/agronomy15122716>
- Dinh, V.-P., Tran-Vu, H.-A., Tran, T., Duong, B.-N., Dang-Thi, N.-M., Phan-Van, H.-L., Tran, T.-K., Huynh, V.-H., Nguyen, T.-P.-T., & Nguyen, T. Q. (2024). Improving Soil Quality and Crop Yields Using Enhancing Sustainable Rice Straw Management through Microbial Enzyme Treatments. *Environmental Health Insights*, 18. <https://doi.org/10.1177/11786302241283001>