Jurnal Hilirisasi IPTEKS Vol. 6 No 3, 2023
Website. http://hilirisasi.lppm.unand.ac.id
e-ISSN: 2621-7198

INOVASI ECO ENZYME SEBAGAI SOLUSI RAMAH LINGKUNGAN DI NAGARI LASI KECAMATAN CANDUANG KABUPATEN AGAM

Syaifuddin Islami[1*)], Dewi Anggraini[2)], dan Dedet Deperiky[3)]
[1)] Program Studi Agroteknologi Universitas Tamansiswa Padang
[2)] Program Studi Ilmu Politik Universitas Andalas
[3)] Program Studi Kewirausahaan Universitas Tamansiswa Padang

[*)] Email Koresponden: syaifuddinislami1980.si@gmail.com

ABSTRAK

Pertanian berperan penting dalam pemenuhan kebutuhan pangan dan kesejahteraan masyarakat. Namun, tantangan terhadap keberlanjutan dan produktivitas pertanian meningkat. Ketergantungan pada pupuk kimia dan pestisida sintetis berdampak negatif pada lingkungan. *Eco enzyme* sebagai pupuk organik inovatif menawarkan solusi berkelanjutan. *Eco enzyme* meningkatkan produktivitas dan kualitas tanah serta mengurangi ketergantungan pada bahan kimia sintetis. Kegiatan ini dilaksanakan di Nagari Lasi Kecamatan Canduang Kabupaten Agam, dari bulan Oktober 2022 hingga Mei 2023. Metode ini adalah melibatkan petani dan masyarakat lokal dalam setiap tahapan kegiatan. Hal ini bertujuan untuk mencapai transfer pengetahuan dan penerapan inovasi secara lebih luas dalam masyarakat. Perolehan hasil kegiatan yaitu inovasi ini dikenalkan kepada petani dan masyarakat melalui kegiatan-kegiatan demonstrasi kepada masyarakat. Kegiatan ini diharapkan memberikan pemahaman komprehensif tentang revitalisasi pertanian berkelanjutan melalui *eco enzyme*. *Eco enzyme* untuk pertanian dapat meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi oleh tanaman, mengurangi potensi pencemaran lingkungan dan meningkatkan kualitas tanah. Perbandingan produksi padi dengan dan tanpa *Eco enzyme* menunjukkan peningkatan yang signifikan. Kesimpulan dari kegiatan ini adalah *eco enzyme* adalah pupuk organik inovatif yang meningkatkan produktivitas pertanian, kualitas tanah, dan mengurangi ketergantungan pada bahan kimia sintetis secara berkelanjutan. Untuk rekomendasi ke depannya agar evaluasi komposisi *eco enzyme*, kajian lingkungan fermentasi, dampak pada kualitas tanah, efisiensi produksi, studi ekonomi, dan kerja sama antar lembaga.

Kata Kunci: *eco enzyme, ramah lingkungan, pupuk organik, pertanian berkelanjutan*

Eco Enzyme Innovation as an Environmentally-Friendly Solution in Nagari Lasi, Canduang District, Agam Regency

ABSTRACT

Agriculture plays a crucial role in meeting food needs and improving the well-being of communities. However, challenges to the sustainability and productivity of agriculture are on the rise. Dependency on chemical fertilizers and synthetic pesticides has had negative environmental impacts. Eco enzymes, as an innovative organic fertilizer, offer a sustainable solution. Eco enzymes enhance soil productivity and quality while reducing reliance on synthetic chemicals. This project was conducted in Nagari Lasi, Canduang District, Agam Regency, from October 2022 to May 2023. The method involved the participation of farmers and the local community in every stage of the project to facilitate knowledge transfer and broader adoption of the innovation. The results of this project introduced the innovation to farmers and the community through various demonstration activities. The aim is to provide a comprehensive understanding of sustainable agriculture revitalization through eco enzymes. Eco enzymes for agriculture can improve nutrient absorption efficiency by plants, reduce environmental pollution potential, and enhance soil quality. A significant increase in rice production was observed when comparing production with and without eco enzymes. The conclusion drawn from this project is that eco enzymes are an innovative organic fertilizer that enhances agricultural productivity, soil quality, and reduces reliance on synthetic chemicals sustainably. Recommendations for future work include evaluating eco enzyme compositions, studying fermentation environmental impacts, assessing soil quality impacts,

production efficiency, conducting economic studies, and fostering institutional collaboration.

Keywords: *eco enzymes, environmentally friendly, organic fertilizer, sustainable agriculture.*

PENDAHULUAN

Pertanian berperan penting dalam pemenuhan kebutuhan pangan dan kesejahteraan masyarakat. Namun, sektor pertanian saat ini dihadapkan pada berbagai tantangan yang mengancam keberlanjutan dan produktivitasnya (Smith, 2021). Ketergantungan yang tinggi terhadap pupuk kimia dan pestisida sintetis dalam praktik pertanian modern telah menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan, termasuk pencemaran air dan tanah serta penurunan keanekaragaman hayati (Brown & Jones, 2022). Oleh karena itu, diperlukan inovasi pertanian berkelanjutan yang ramah lingkungan.

Salah satu metode inovatif yang muncul adalah penggunaan *eco enzyme* sebagai pupuk pertanian organik (*Ministry of Agriculture and Rural Development*, 2020). *Eco enzyme* merupakan produk yang dihasilkan melalui fermentasi bahan organik alami, seperti buah-buahan, sayuran, dan limbah organik lainnya (Greenfield & Lee, 2023). Penggunaan *eco enzyme* sebagai pupuk pertanian memiliki potensi untuk meningkatkan produktivitas tanaman dan memperbaiki kualitas tanah, sambil mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia dan pestisida sintetis (*National Institute of Sustainable Agriculture*, 2019). Revitalisasi pertanian berkelanjutan melalui inovasi *eco enzyme* menjadi solusi yang menjanjikan dalam mengatasi tantangan pertanian modern. *Eco enzyme* mengandung sejumlah enzim yang dapat memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman (Smith, 2021). Penggunaan *eco enzyme* juga dapat mempercepat proses dekomposisi bahan organik, yang pada gilirannya akan meningkatkan kesuburan tanah (Brown & Jones, 2022). Hal ini membantu dalam mempertahankan keseimbangan ekosistem pertanian dan meningkatkan ketahanan tanah terhadap erosi dan degradasi (*Ministry of Agriculture and Rural Development*, 2020).

Dalam konteks penerapan kepada masyarakat, penting untuk mengenalkan inovasi *eco enzyme* kepada petani dan masyarakat secara luas (Greenfield & Lee, 2023). Mengadopsi penggunaan *eco enzyme* sebagai pupuk pertanian organik dapat memberikan manfaat jangka panjang dalam hal produktivitas pertanian yang berkelanjutan. Selain itu, dengan mengurangi penggunaan pupuk kimia dan pestisida sintetis, *eco enzyme* juga dapat mengurangi dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (*National Institute of Sustainable Agriculture*, 2019). Melalui kegiatan ini, diharapkan dapat memberikan pemahaman yang komprehensif tentang revitalisasi pertanian berkelanjutan melalui inovasi *Eco enzyme* serta manfaatnya bagi petani dan lingkungan. Dengan memadukan pendekatan kualitatif dan kuantitatif, kegiatan ini dapat memberikan wawasan yang lebih holistik mengenai penerapan *Eco enzyme* dalam pertanian berkelanjutan Hasil jurnal-jurnal penelitian yang telah dilakukan secara global dan di tingkat lokal di Indonesia juga memberikan dukungan terhadap perlunya inovasi pertanian berkelanjutan dengan metode *eco enzyme*. Misalnya, Smith (2021) dalam *Journal of Sustainable Development* menyatakan bahwa praktik pertanian berkelanjutan dapat berkontribusi dalam mencapai ketahanan pangan.

METODOLOGI

Kegiatan ini dilaksanakan di Nagari Lasi, Kecamatan Canduang, Kabupaten Agam, Provinsi Sumatera Barat dari bulan Oktober 2022 hingga Mei 2023. Metode ini adalah melibatkan petani dan masyarakat lokal dalam setiap tahapan kegiatan. Hal ini bertujuan untuk mencapai transfer pengetahuan dan penerapan inovasi secara lebih luas dalam masyarakat. Metode yang digunakan adalah *Systematic Literature Review* (SLR) dengan mengumpulkan dan menganalisis literatur yang relevan dari berbagai sumber terpercaya (Deperiky, 2019). Dalam kegiatan ini, pendekatan kualitatif digunakan untuk memahami kondisi pertanian di wilayah yang menjadi fokus melalui studi pendahuluan, seperti survei lapangan, wawancara, dan analisis data sekunder (Deperiky, 2020). Sementara itu, pendekatan kuantitatif digunakan dalam pengujian dan evaluasi dampak penggunaan *Eco enzyme* pada lahan pertanian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Keberadaan enzim dalam *Eco enzyme* juga dapat meningkatkan aktivitas mikroba tanah yang berperan penting dalam siklus nutrisi dan dekomposisi bahan organik (Sudarmadji et al., 2017). Penggunaan *Eco enzyme* dapat membantu mengurangi ketergantungan petani pada pupuk kimia yang cenderung memiliki dampak negatif terhadap lingkungan (Suwarti & Kristina, 2018). Dalam pengembangan *Eco enzyme*, pemilihan mikroorganisme yang tepat sangat penting untuk memastikan produksi enzim yang optimal (Rahayu et al., 2020). Beberapa jenis mikroorganisme yang umum digunakan dalam fermentasi *Eco enzyme* antara lain bakteri asam laktat, ragi, dan mikroorganisme tanah (Suharjo et al., 2021). Faktor suhu, kelembaban, dan pH memainkan peran penting dalam proses fermentasi *Eco enzyme*. Suhu yang optimal dapat mempengaruhi aktivitas mikroorganisme dan produksi enzim (Sudarmadji et al., 2017). Kelembaban yang tepat juga diperlukan agar mikroorganisme dapat berkembang dengan baik dan menghasilkan enzim yang optimal (Rahayu et al., 2020). Selain itu, pH yang sesuai harus dipertahankan selama proses fermentasi untuk menjaga kondisi yang menguntungkan bagi mikroorganisme (Hapsari & Dewi, 2019). Durasi fermentasi juga merupakan faktor kunci dalam menghasilkan *Eco enzyme* dengan kualitas yang baik. Durasi yang tepat memungkinkan mikroorganisme untuk menghasilkan enzim dengan tingkat keaktifan yang optimal (Suwarti & Kristina, 2018). Pengawasan yang cermat terhadap proses fermentasi dan waktu yang diperlukan akan memastikan produksi *Eco enzyme* yang berkualitas tinggi (Nugroho et al., 2020).

Pengembangan *Eco enzyme* sebagai alternatif pupuk pertanian organik memberikan solusi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan dalam menghadapi tantangan pertanian modern (Suharjo et al., 2021). Penggunaan limbah organik sebagai bahan baku *Eco enzyme* tidak hanya mengurangi limbah pertanian, tetapi juga membantu mengurangi penggunaan pupuk kimia yang berpotensi mencemari lingkungan dan mengganggu keseimbangan ekosistem (Hapsari & Dewi, 2019).

Studi telah menunjukkan bahwa penggunaan *Eco enzyme* dalam pertanian

dapat meningkatkan hasil panen dan kualitas tanaman. Enzim yang terkandung dalam *Eco enzyme* membantu meningkatkan penyerapan nutrisi oleh tanaman, sehingga meningkatkan produktivitas pertanian secara keseluruhan (Rahayu et al., 2020). *Eco enzyme* juga memiliki kemampuan untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan, seperti kekeringan atau serangan hama dan penyakit (Sudarmadji et al., 2017). Selain itu, penggunaan *Eco enzyme* dalam pertanian dapat membantu mengurangi erosi tanah dan meningkatkan retensi air. Enzim dalam *Eco enzyme* membantu memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan daya serap air, sehingga mengurangi risiko erosi tanah dan kehilangan air (Suwarti & Kristina, 2018). Hal ini berkontribusi pada keberlanjutan pertanian dengan menjaga kualitas tanah dan ketersediaan air yang optimal. Penggunaan *Eco enzyme* dalam pertanian juga dapat berdampak positif pada pengelolaan sumber daya yang lebih efisien. Dengan meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi, penggunaan air irigasi dan energi dapat dikurangi, sehingga memberikan manfaat lingkungan dan ekonomi yang signifikan (Nugroho et al., 2020). Keberlanjutan pertanian menjadi sangat penting dalam memenuhi kebutuhan pangan global, sambil meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan (Suharjo et al., 2021).

Manfaat *Eco Enzyme* Untuk Pertanian

Penggunaan *Eco enzyme* dalam pertanian memiliki beberapa manfaat signifikan. Pertama, *Eco enzyme* dapat meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi oleh tanaman. Enzim yang terkandung dalam *Eco enzyme* dapat membantu memecah nutrisi yang terikat dalam tanah menjadi bentuk yang lebih mudah diserap oleh akar tanaman. Hal ini akan meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman dan mengurangi kebutuhan akan pupuk kimia (Rahayu et al., 2020). Kedua, penggunaan *Eco enzyme* dapat membantu meningkatkan kualitas dan struktur tanah. Enzim dalam *Eco enzyme* dapat membantu dalam dekomposisi bahan organik dalam tanah, mengurai bahan organik yang sulit terurai seperti selulosa, dan meningkatkan kandungan humus dalam tanah. Proses ini akan memperbaiki struktur tanah, meningkatkan retensi air, dan meningkatkan kemampuan tanah untuk menyimpan nutrisi (Suwarti & Kristina, 2018). Selain itu, penggunaan *Eco enzyme* dalam pertanian dapat membantu mengurangi ketergantungan petani pada pupuk kimia yang cenderung memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. Dengan menggunakan *Eco enzyme* sebagai pupuk organik, petani dapat mengurangi penggunaan pupuk kimia yang mengandung bahan kimia berbahaya dan mencemari lingkungan. Hal ini akan berkontribusi pada pengembangan pertanian yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan (Hapsari & Dewi, 2019).

Penggunaan limbah organik sebagai bahan baku *Eco enzyme* juga memiliki implikasi positif dalam pengelolaan limbah pertanian. Dengan mengolah limbah organik menjadi *Eco enzyme*, limbah pertanian yang sebelumnya tidak terpakai dapat dimanfaatkan kembali dan berkontribusi pada nilai tambah ekonomi. Selain itu, penggunaan limbah organik sebagai bahan baku dapat mengurangi jumlah limbah yang harus dibuang dan membantu mengurangi dampak negatif limbah pertanian terhadap lingkungan (Nugroho et al., 2020). Dalam pengembangan *Eco enzyme*, penting untuk mempertimbangkan faktor-faktor seperti suhu, kelembaban, dan pH dalam proses fermentasi. Faktor-faktor ini mempengaruhi aktivitas mikroorganisme dan produksi

enzim yang optimal. Selain itu, durasi fermentasi yang tepat juga perlu ditentukan untuk menghasilkan *Eco enzyme* dengan kualitas yang baik (Sudarmadji et al., 2017). Salah satu manfaat penggunaan *Eco enzyme* adalah meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi oleh tanaman. Enzim yang terkandung dalam *Eco enzyme* dapat membantu memecah molekul-molekul kompleks dalam tanah menjadi bentuk yang lebih sederhana, sehingga lebih mudah diserap oleh akar tanaman. Hal ini akan meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman dan mengoptimalkan pertumbuhan serta produktivitas tanaman (Johnson & Smith, 2022; Davis & Brown, 2023). Selain itu, penggunaan *Eco enzyme* juga dapat membantu meningkatkan kualitas tanah. Enzim dalam *Eco enzyme* dapat membantu mengurai bahan organik dalam tanah, sehingga meningkatkan kualitas struktur tanah dan memperbaiki daya resap tanah terhadap air. Tanah yang sehat dan subur akan memberikan kondisi optimal bagi pertumbuhan tanaman dan mengurangi risiko erosi tanah (Wilson & Lee, 2021; Roberts et al., 2020). Dalam jangka panjang, penggunaan *Eco enzyme* sebagai solusi pertanian berkelanjutan juga dapat mengurangi ketergantungan petani pada pupuk kimia. Pupuk kimia memiliki dampak negatif terhadap lingkungan, seperti pencemaran air tanah dan kerusakan ekosistem. Dengan menggantikan sebagian pupuk kimia dengan *Eco enzyme*, petani dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan sekaligus menjaga keberlanjutan sistem pertanian (Thompson et al., 2019; Adams et al., 2021).

Dengan memanfaatkan *Eco enzyme*, pertanian dapat menjadi lebih efisien dalam penggunaan air, memberikan manfaat sosial dan ekonomi bagi petani, serta berkontribusi pada pertanian berkelanjutan. Melalui kolaborasi antara para petani, peneliti, dan pemerintah, penggunaan *Eco enzyme* dapat menjadi solusi yang berkelanjutan dan berpotensi untuk menghadapi tantangan pertanian di masa depan. Dalam konteks revitalisasi pertanian berkelanjutan, pemerintah dan lembaga terkait juga memiliki peran penting dalam mendukung penggunaan *Eco enzyme*. Dukungan kebijakan, seperti insentif pajak atau bantuan teknis, dapat mendorong petani untuk beralih menggunakan *Eco enzyme*. Selain itu, peran lembaga penelitian dalam melakukan penelitian dan pengembangan terkait *Eco enzyme* juga sangat dibutuhkan untuk terus meningkatkan efektivitas dan efisiensi penggunaannya.

Dalam skala yang lebih luas, kolaborasi antara petani, pemerintah, lembaga penelitian, dan masyarakat juga penting untuk menciptakan ekosistem pertanian yang berkelanjutan. Pertukaran pengetahuan dan pengalaman antara para pemangku kepentingan dapat membantu memperkuat penggunaan *Eco enzyme* sebagai solusi pertanian berkelanjutan. Namun, penggunaan *Eco enzyme* sebagai solusi pertanian berkelanjutan juga memiliki beberapa tantangan yang perlu diatasi. Salah satu tantangan tersebut adalah kurangnya pemahaman dan kesadaran petani tentang manfaat dan cara penggunaan *Eco enzyme*. Penting untuk terus melakukan penyuluhan dan pendampingan kepada petani agar mereka dapat memanfaatkan potensi *Eco enzyme* secara maksimal. Selain itu, perlu adanya kerjasama yang baik antara petani, pemerintah, dan lembaga penelitian dalam pengembangan *Eco enzyme* yang lebih efektif dan efisien. Pengembangan teknologi produksi *Eco enzyme* yang ramah lingkungan dan murah perlu terus dilakukan agar dapat diadopsi secara luas oleh petani.

Dalam pembuatan *Eco enzyme*, proporsi bahan-bahan yang digunakan memiliki peran penting dalam menentukan kualitas dan efektivitasnya. Sebuah formula umum yang digunakan adalah perbandingan 1:3:10 antara gula merah, bahan organik

dari kulit buah, dan air. Proporsi ini dapat disesuaikan berdasarkan jenis bahan organik yang digunakan dan kondisi fermentasi yang diinginkan. Proses fermentasi dimulai dengan mencampurkan bahan organik dengan gula merah sebagai sumber energi untuk mikroorganisme. Gula merah berperan sebagai bahan pemanis yang meningkatkan aktivitas mikroorganisme dan membantu dalam proses fermentasi. Bahan organik dari kulit buah-buahan dan potongan sayuran mengandung nutrisi penting yang akan diuraikan oleh mikroorganisme menjadi senyawa enzim yang kaya akan nutrisi.



Gambar 1. Demonstrasi Proses Pembuatan *Eco Enzyme*

Setelah bahan organik dan gula merah dicampur, air ditambahkan untuk menciptakan kondisi yang optimal bagi mikroorganisme. Kadar kelembaban yang tepat dalam proses fermentasi sangat penting untuk menjaga kelangsungan hidup mikroorganisme dan mempercepat produksi enzim. Selain itu, suhu juga menjadi faktor penting yang harus dikendalikan agar mikroorganisme dapat bekerja secara optimal. Suhu optimal untuk fermentasi berada pada rentang 25-35 derajat Celsius. Proses fermentasi berlangsung selama beberapa minggu dengan pengadukan secara berkala untuk memastikan bahan-bahan tercampur secara merata. Dalam periode ini, mikroorganisme akan menghasilkan senyawa enzim yang bermanfaat, seperti amilase, protease, dan lipase. Senyawa-senyawa ini memiliki peran penting dalam mempercepat dekomposisi bahan organik, meningkatkan kualitas tanah, dan meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Setelah proses fermentasi selesai, *Eco enzyme* yang dihasilkan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi pertanian. *Eco enzyme* dapat digunakan sebagai pupuk cair yang dilarutkan dalam air dan disemprotkan pada tanaman. Senyawa enzim dalam *Eco enzyme* membantu memperbaiki kualitas tanah, meningkatkan serapan nutrisi tanaman, dan mengurangi kebutuhan akan pupuk kimia. Dalam jangka panjang, penggunaan *Eco enzyme* sebagai inovasi dalam pertanian berkelanjutan dapat berkontribusi pada pemanfaatan sumber daya alam yang lebih efisien, pengurangan polusi lingkungan, dan peningkatan ketahanan pangan masyarakat.

Dalam konteks pertanian berkelanjutan, *Eco enzyme* merupakan solusi yang ramah lingkungan dan berpotensi untuk mendukung revitalisasi pertanian yang berkelanjutan.

Proses fermentasi merupakan metode utama dalam mengubah bahan organik menjadi *Eco enzyme*. Fermentasi melibatkan aktivitas mikroorganisme, seperti bakteri atau jamur, yang memecah bahan organik menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana (Li et al., 2021; Smith et al., 2020). *Eco enzyme* dihasilkan melalui proses fermentasi yang dilakukan oleh mikroorganisme. Mikroorganisme ini menghasilkan senyawa enzim yang memiliki berbagai manfaat, seperti meningkatkan kesuburan tanah dan menghancurkan residu pestisida (Su et al., 2019; Johnson et al., 2018). Penggunaan *Eco enzyme* dalam pertanian berkelanjutan dapat membantu meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan. Dengan mengoptimalkan penggunaan bahan organik lokal yang tersedia, petani dapat mengurangi ketergantungan pada pupuk dan bahan kimia sintetis (Li et al., 2021). *Eco enzyme* juga memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air dalam pertanian. Su et al. (2019), penggunaan *Eco enzyme* telah terbukti dapat meningkatkan aktivitas enzim dalam tanah, yang berkontribusi pada peningkatan ketersediaan air bagi tanaman. Selain manfaat lingkungan, penggunaan *Eco enzyme* juga memberikan manfaat ekonomi bagi petani. Dengan mengurangi biaya penggunaan pupuk dan pestisida kimia, petani dapat menghemat pengeluaran dan meningkatkan keuntungan (Johnson et al., 2018).

Selama proses fermentasi, mikroorganisme seperti bakteri atau jamur bertindak sebagai agen yang memecah bahan organik menjadi komponen yang lebih sederhana (Smith et al., 2020). Hasil dari proses ini termasuk asam amino, vitamin, dan senyawa lainnya yang berguna bagi pertumbuhan tanaman (Li et al., 2021). Menurut Johnson et al. (2018), proses fermentasi menghasilkan senyawa-senyawa yang bermanfaat bagi tanaman, seperti fitohormon dan enzim yang berperan dalam proses metabolisme dan pertumbuhan tanaman. Fermentasi juga dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Studi yang dilakukan oleh Su et al. (2019) menunjukkan bahwa mikroorganisme dalam proses fermentasi dapat mengubah nutrisi yang terkandung dalam bahan organik menjadi bentuk yang lebih mudah diserap oleh tanaman. Asam amino yang dihasilkan selama fermentasi memiliki peran penting dalam pembentukan protein tanaman. Li et al. (2021) menunjukkan bahwa asam amino tersebut dapat meningkatkan sintesis protein dan mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Selain asam amino, proses fermentasi juga menghasilkan senyawa-senyawa bioaktif seperti antibiotik alami, enzim hidrolitik, dan senyawa antimikroba lainnya yang dapat membantu tanaman melawan patogen dan penyakit (Smith et al., 2020).

Faktor-Faktor Penting Dalam Fermentasi

Suhu merupakan salah satu faktor penting dalam proses fermentasi. Menurut Johnson et al. (2018), suhu optimal untuk pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme dalam fermentasi bervariasi tergantung jenis mikroba yang digunakan. Misalnya, bakteri asam laktat umumnya berkembang baik pada suhu antara 30-40 derajat Celsius. Kelembaban juga merupakan faktor kunci yang harus diperhatikan dalam proses fermentasi. Smith et al. (2020) menekankan bahwa mikroorganisme memerlukan kelembaban yang tepat untuk berkembang biak dan menghasilkan enzim dengan efektivitas maksimal. Kelembaban relatif sekitar 60-70% seringkali dianggap optimal

dalam fermentasi. Selain itu, pH media fermentasi juga mempengaruhi aktivitas mikroorganisme. Menurut Wang et al. (2022), sebagian besar mikroorganisme yang terlibat dalam fermentasi memiliki rentang pH yang optimal untuk pertumbuhan dan produksi enzim. Misalnya, bakteri asam laktat cenderung berkembang baik pada pH sekitar 5-6. Pengaturan suhu, kelembaban, dan pH dalam proses fermentasi dapat dilakukan melalui penggunaan peralatan khusus, seperti inkubator atau tangki fermentasi. Li et al. (2021) menyebutkan bahwa kontrol yang baik terhadap faktor-faktor tersebut dapat meningkatkan efisiensi dan konsistensi proses fermentasi.

Jenis dan kualitas bahan organik yang digunakan juga berpengaruh terhadap hasil fermentasi. Bahan organik yang kaya akan nutrisi, seperti limbah pertanian atau pupuk organik, cenderung memberikan hasil fermentasi yang lebih baik (Su et al., 2019). Adanya kontaminan atau mikroorganisme patogen dalam bahan organik juga dapat mempengaruhi proses fermentasi. Oleh karena itu, sterilisasi atau perlakuan sanitasi pada bahan organik sebelum proses fermentasi penting dilakukan (Johnson et al., 2018). Untuk memastikan hasil fermentasi yang optimal, monitoring dan pengendalian terhadap faktor-faktor lingkungan perlu dilakukan secara berkala. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan sensor atau alat pengukur yang dapat memantau suhu, kelembaban, dan pH secara real-time (Smith et al., 2020). Selain faktor-faktor lingkungan, waktu fermentasi juga merupakan aspek penting yang harus diperhatikan. Li et al. (2021) menunjukkan bahwa durasi fermentasi yang tepat dapat mempengaruhi kualitas dan kuantitas enzim yang dihasilkan. Pada beberapa kasus, penambahan nutrien tambahan atau starter mikroba dapat diperlukan untuk mempercepat proses fermentasi atau meningkatkan kualitas hasil fermentasi (Wang et al., 2022).

Mengingat pentingnya faktor-faktor tersebut, pemahaman dan pemantauan yang baik terhadap suhu, kelembaban, dan pH dalam proses fermentasi dapat meningkatkan hasil yang diinginkan dalam produksi *eco enzyme* yang ramah lingkungan. Durasi fermentasi merupakan faktor penting yang perlu diperhatikan dalam produksi *Eco enzyme*. Menurut Johnson et al. (2018), durasi fermentasi dapat mempengaruhi aktivitas enzim yang dihasilkan serta komposisi nutrisi dalam *Eco enzyme*. Durasi fermentasi akan berbeda-beda tergantung pada jenis bahan baku yang digunakan. Misalnya, fermentasi menggunakan limbah pertanian mungkin memerlukan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan fermentasi menggunakan sisa makanan (Li et al., 2021). Selain itu, tujuan penggunaan *Eco enzyme* juga perlu dipertimbangkan dalam menentukan durasi fermentasi yang optimal. Misalnya, jika *Eco enzyme* akan digunakan untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman, durasi fermentasi yang lebih pendek mungkin lebih diinginkan untuk mempertahankan kandungan nutrisi yang tinggi (Wang et al., 2022). Monitoring dan pengujian secara teratur selama proses fermentasi dapat membantu menentukan durasi yang tepat. Hal ini dapat dilakukan dengan menguji aktivitas enzim, kandungan nutrisi, dan parameter lainnya dalam *Eco enzyme* (Smith et al., 2020). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa durasi fermentasi yang terlalu lama dapat mengurangi kualitas *Eco enzyme*. Misalnya, enzim yang dihasilkan mungkin mengalami denaturasi atau degradasi jika fermentasi berlangsung terlalu lama (Su et al., 2019). Namun, perlu dicatat bahwa durasi fermentasi yang optimal juga dapat bergantung pada kondisi lingkungan, seperti suhu dan kelembaban. Li et al. (2021) menunjukkan bahwa suhu yang lebih tinggi dapat mempercepat proses fermentasi, sehingga durasinya dapat disesuaikan.

Proses fermentasi merupakan metode yang efektif dalam mengubah bahan organik limbah pertanian menjadi produk yang bernilai. Melalui aktivitas mikroorganisme, bahan organik dapat diuraikan dan diubah menjadi senyawa yang lebih sederhana dan berguna (Li et al., 2021). Salah satu contoh produk yang dihasilkan melalui fermentasi limbah pertanian adalah bioetanol. Bioetanol merupakan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil (Johnson et al., 2018). Selain bioetanol, proses fermentasi juga dapat menghasilkan produk lain seperti asam organik, enzim, atau probiotik. Produk-produk ini memiliki nilai ekonomi yang tinggi dan dapat digunakan dalam industri pangan, farmasi, dan nutrasetikal (Su et al., 2019). Selama proses fermentasi, mikroorganisme menghasilkan enzim yang dapat membantu memecah komponen kompleks dalam limbah pertanian menjadi bentuk yang lebih sederhana dan mudah dicerna. Hal ini memungkinkan penyerapan nutrisi yang lebih baik oleh tanaman atau hewan yang menggunakan produk fermentasi ini sebagai pakan (Smith et al., 2020). Fermentasi juga berperan dalam menghilangkan zat-zat berbahaya atau toksin yang mungkin terkandung dalam limbah pertanian. Mikroorganisme yang aktif selama fermentasi dapat membantu memecah dan menguraikan senyawa-senyawa beracun, sehingga mengurangi potensi pencemaran lingkungan (Johnson et al., 2018).

Implementasi proses fermentasi dalam pengolahan limbah pertanian dapat membantu meningkatkan efisiensi sumber daya. Dengan mengubah limbah menjadi produk bernilai, sumber daya yang sebelumnya terbuang dapat dimanfaatkan kembali, sehingga mengurangi ketergantungan pada sumber daya baru (Su et al., 2019). Proses fermentasi merupakan solusi yang efektif dalam mengubah limbah pertanian menjadi produk bernilai. Selain membantu mengurangi potensi pencemaran lingkungan, fermentasi juga menghasilkan produk yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai industri, sehingga mendukung pertanian berkelanjutan dan pemanfaatan sumber daya secara efisien. *Eco enzyme* merupakan alternatif pupuk pertanian organik yang dihasilkan melalui proses fermentasi bahan organik. Penggunaan *Eco enzyme* dapat mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia yang umumnya mengandung bahan-bahan sintetik berpotensi merusak lingkungan dan kesehatan manusia (Li et al., 2021). Penggunaan pupuk kimia dalam pertanian konvensional telah diketahui memiliki dampak negatif terhadap lingkungan, seperti pencemaran air tanah dan sungai, serta degradasi kualitas tanah. *Eco enzyme* dapat menjadi solusi yang ramah lingkungan dengan mengurangi penggunaan pupuk kimia dan menggantikannya dengan pupuk organik yang lebih aman (Smith et al., 2020). *Eco enzyme* mengandung berbagai nutrisi penting seperti nitrogen, fosfor, dan kalium yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman. Kandungan nutrisi ini berasal dari bahan organik yang difermentasi menjadi *Eco enzyme*, sehingga mampu memberikan dukungan nutrisi yang seimbang untuk tanaman (Johnson et al., 2018). Selain nutrisi, *Eco enzyme* juga mengandung senyawa organik seperti asam amino, vitamin, dan enzim, yang memiliki peran penting dalam meningkatkan kesehatan tanah dan aktivitas biologis di dalamnya. Hal ini dapat membantu memperbaiki struktur tanah, meningkatkan retensi air, dan meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman (Su et al., 2019).

Penggunaan *Eco enzyme* dalam pertanian organik juga dapat memperbaiki kualitas mikrobiologi tanah. Mikroorganisme yang terkandung dalam *Eco enzyme* dapat membantu menghambat pertumbuhan patogen tanah dan meningkatkan aktivitas

mikroba yang menguntungkan bagi tanaman (Wang et al., 2022). Dengan menggunakan *Eco enzyme* sebagai pupuk organik, pertanian dapat menjadi lebih berkelanjutan karena tidak menyebabkan penumpukan residu kimia dalam tanah dan lingkungan sekitarnya. Hal ini juga berkontribusi pada keberlanjutan sistem pertanian secara keseluruhan (Li et al., 2021). *Eco enzyme* juga bisa sebagai pupuk organik yang juga berpotensi untuk meningkatkan kualitas hasil panen. Nutrisi dan senyawa organik yang terkandung dalam *Eco enzyme* dapat memperbaiki kualitas buah, sayuran, dan tanaman lainnya, sehingga meningkatkan nilai jual dan daya tarik pasar (Smith et al., 2020). Penggunaan enzyme ekologi tidak hanya menguntungkan lingkungan, tetapi juga menguntungkan kesehatan manusia. Mengurangi penggunaan pupuk kimia dapat mengurangi risiko paparan konsumen dan petani terhadap bahan kimia berbahaya (Johnson et al., 2018). Penggunaan enzyme ekologi dalam pertanian organik dapat memperkuat hubungan antara pertanian dan lingkungan. Dengan menggunakan pupuk organik yang dibuat melalui proses fermentasi bahan organik lokal, jejak karbon dan efek perubahan iklim dapat dikurangi (Su et al., 2019). Penelitian dan pengembangan terus-menerus di bidang *eco enzyme* sangat penting. Penelitian tambahan dapat membantu mengembangkan teknik pembuatan *eco enzyme* yang lebih efisien dan efektif serta meningkatkan pemahaman kita tentang manfaatnya untuk pertanian berkelanjutan (Wang et al., 2022). Dukungan pemerintah dan lembaga terkait sangat penting dalam mendorong pemanfaatan limbah organik dalam pengembangan *Eco enzyme*. Dukungan kebijakan, seperti insentif fiskal atau bantuan teknis, dapat mendorong pelaku industri dan petani untuk mengembangkan *Eco enzyme* dari limbah organik (Kumar et al., 2021).

Eco Enzyme Untuk Pertumbuhan

Eco enzyme telah menjadi pilihan populer dalam pertanian organik untuk meningkatkan pertumbuhan dan hasil panen tanaman, termasuk tanaman padi. *Eco enzyme* adalah larutan yang dihasilkan melalui proses fermentasi bahan organik seperti buah-buahan, sayuran, dan limbah pertanian. Komposisi penggunaan *Eco enzyme* untuk tanaman padi dapat bervariasi tergantung pada fase pertumbuhan tanaman, seperti masa vegetatif dan masa generatif. Dalam fase vegetatif, tanaman padi membutuhkan nutrisi yang cukup untuk mempercepat pertumbuhan vegetatif dan pembentukan daun. Pada masa ini, penggunaan *Eco enzyme* dengan komposisi tertentu dapat memberikan stimulus pertumbuhan yang baik. Sebagai contoh, Hasanah et al. (2020) menggunakan *Eco enzyme* dengan komposisi gula merah, kulit buah, dan air dalam perbandingan 1:3:10 pada tanaman padi di fase vegetatif. Hasilnya menunjukkan peningkatan pertumbuhan vegetatif, tinggi tanaman yang lebih baik, serta daun yang lebih hijau dan sehat. Selain itu, penggunaan *Eco enzyme* pada masa generatif tanaman padi juga dapat memberikan manfaat yang signifikan. Pada fase ini, tanaman padi membutuhkan nutrisi yang tepat untuk membentuk bunga dan biji. Komposisi penggunaan *Eco enzyme* dapat disesuaikan dengan kebutuhan tanaman. Hasilnya menunjukkan peningkatan jumlah bunga, pembentukan bulir padi yang lebih baik, dan hasil panen yang lebih tinggi.



Gambar 2. Pemberian *Eco Enzyme* Pada Tanaman Padi

Penerapan *Eco enzyme* pada tanaman padi juga dapat memberikan efek positif terhadap sifat fisik dan kimia tanah. Misalnya, Rahayu et al. (2021) menggunakan *Eco enzyme* pada tanah yang ditanami padi. Hasil menunjukkan peningkatan kualitas tanah, termasuk peningkatan kadar bahan organik, ketersediaan unsur hara, dan struktur tanah yang lebih baik. Dalam penggunaan *Eco enzyme* untuk pertumbuhan tanaman padi, perlu diperhatikan proporsi komposisi yang tepat.

KESIMPULAN DAN SARAN

Eco enzyme adalah solusi inovatif dalam pertanian berkelanjutan yang mengubah limbah organik menjadi produk bernilai. Proses fermentasi melibatkan mikroorganisme yang menghasilkan enzim bermanfaat. Faktor lingkungan seperti suhu dan kelembaban penting dalam fermentasi. Durasi fermentasi dan jenis bahan organik mempengaruhi kualitas *Eco enzyme*. Penggunaan *Eco enzyme* mengurangi pencemaran lingkungan dan ketergantungan pada pupuk kimia. Pemanfaatan limbah organik menciptakan siklus ekonomi yang berkelanjutan.

Evaluasi komposisi *Eco enzyme*, kajian lingkungan fermentasi, dampak pada kualitas tanah, efisiensi produksi, studi ekonomi, dan kerja sama antarlembaga.ini akan menjadi rekomendasi terhadap pengambil kebijakan dalam hal pemanfaatan *eco enzyme* dalam pertanian ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

Adams, M. 2021. Environmental benefits and sustainability implications of *Eco enzyme* in agriculture. *Sustainability*, 10(3): 1070-1082.

Bintang, R. A., & Suryana, Y. 2022. Metode pengabdian masyarakat dalam pengembangan pertanian berkelanjutan. *Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 10(2): 87-100.

Brown, A., & Jones, B. 2022. Eco enzyme: an innovative approach to organic farming. *Agricultural Innovation Review*, 17(3): 112-125.

Chen, J., Guo, X., Liu, Y., & Chen, W. 2020. Sustainable development of agriculture through the utilization of organic waste. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4(7).

Chen, Y., Hu, C., & Chen, L. 2019. Effects of eco-enzyme on growth and yield of rice. *Agricultural Engineering*, 3: 60-66.

Choudhary, A. K., Jha, P., & Sreekrishnan, T. R. 2020. Role of organic waste in sustainable agriculture. *Environmental Technology & Innovation*, 19: 100925.

Davis, E., & Brown, C. 2023. Optimizing plant growth and productivity through *eco enzyme* application. *Plant Science Today*, 25(4): 211-225.

Deperiky, D., & Santosa, R. A. H. 2019. Sinergi supply chain yang efektif: literature review agroindustri bawang merah di Sumatera Barat. *Journal of Agroindustrial Technology*, 29(2): DOI: 10.24961/j.tek.ind.pert.2019.29.2.124

Deperiky, D., & Hadiguna, R. A. 2020. Supply chain management agroindustry: sebuah literature review. *I N V E N T O R Y Industrial Vocational E-Journal on Agroindustry*, 1: 1–7.

El-Naggar, A. H., et al. 2021. Eco-enzyme fertilizers: an innovative approach towards sustainable agriculture. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(1): 101-115.

Chen, C.-H., Lin, K.-H., Chang, Y.-S., & Chang, Y.-J. 2023. Application of water-saving irrigation and biostimulants on the agronomic performance of maize (Zea mays). *Process Safety and Environmental Protection*, *177*: 1377–1386. https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.08.008.

Gao, X. 2022. Eco-enzyme fertilizer production from organic waste: process optimization and evaluation. *Journal of Cleaner Production*, 300: 126958.

Gong, C., Xu, H., & Liu, H. 2018. Utilization of organic wastes for eco-enzyme production: a review. *Waste Management*, 76: 248-258.

Greenfield, R., & Lee, S. 2023. Assessing the environmental benefits of *eco enzyme* in agriculture. *Environmental Science Journal*, 28(4): 215-230.

Hapsari, R. F., & Dewi, S. P. 2019. *Eco enzyme* sebagai alternatif pupuk pertanian organik ramah lingkungan. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 20(1): 34-42.

Hasanah, U., Purnomo, D., & Widyanto, H. 2020. The effect of *eco enzyme* and organic fertilizer on growth of rice (oryza sativa l.). *Journal of Physics: Conference Series*, 1477(1): 012025.

Huang, M., Zhao, X., Cai, X., & Li, X. 2020. Effects of eco-enzyme on yield, quality and nitrogen uptake of rice under different nitrogen application levels. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 28(5): 597-604.

Huang, Y. 2021. Sustainable development of *eco enzyme* fertilizer from organic waste. *Environmental Science And Pollution Research*, 28(12): 15567-15579.

Jaiswal, R., Kumar, R., & Singh, A. 2019. Effect of eco-enzyme on growth, yield, and grain quality of basmati rice (oryza sativa l.) in temperate region of india. Indian *Journal of Agricultural Sciences*, 89(5): 860-863.

Johnson, A., & Smith, J. 2022. Enhancing nutrient absorption in plants using *eco enzyme*. *Journal of Sustainable Agriculture*, 18(3): 102-117.

Johnson, C., Garcia, M., & Lee, S. 2018. Fermentation as a sustainable method for improving plant growth. *Sustainable Agriculture Research*, 5(2): 26-35.

Kumar, R., Rajput, V. D., & Prasad, R. 2021. Biovalorization of organic waste: sustainable approaches for eco-enzyme production. *Science of the Total Environment*, 764: 142802.

Kumar, R., Sharma, D., & Singh, A. 2021. Influence of eco-enzyme application on growth, yield, and grain quality of basmati rice (oryza sativa l.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 10(3): 708-712.

Li, J. 2021. An integrated approach to the optimization of eco-enzyme production using agricultural waste. *Frontiers in Microbiology*, 12: 708947.

Li, S., Wang, J., & Tian, Y. 2020. Effects of eco-enzyme on soil properties and rice growth in cold waterlogged paddy fields. *Paddy and Water Environment*, 18(3): 531-541.

Li, X. 2019. Economic and environmental benefits of using eco-enzyme in vegetable production in china. *Ecological Economics*, 156: 272-280.

Li, X., Wang, Y., Chen, W., & Zhang, Q. 2021. The application of fermentation in converting agricultural waste into valuable products. *Journal of Sustainable Agriculture*, 35(2): 123-136.

Malhotra, R., Singh, K., Singh, J., & Sharma, S. 2020. Impact of eco-enzyme on growth, yield and nutrient uptake of rice (oryza sativa l.) under different levels of chemical fertilizers. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(2): 1812-1815.

Ministry of Agriculture and Rural Development. 2020. *Guidelines for the application of eco enzyme as an organic fertilizer*.

Ministry of Agriculture. 2021. Panduan *pengembangan eco enzyme sebagai alternatif pupuk pertanian organik*.

National Institute of Sustainable Agriculture. 2019. *Eco enzyme: a sustainable solution for agriculture*.

Nugraha, I. S. S., Putri, W. P., & Wijayanto, N. 2020. The effect of eco-enzyme on the growth of rice plant (oryza sativa l.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 441(1): 012085

Ahmad, R., Baharuddin, A. S., & Abdul Rahim, K. 2020. The effects of eco-enzyme on growth and yield performance of rice (oryza sativa l.) in different irrigation regimes. *Applied Ecology and Environmental Sciences*, 8(1): 12-19.

Park, J. H., & Park, J. H. (2020). Effect of eco-enzyme application on growth, yield, and quality of rice. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 39(3): 218-226.

Prabawati, R., Setyawati, H., & Purnamaningsih, R. W. 2019. Application of *eco enzyme* on growth and production of rice (oryza sativa l.) in the reproductive stage. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 6(4): 1747-1754.

Puspita, R. W., & Kurniawan, A. 2021. Pendekatan partisipatif dalam pengabdian masyarakat untuk peningkatan pertanian berkelanjutan. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 8(1): 15-28.

Rahayu, E. S., Hartatik, W., & Sari, R. N. 2020. *Eco enzyme* production from various agricultural wastes for sustainable agriculture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 423(1): 012026.

Rahayu, R., Astuti, W., & Sulistyono, N. 2021. The influence of eco-enzyme and chicken manure on the growth of paddy plants (oryza sativa l.) in sandy soils. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 679(1): 012019.

Roberts, S. 2020. *Eco enzyme* and soil health: a comprehensive review. *Environmental Management*, 40(2): 180-195.

Shah, M., Bashir, M., Bashir, A., & Khalid, A. 2021. Eco-enzyme improves the growth and yield of rice (oryza sativa l.). *Science International (Lahore)*, 33(3): 389-392.

Smith, J. 2021. The role of sustainable agriculture in food security. *Journal of Sustainable Development*, 9(2): 45-58.

Smith, J., & Johnson, M. 2023. Sustainable farming methods: a comprehensive guide. *Agricultural Research Journal*, 36(2): 78-93.

Smith, J., Johnson, R., & Brown, A. 2020. Microbial fermentation in organic farming: benefits and challenges. *Organic Farming Review*, 15(1): 45-58.

Su, H., Zhang, L., & Chen, G. 2019. Enhancing sustainable agriculture through the use of eco-enzymes: a review. *Agriculture and Environment*, 155(3): 217-230.

Su, Y. 2019. Promotion strategies for eco-enzyme application in chinese agriculture: an analysis based on swot-ahp model. *Science of The Total Environment*, 657: 1070-1082.

Sudarmadji, S., Hadiyat, M. A., & Kresnowati, M. T. A. P. 2017. Pengembangan *eco enzyme* sebagai inovasi teknologi pertanian berkelanjutan. *Jurnal Pertanian Terpadu*, 2(1): 23-32.

Suharjo, R., Nugroho, D. A., & Pramono, A. 2021. *Eco enzyme*: the potential of agricultural waste for sustainable agriculture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 628(1): 012025.

Suwarti, S., & Kristina, N. 2018. Pemanfaatan *eco enzyme* sebagai pupuk organik cair dalam mendukung pertanian berkelanjutan. *Jurnal Pertanian Agroindustri*, 6(2): 61-70.

Tan, K. G. 2022. Sustainable Agriculture and Environmental Management: A Review on Eco-Enzyme Application. *In Sustainable Agriculture and Environmental Management* (pp. 123-145). Springer, Singapore.

Thompson, L. 2019. Reducing chemical fertilizer dependency with *eco enzyme* in sustainable agriculture. *Ecological Economics*, 52(3): 273-280.

Wang, C. 2023. Fermentation process optimization for eco-enzyme production from organic waste. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(6): 1825-1835.

Wang, J., Liu, X., Wang, Q., & Zhou, X. 2019. Eco-enzyme production from organic waste: an efficient approach for sustainable agriculture. *Journal of Cleaner Production*, 225: 905-914.

Wang, S., Li, M., & Wu, Q. 2022. The role of fermentation in transforming agricultural waste into valuable products. *Journal of Agricultural Science*, 45(4): 567-580.

Wang, Y. 2020. Effects of eco-enzyme on water utilization and drought resistance of cotton under deficit irrigation. *Irrigation Science*, 38(4): 367-378.

Wilson, R., & Lee, M. 2021. Improving soil quality and water retention with *eco enzyme*. *Soil Science and Plant Nutrition*, 35(2): 86-98.

Yu, X. 2020. The social and economic effects of using eco-enzyme in vegetable production. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(9): 2241-2251.