



JURNAL ILMU-ILMU PERTANIAN
POLITEKNIK PEMBANGUNAN PERTANIAN
YOGYAKARTA-MAGELANG
P-ISSN: 1858-1226; E-ISSN: 2723-4010



***Eco enzyme* sebagai Solusi Inovatif dalam Pengelolaan Pascapanen Hortikultura: Tinjauan Agribisnis dan Teknologi**

Ayu Rahayu Saraswati ^{1*}, Jatmiko Eko Witoyo ¹

¹ Program Studi Teknologi Pertanian, Institut Teknologi Sumatera, Bandar Lampung, Indonesia

*) Corresponding Author: ayu.saraswati@tip.itera.ac.id

Article Info

Article History:

Received: November, 27th, 2024

Accepted: December, 12th, 2024

Published: December, 30th, 2024

Kata Kunci:

Eco enzyme

Pengawet alami

Pengawet pasca-panen

Antimikroba

Keywords:

Eco enzyme

Natural preservatives

Post-harvest preservatives

Antimicrobial

ABSTRAK

Eco enzyme adalah larutan fermentasi organik yang dihasilkan dari limbah organik rumah tangga, seperti kulit buah. Mikroorganisme di bahan organik tersebut kemudian ditambahkan gula, dan air agar berkembang. Proses fermentasi yang terjadi menghasilkan banyak asam organik, enzim aktif, flavonoid, dan polifenol hal ini membuat *eco enzyme* menjadi solusi inovatif untuk pengelolaan pascapanen hortikultura. Artikel ini mengulas potensi *eco enzyme* dalam memperpanjang umur simpan, mempertahankan kualitas, serta meningkatkan keberlanjutan sektor hortikultura dari segi pengolahan limbah pasca panen. Metode yang digunakan adalah pencarian literatur terkait pada rentang waktu 2015–2024, untuk menekankan efektifitas *eco enzyme* dalam mengurangi kerusakan akibat pembusukan dan mendukung agribisnis berkelanjutan. Namun, tantangan seperti variasi efisiensi dan standarisasi produksi masih memerlukan penelitian lebih lanjut. Review ini dapat memberikan wawasan tentang bagaimana *eco enzyme* dapat digunakan sebagai inovasi dalam pengelolaan produk pascapanen hortikultura. Dengan demikian, teknologi ini dapat dikembangkan lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan limbah pertanian dan hortikultura secara berkelanjutan.

ABSTRACT

Eco enzyme is an organic fermentation solution derived from household organic waste, such as fruit peels. The microorganisms present in the organic material are provided with sugar and water as nutrients to facilitate their growth. This fermentation process produces various organic acids, active enzymes, flavonoids, and polyphenols, making *eco enzyme* an innovative solution for postharvest horticultural management. This article explores the potential of *eco enzyme* to extend shelf life, maintain quality, and enhance sustainability in the horticulture sector. Based on recent literature (2015–2024), *eco enzyme* has been shown to effectively reduce spoilage and support sustainable agribusiness practices. However, challenges such as variability in efficiency and the lack of standardized production methods remain, necessitating further research. This article offers insights into the utilization of *eco enzyme* s as an innovative tool for post-harvest management of horticultural produce. This technology enables further development to enhance the efficiency of agricultural and horticultural waste management in a sustainable manner.

PENDAHULUAN

Sektor hortikultura memegang peranan strategis dalam mendukung ketahanan pangan dan perekonomian global. Namun, kerugian pasca panen akibat pembusukan buah dan sayuran hasil hortikultura menjadi tantangan utama, terutama di negara berkembang. Persentase kerugian ini diperkirakan mencapai 30–40% dari total produksi tahunan, yang sebagian besar disebabkan oleh kurangnya infrastruktur pasca panen meliputi penyimpanan, metode pengelolaan yang tidak efisien, dan akses terbatas terhadap teknologi yang

terjangkau (Kumar & Kalita, 2017). Masalah ini diperburuk oleh meningkatnya permintaan pasar untuk produk hortikultura berkualitas tinggi, dan sering kali sulit dipenuhi karena pembusukan yang cepat setelah panen.

Metode konvensional yang digunakan untuk memperpanjang umur simpan hasil hortikultura diantaranya dengan pendinginan, penyimpanan dalam atmosfer terkendali, dan penggunaan pengawet berbasis bahan kimia. Meskipun efektif, metode ini memiliki sejumlah kelemahan, seperti biaya operasional yang tinggi, kebutuhan akan infrastruktur khusus, dan risiko residu kimia berbahaya pada produk akhir (Sharma et al., 2020). Sedangkan dalam konteks keberlanjutan pengelolaan produk pasca panen dan keamanan pangan, perlu adanya alternatif yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis untuk pengelolaan pascapanen hortikultura.

Eco enzyme muncul sebagai solusi inovatif dengan pendekatan yang mendukung keberlanjutan pengelolaan tanaman hortikultura dan pangan. Larutan fermentasi ini dihasilkan dari limbah organik, seperti kulit buah, gula, dan air, melalui proses fermentasi sederhana selama sekitar 90 hari. Proses ini menghasilkan cairan yang kaya akan asam organik (seperti asam asetat dan asam sitrat), enzim aktif, flavonoid, dan polifenol, yang semuanya berperan penting dalam mengurangi kerusakan pascapanen (Cerde et al., 2019). Selain berfungsi sebagai agen antimikroba, *eco enzyme* juga mendukung prinsip ekonomi sirkular dengan mengubah limbah organik menjadi produk bernilai tambah.

Namun, penerapan *eco enzyme* masih menghadapi sejumlah tantangan. Efektivitasnya sering kali bervariasi tergantung pada jenis limbah yang digunakan, metode fermentasi, dan jenis hasil hortikultura yang diaplikasikan. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk standarisasi proses produksi *eco enzyme* guna memastikan konsistensi kualitas dan efisiensi (Kumar & Kalita, 2017). Selain itu, produksi skala besar membutuhkan pengembangan teknologi fermentasi yang lebih efisien dan hemat biaya untuk memungkinkan adopsi luas di sektor agribisnis.

Sedangkan didalam agribisnis modern, penggunaan *eco enzyme* tidak hanya mendukung keberlanjutan, tetapi juga memberikan peluang untuk meningkatkan nilai ekonomi produk hortikultura melalui pengurangan kerugian pascapanen. Upaya edukasi dan promosi teknologi ini kepada petani dan pelaku bisnis hortikultura juga diperlukan untuk memperluas penerimaan dan implementasinya di berbagai wilayah (Sharma et al., 2020). Dengan pengembangan lebih lanjut, *eco enzyme* memiliki potensi besar untuk menjadi salah satu teknologi utama dalam pengelolaan pascapanen yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Artikel ini diharapkan dapat memberikan wawasan terkait dengan aplikasi *eco enzyme* secara inovatif dalam pengelolaan hasil pasca panen hortikultura. Serta bagaimana teknologi *eco enzyme* mampu digunakan untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan limbah pertanian dan hortikultura.

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. PENGERTIAN DAN KOMPOSISI *ECO ENZYME*

Eco enzyme berasal dari kata ekologi dan enzim, dengan maksud memberikan pengertian bahwa enzim yang dihasilkan berasal dari lingkungan atau organik. *Eco enzyme* banyak dibuat dari limbah kulit buah-buahan yang diberikan gula dan air sebagai media tumbuh agar terjadi proses fermentasi secara anaerob (Koosbandiah Surtikanti et al., 2021). Selama proses fermentasi ini mikroba bekerja merubah bahan organik menjadi komponen bioaktif yang bermanfaat untuk diaplikasikan salah satunya adalah sebagai pengawetan pasca panen produk pertanian hortikultura. Penambahan gula dalam produksi *eco enzyme* memicu proses fermentasi yang menghasilkan asam piruvat. Ketika kondisi anaerob, piruvat dekarboksilasi menguraikan asam piruvat menjadi asetaldehida, yang kemudian diubah oleh alkohol menjadi asetaldehida dan air. Selanjutnya, kelebihan asetaldehida dikonversi menjadi asam asetat, yang sangat mempengaruhi kualitas *eco enzyme* karena sifat keasamannya yang tidak disukai mikroba. Beberapa penelitian terkait dengan komposisi *eco enzyme* yang dihasilkan berdasarkan substrat yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1. Komposisi *eco enzyme* dari berbagai macam substrat.

Tabel 1. Komposisi *eco enzyme* dari substrat yang berbeda

No.	Substrat	Komposisi <i>eco enzyme</i> yang dihasilkan	Sumber
1	Nanas, Pisang, Jeruk	Asam laktat 2.73% Asam sitrat 3.38% Asam laktat 4.88%	(Ismail, Nainggolan, Aminudin, et al., 2024)
2	Limbah sayuran Limbah buah-buahan	Asam Asetat 5,20% Asam laktat 4.44%	(Ismail, Nainggolan, & Nauli, 2024)
3	Sawi hijau + jeruk	Aktifitas enzim amilase: 0.38 L/gr	(Indraloka et al., 2023)
4	Kulit pisang + melon + semangka + jeruk + nanas	Komposisi makro dan mikro nutrien yang cukup besar (NPK = 084%; 0.20%; 0.27%)	(Siregar et al., 2024)
5	Limbah tempe dan kulit lemon	Kandungan phenol 0.175 mg/L	(Cundari et al., 2024)

6	Kulit buah rambutan, bonggol jagung dan kulit chayote	Mengandung asam palmitat dalam perbandingan yang tinggi hingga 19.62%	(Made Rai Rahayu et al., 2021)
7	Campuran limbah kulit jeruk, nanas, limbah tomat, kentang dan limbah beberapa jenis bunga	Teridentifikasi enzim amilase, lipase dan protease secara kualitatif	(R. Kanchana* et al., 2023)

Proses fermentasi untuk menghasilkan *eco enzyme* bervariasi bergantung pada bahan baku dan tujuan aplikasi *eco enzyme*. Penelitian Made Rai Rahayu et al., (2021) menunjukkan bahwa produksi *eco enzyme* sebagai desinfektan dengan kandungan alkohol 60-70% dan pH produk 4, hanya memerlukan waktu fermentasi selama 10 hari. Asam organik, seperti asam asetat dan asam sitrat, yang dihasilkan dalam *eco enzyme*, menciptakan lingkungan asam dengan pH rendah. Kondisi ini tidak mendukung pertumbuhan mikroorganisme patogen seperti *Escherichia coli* dan *Salmonella sp.*, sehingga memperlambat pembusukan produk hortikultura pascapanen. Penelitian Lestari (2023) melaporkan bahwa larutan *eco enzyme* mampu mengurangi kontaminasi mikroba hingga 80%, terutama pada buah-buahan seperti stroberi dan jeruk. Selain itu, asam-asam ini juga efektif dalam menekan risiko jamur yang sering menyebabkan kerusakan pascapanen.

Selain menghasilkan asam organik, proses fermentasi yang terjadi juga menghasilkan enzim-enzim tertentu mengikuti substrat yang tersedia. Pada penelitian R. Kanchana* et al., (2023) *eco enzyme* yang dibuat dari substrat campuran limbah kulit jeruk, nanas, sisa tomat dan kentang, serta campuran beberapa jenis bunga menghasilkan *eco enzyme* yang secara kualitatif mengandung enzim amilase, lipase dan protease. Enzim tersebut berpotensi untuk dapat dimurnikan dari produk untuk kemudian dimanfaatkan dalam aplikasi lainnya. Aktivitas biokatalitik enzim seperti protease, amilase, dan lipase yang dipengaruhi oleh pH optimal sangat penting dalam proses dekomposisi bahan organik. Dalam larutan *eco enzyme*, keberadaan enzim-enzim ini membantu memecah protein, karbohidrat, dan lipid, yang merupakan komponen utama limbah organik. Namun, seperti yang ditunjukkan dalam penelitian Olgalizia et al., (2020), kondisi pH asam dapat mengurangi aktivitas biokatalitik enzim karena gangguan pada ikatan hidrogen dan ionik yang memengaruhi struktur dan situs aktif enzim.

Ketika pH larutan mendekati kondisi optimal, seperti pH 6,5, aktivitas protease, amilase, dan lipase meningkat, sehingga mempercepat proses dekomposisi dengan efisiensi yang lebih tinggi. Dengan demikian, menjaga kondisi pH yang sesuai dalam larutan *eco enzyme* tidak hanya mendukung aktivitas enzim tetapi juga mempercepat penguraian senyawa kompleks seperti protein, karbohidrat, dan lipid menjadi senyawa sederhana yang lebih mudah terurai. Kombinasi ini menjadikan *eco enzyme* alat yang efektif untuk pengelolaan limbah organik secara ramah lingkungan.

Eco enzyme juga kaya akan kandungan flavonoid dan polifenol yang berperan dalam memberikan efek antioksidan yang signifikan. Senyawa golongan ini membantu dalam pencegahan oksidasi lipid dan melindungi zat gizi nutrisi, seperti vitamin C, dari degradasi selama penyimpanan. Penelitian Benny et al., (2023) mencatat bahwa *eco enzyme* dari substrat kulit jeruk menghasilkan nilai antioksidan tinggi yang berasal dari senyawa polifenol yang memiliki sifat antibakteri. Senyawa antioksidan ini kemudian mampu membantu menjaga warna dan tekstur buah, sehingga meningkatkan daya tarik pasar dan kepuasan konsumen. Dengan kemampuan antimikroba, antioksidan, dan sifat pengawet lainnya, *eco enzyme* menjadi alternatif yang berkelanjutan dalam pengelolaan pascapanen hasil hortikultura. Teknologi ini tidak hanya meningkatkan keamanan pangan tetapi juga menjaga kualitas produk selama penyimpanan.

3.2. APLIKASI *ECO ENZYME* TERHADAP PRODUK PASCA PANEN HORTIKULTURA

Dalam bidang pertanian, *eco enzyme* telah terbukti sebagai teknologi inovatif yang efektif untuk memperpanjang umur simpan berbagai produk hortikultura. Hasil penelitian yang melakukan aplikasi *eco enzyme* sebagai bahan pengawet dapat dilihat pada Tabel 2. Produk yang diujikan merupakan produk hortikultura dengan sifat khas yaitu memiliki penurunan kualitas fisik dan fisiologis pasca panen. Penurunan kualitas ini disebabkan karena pada produk hortikultura proses respirasi yang menghasilkan gas etilen masih terjadi setelah panen. Sehingga dibutuhkan sebuah penanganan pasca panen yang mampu mempertahankan kualitas produk hingga ke tangan konsumen.

Tabel 2. Penelitian terkait aplikasi *eco enzyme* sebagai pengawet pada pasca panen produk hortikultura

No	Referensi	Komoditas yang diawetkan	Hasil pengawetan
1	(Yuliana, 2024)	Tomat	Konsentrasi 100% <i>Eco-enzyme</i> yang diaplikasikan dapat mencegah proses pembusukan buah yang disebabkan oleh kerusakan mekanis,

		memperlambatnya, dan memperpanjang masa simpan tomat.
2	(Hamidah & Tomat Hafsah, 2023)	Konsentrasi 100% <i>eco enzyme</i> mampu menunda kemunculan jamur lebih lama 3 hari
3	(Astuti et al., Tomat 2022)	Pada konsentrasi <i>eco enzyme</i> 100% dari substrat dengan gula aren mampu memperpanjang kesegaran tomat pasca panen hingga 1 minggu
4	(Pravitasari et Tomat dan anggur al., 2022)	Pada konsentrasi penggunaan <i>eco enzyme</i> 100% mempertahankan kualitas tomat dan anggur selama 4 hari pada suhu ruang

Penggunaan *eco enzyme* sebagai pengawet juga didukung dengan sifat biodegradable yang dimilikinya, *eco enzyme* yang digunakan juga terbukti tidak meninggalkan residu kimia berbahaya sehingga produk aman digunakan sebagai bahan pangan (Yulistiar & Manggalou, 2023). Selain manfaatnya pada produk, penggunaan *eco enzyme* juga mendukung prinsip ekonomi sirkular dengan memanfaatkan limbah organik sebagai bahan baku utama. Studi oleh Artés-Hernández et al., (2024) menunjukkan bahwa penerapan *eco enzyme* dalam pengelolaan limbah rumah tangga dapat mengurangi jumlah limbah organik yang berakhir di tempat pembuangan akhir.

Adanya sifat antimikroba, kemampuan menjaga kualitas produk, dan keberlanjutan yang ditawarkan, *eco enzyme* menjadi solusi ideal untuk pengelolaan pascapanen hortikultura, terutama di negara berkembang di mana teknologi pengawetan modern mungkin sulit diakses. Potensi *eco enzyme* untuk diadopsi dalam skala besar semakin meningkat dengan dukungan penelitian lebih lanjut terkait optimasi formulasi dan penerapannya dalam agribisnis.

3.3. MEKANISME KERJA *ECO ENZYME* SEBAGAI PENGAWET PRODUK HORTIKULTURA

Eco enzyme bekerja melalui kombinasi mekanisme biologis dan kimiawi yang efektif dalam mengurangi pembusukan pascapanen, memperpanjang umur simpan, serta menjaga kualitas nutrisi dan sensorik produk hortikultura. Mekanisme ini melibatkan aktivitas antimikroba, senyawa bioaktif yang bersifat antioksidan, dan proses enzimatis, yang saling mendukung dalam menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen dan mencegah kerusakan fisiologis produk.

3.3.1. Aktivitas Anti Mikroba

Komponen utama *eco enzyme*, seperti asam asetat dan asam sitrat, menciptakan lingkungan dengan pH rendah yang tidak mendukung pertumbuhan mikroorganisme patogen. Asam-asam ini bekerja dengan cara merusak membran sel mikroorganisme, mengganggu metabolisme internal, dan akhirnya menyebabkan kematian sel (Permatananda et al., 2023). Selain itu, kandungan senyawa bioaktif dalam *eco enzyme*, seperti flavonoid dan polifenol, juga berperan sebagai agen antimikroba alami. Senyawa ini bekerja dengan cara menghambat sintesis protein dan enzim mikroorganisme, yang penting untuk kelangsungan hidup mereka (Mandal & Domb, 2024). Penelitian lain oleh Gomes et al., (2015) menyebutkan polifenol juga memiliki efek toksik pada jamur yang tumbuh pada produk pasca panen hortikultura. Senyawa saponin dalam *eco enzyme* membantu merusak protein pembentuk membran sel bakteri dan menurunkan permeabilitasnya sehingga terjadi proses lisis pada mikroba (Mahyuni, 2018). Tinjauan pustaka yang dilakukan oleh Sunarsih et al., (2024) menyatakan bahwa substrat bahan baku berpengaruh besar terhadap aktivitas antimikroba yang dimiliki oleh *eco enzyme* yang dihasilkan. Penggunaan substrat limbah kulit nenas, jeruk, pisang dan tomat menghasilkan aktivitas antimikroba yang baik saat digunakan sebagai substrat tunggal, maupun campuran. Hal sebaliknya ditunjukkan oleh penggunaan substrat limbah daun kayu putih (Sunarsih et al., 2024).

3.3.2. Aktifitas Antioksidan

Eco enzyme memiliki kemampuan antioksidan yang signifikan karena kandungan flavonoid, polifenol, dan senyawa fenolik lainnya. Senyawa ini membantu menghambat oksidasi lipid, yang merupakan salah satu penyebab utama perubahan warna dan tekstur pada buah dan sayuran selama penyimpanan (Ghosh et al. 2019). Aktivitas antioksidan ini membantu menjaga integritas struktur dinding sel, mencegah kerusakan lebih lanjut akibat stres oksidatif. Mekanisme antioksidan dari senyawa polifenol adalah memberikan elektronnya untuk menetralkan elektron radikal bebas yang terbentuk pada produk dengan tingkat oksidatif yang tinggi.

Mekanisme antioksidan dari senyawaan fenolik menurut penelitian Cruz-Valenzuela et al. (2022) terkait dengan jumlah dan posisi gugus hidroksil yang ada. Asam fenolat dan flavonoid dapat menangkal radikal bebas dengan menyumbangkan atom hidrogen sehingga menetralkan atom radikal. Selain itu, beberapa senyawa fenolik dengan gugus hidroksil berdekatan seperti katekol, dapat mengkelasi logam dan menghambat radikal bebas. Menurut artikel yang ditulis Petcu et al. (2023) sumber alami antioksidan tidak hanya memberikan manfaat dalam melindungi dari kerusakan oksidatif, tetapi juga memiliki berbagai karakteristik tambahan yang

meningkatkan pengawetan dan kualitas makanan. Selain memperpanjang masa simpan, sumber ini sering kali memiliki sifat antibakteri, sehingga meningkatkan langkah-langkah keamanan. Integrasi sifat antibakteri yang ditemukan dalam sumber alami antioksidan ke dalam formulasi makanan menghadirkan potensi signifikan untuk mentransformasi metode keamanan pangan dan meningkatkan standar pengawetan makanan modern.

3.3.3. Aktifitas Enzimatik

Enzim aktif dalam *eco enzyme*, seperti protease, lipase, dan amilase, memiliki peran penting dalam mencegah aktivitas enzimatik yang merusak produk hortikultura. Enzim pektinase menyebabkan pelunakan dan degradasi daging buah dapat dihambat oleh komponen enzimatik dalam *eco enzyme*. Penelitian oleh Zhang et al. (2019) menunjukkan bahwa perlakuan *eco enzyme* pada mangga mampu memperlambat pelembutan daging buah hingga tiga minggu, menjaga tekstur dan rasa alami buah. Enzim dalam *eco enzyme* juga dapat bekerja secara langsung pada mikroorganisme patogen dengan merusak dinding sel mereka, menyebabkan kebocoran isi sel, dan akhirnya menghambat pertumbuhan mereka (Sharma et al., 2020).

Kemampuan *eco enzyme* dalam mengawetkan produk hortikultura tidak hanya bergantung pada satu mekanisme, tetapi juga pada sinergi antara aktivitas antimikroba, antioksidan, dan enzimatisnya. Kombinasi ini menjadikannya alat yang efektif untuk memperpanjang umur simpan, mempertahankan kualitas nutrisi, dan menjaga daya tarik visual produk hortikultura tanpa meninggalkan residu kimia berbahaya (Mishra et al., 2021). Sifat biodegradable dari *eco enzyme* memastikan bahwa aplikasi ini aman untuk konsumen dan lingkungan. Selain itu, penggunaan *eco enzyme* mendukung ekonomi sirkular dengan memanfaatkan limbah dapur sebagai bahan baku utama, sehingga mengurangi limbah organik yang biasanya terbuang (Ganie et al., 2022). Akibat kemampuannya yang serbaguna dan ramah lingkungan, *eco enzyme* menjadi salah satu inovasi paling menjanjikan dalam pengelolaan pascapanen hortikultura, khususnya di negara berkembang dengan keterbatasan akses terhadap teknologi pengawetan konvensional.

3.4. TINJAUAN AGRIBISNIS *ECO ENZYME*

Manfaat yang luas dari penggunaan *eco enzyme* khususnya sebagai pengawet pasca panen produk hortikultura memiliki potensi bisnis yang menjanjikan. Selain itu, pemanfaatan limbah menjadi produk dengan nilai ekonomi yang meningkat, menjadi salah satu praktik pertanian berkelanjutan yang diharapkan banyak pihak. Praktik ini dimaksudkan untuk menjamin keberlangsungan keseimbangan ekologi di daerah sekitarnya. Berdasarkan penelitian Kelana et al., (2024) aspek ekonomi yang dinilai dari praktik pertanian berkelanjutan adalah terciptanya tingkat efisiensi terhadap produk hortikultura dan daya saing produk tumbuh besar. Selain itu, ditambahkan aspek sosial yang terjadi akan mendukung stabilitas ekonomi.

Aplikasi *eco enzyme* tidak hanya sebagai pengawet produk pasca panen hortikultura, pada penelitian Fadlilla et al., (2023) penggunaan *eco enzyme* sebagai pupuk mampu meningkatkan produktivitas dengan memperbaiki struktur tanah dan kemampuan fotosintesis tanaman. Selain itu *eco enzyme* mampu berperan secara aktif sebagai perlindungan alami terhadap patogen yang biasa menyerang tanaman. Penggunaannya sebagai pupuk organik tentunya memberikan nilai ekonomi yang baik, karena mengurangi pemakaian pupuk komersial bahkan pestisida yang harus dibeli. *Eco enzyme* menjadi solusi ramah lingkungan yang diaplikasikan dengan baik. Penggunaan limbah sebagai substrat juga menawarkan penurunan emisi gas rumah kaca yang terbentuk dari gas limbah produk organik yang tidak terolah seperti metana (Nugroho et al., 2022).

Aplikasi *eco enzyme* dalam berbagai aspek memberikan peluang diversifikasi pasar melalui produk ramah lingkungan yang sesuai dengan permintaan konsumen global terhadap isu keberlanjutan atau agroindustri berkelanjutan. Nilai keberlanjutan ini yaitu *eco enzyme* mampu hadir sebagai inovasi terhadap penanganan pasca panen produk hortikultura dengan mempertahankan kualitasnya, dan juga jika terdapat limbah hasil pasca panen produk tersebut, dapat diolah menjadi sebuah produk yang memiliki manfaat. Namun, untuk produksi dalam skala besar, masih ditemui kesulitan. Efektivitas *eco enzyme* bergantung pada jenis limbah yang digunakan, konsentrasi larutan, dan metode aplikasi. Standarisasi formulasi menjadi tantangan utama untuk memastikan konsistensi hasil (Kumar & Kalita, 2017). Produksi massal *eco enzyme* memerlukan optimasi proses fermentasi untuk menekan biaya dan meningkatkan efisiensi. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memastikan kelayakan ekonominya dalam skala industri. Serta kurangnya edukasi tentang manfaat *eco enzyme* dan persepsi terhadap produk berbasis limbah dapat menjadi hambatan dalam adopsi teknologi ini oleh petani dan pelaku agribisnis.

Pemanfaatan lebih lanjut untuk *eco enzyme* diantaranya adalah penambahan bahan alami seperti minyak esensial dapat meningkatkan efektivitas antimikroba *eco enzyme* (Falleh et al., 2020). Penggunaan *eco enzyme* dapat dikombinasikan dengan metode pengawetan lain, seperti pendinginan atau modifikasi atmosfer, untuk hasil yang lebih optimal (Sridhar et al., 2021). Selain itu peningkatan kesadaran melalui pelatihan dan kampanye dapat mendorong adopsi teknologi *eco enzyme*, terutama di kalangan petani kecil (Sharma et al., 2020).

KESIMPULAN

Eco enzyme adalah solusi inovatif untuk pengelolaan pascapanen hortikultura yang tidak hanya memperpanjang umur simpan tetapi juga mempertahankan kualitas produk. Teknologi ini mendukung keberlanjutan agribisnis melalui pengurangan limbah dan penggunaan bahan ramah lingkungan. Meskipun tantangan seperti standarisasi dan produksi skala besar masih ada, penelitian dan pengembangan lebih lanjut akan memperkuat potensi *eco enzyme* sebagai komponen penting dalam rantai pasok hortikultura. Manfaat ekonomi dari *eco enzyme* masih sangat berpeluang untuk dikembangkan dengan mempertimbangkan nilai tambah dari *eco enzyme*, diversifikasi produk, dan peningkatan sosialisasi manfaat *eco enzyme*.

REFERENSI

- Artés-Hernández, F., Martínez-Zamora, L., & Cano-Lamadrid, M. (2024). Eco-Friendly Postharvest Technologies to Preserve or Enhance the Quality and Safety of Fruit and Vegetable Products. *Foods*, 13(12), 1939. <https://doi.org/10.3390/foods13121939>
- Astuti, A. P., Nurlaela, & Maharani, E. T. W. (2022). Analisis Pengaruh Penambahan Eco-Enzyme Limbah Kubis Terhadap Pengawetan Buah Tomat Dengan Perbandingan Variasi Substrat. *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia, Vol.10 No.2*.
- Benny, N., Shams, R., Dash, K. K., Pandey, V. K., & Bashir, O. (2023). Recent trends in utilization of citrus fruits in production of eco-enzyme. *Journal of Agriculture and Food Research*, 13, 100657. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100657>
- Cerda, A., Artola, A., Barrena, R., Font, X., Gea, T., & Sánchez, A. (2019). Innovative Production of Bioproducts From Organic Waste Through Solid-State Fermentation. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 63. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00063>
- Cundari, L., Amaliah, S. P., Azzahra, F., Komariah, L. N., & Afrah, B. D. (2024). Novel Organic Preservative Made from Eco-Enzyme of Tempeh Waste: The Effect of Substrate and Fermenter Types. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 25(2), 292–301. <https://doi.org/10.12912/27197050/176648>
- Fadlilla, T., Budiastuti, Mt. S., & Rosariastuti, M. R. (2023). Potential of Fruit and Vegetable Waste as Eco-enzyme Fertilizer for Plants. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(4), 2191–2200. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i4.3010>
- Falleh, H., Ben Jemaa, M., Saada, M., & Ksouri, R. (2020). Essential oils: A promising eco-friendly food preservative. *Food Chemistry*, 330, 127268. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127268>
- Gomes, A., Queiroz, M., & Periera, O. (2015, September 2). *Mycofumigation_for_the_Biological_Contro*. Austin Publishing Group.
- Hamidah, L., & Hafisah, H. (2023). *Aplikasi ekoenzim bayam dan kulit jeruk pada pengawetan buah tomat*.
- Indraloka, A. B., Istanti, A., & Utami, S. W. (2023). The physical and chemical characteristics of eco-enzyme fermentation liquids from several compositions of local fruits and vegetables in banyuwangi. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1168(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1168/1/012018>
- Ismail, A. Y., Nainggolan, M. F., Aminudin, S., Siahaan, R. Y., Dzulfannazhir, F., & Sofyan, H. N. (2024). Characterization of chemical composition of eco-enzyme derived from banana, orange, and pineapple pineapple peels. *Brazilian Journal of Biology*, 84, e286961. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.286961>
- Ismail, A. Y., Nainggolan, M. F., & Nauli, A. P. (2024). Characterizing the Chemical Composition of Eco-Enzymes Derived from Vegetable and Fruit Sources. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 19(3). <https://doi.org/10.18280/ij dne.190334>
- Kelana, G., Manuhutu, E. A., & Paendong, S. M. P. (2024). KETAHANAN EKONOMI MELALUI PENERAPAN PERTANIAN BERKELANJUTAN DAN PENGELOLAAN LIMBAH CAIR DAN PADAT (PUKUK ECO-ENZYME) DI DESA TALAWAAN KABUPATEN MINAHASA UTARA. *Journal of Comprehensive Science, Vol.3 No.1*.
- Koosbandiah Surtikanti, H., Diah Kusumawaty, Yayan Sanjaya, Kusdianti, Didik Priyandoko, Try Kurniawan, Kartika, & Eliya Mei Sisri. (2021). Memasyarakatkan Ekoenzim Berbahan Dasar Limbah Organik untuk Peningkatan Kesadaran dalam Menjaga Lingkungan. *Sasambo: Jurnal Abdimas (Journal of Community Service)*, 3(3), 110–118. <https://doi.org/10.36312/sasambo.v3i3.532>
- Kumar, D., & Kalita, P. (2017). Reducing Postharvest Losses during Storage of Grain Crops to Strengthen Food Security in Developing Countries. *Foods*, 6(1), 8. <https://doi.org/10.3390/foods6010008>
- Lestari, W. (2023). A Study on the Content of Eco Enzyme from Pineapple Peel (*Ananas comosus* L.) and Watermelon (*Citrullus lanatus*). *DIVERSITAS HAYATI*, 1(2), 7–17. <https://doi.org/10.30631/12.7-17>
- Made Rai Rahayu, Nengah, M., & Yohanes Parlindungan Situmeang. (2021). Acceleration of Production Natural Disinfectants from the Combination of Eco-Enzyme Domestic Organic Waste and Frangipani Flowers (*Plumeria alba*). *SEAS (Sustainable Environment Agricultural Science)*, 5(1), 15–21. <https://doi.org/10.22225/seas.5.1.3165.15-21>

- Mahyuni, S. (2018). KADAR SAPONIN DAN AKTIVITAS ANTIBAKTERI EKSTRAK DAUN *Filicium decipiens* (Wight & Arn.) Thwaites TERHADAP *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* DAN *Candida albicans*. *FITOFARMAKA: Jurnal Ilmiah Farmasi*, 8(2), 79–86. <https://doi.org/10.33751/jf.v8i2.1571>
- Mandal, M. K., & Domb, A. J. (2024). Antimicrobial Activities of Natural Bioactive Polyphenols. *Pharmaceutics*, 16(6), 718. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics16060718>
- Nugroho, A. S., Dewi, E. R. S., & Ulfah, M. (2022). PEMBUATAN DAN PEMANFAATAN ECO ENZIM DALAM PENGELOLAAN LINGKUNGAN SEKOLAH DI SMAN 8 SEMARANG. 3.
- Olgalizia, G., Nazaitulshila, R., & Sofiah, H. (2020). Production and Characterization of Eco Enzyme Produced from Fruit and Vegetable Wastes and its Influence on the Aquaculture Sludge. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11(3), 10205–10214. <https://doi.org/10.33263/BRIAC113.1020510214>
- Permatananda, P. A. N. K., I Gde Suranaya Pandit, Putu Nita Cahyawati, & Anak Agung Sri Agung Aryastuti. (2023). Antimicrobial Properties of Eco Enzyme: A Literature Review. *Bioscientia Medicina : Journal of Biomedicine and Translational Research*, 7(6), 3370–3376. <https://doi.org/10.37275/bsm.v7i6.831>
- Pravitasari, N., Astuti, A., & Maharani, E. (2022). Analisis Kadar dan Mutu Ecoenzim Kulit Nanas Dalam Pengawetan Buah Anggur dan Buah Tomat. *Jurnal Teknologi Pangan*, 6(2), 19–23. <https://doi.org/10.14710/jtp.2022.26538>
- R. Kanchana*, Sahil Chawan, Ankit Naik, Tanvi Shirodker, & Arpita Bhangе. (2023). PRODUCTION OF MULTI-UTILITY BIO-ENZYME. *The Journal of Research ANGRAU*, 51(1), 163–166. <https://doi.org/10.58537/jorangrau.2023.51.1.18>
- Sharma, R., Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Kumar, V., & Kumar, A. (2020). A systematic literature review on machine learning applications for sustainable agriculture supply chain performance. *Computers & Operations Research*, 119, 104926. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.104926>
- Siregar, B. L., Siallagan, R. S., Butar Butar, S., Mahmudi, B., & Pujiastuti, E. S. (2024). The Nutrient Content of Eco-enzymes from Mixture of Various Fruit Peels. *Agro Bali : Agricultural Journal*, 7(2), 475–487. <https://doi.org/10.37637/ab.v7i2.1646>
- Sridhar, A., Ponnuchamy, M., Kumar, P. S., & Kapoor, A. (2021). Food preservation techniques and nanotechnology for increased shelf life of fruits, vegetables, beverages and spices: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(2), 1715–1735. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01126-2>
- Sunarsih, S., Mustikaningtyas, D., Wh, N., & Widiatningrum, T. (2024). PENGARUH BAHAN BAKU TERHADAP AKTIVITAS ANTIMIKROBA EKOENZIM: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW. Vol.12 (2024).
- Yuliana, M. (2024). The Modification of Eco-Enzyme Liquid and The Effect on Tomato Preservation with Soaking Then Rinsing in Water Method. *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, 12(1), 26. <https://doi.org/10.33394/hjkk.v12i1.10593>
- Yulistiar, F. W., & Manggalou, S. (2023). Inovasi Eco-Enzyme dalam Mendukung Pemerintah Menuju Net Zero Emission di Indonesia. *Public Inspiration: Jurnal Administrasi Publik*, 8(1), 50–60. <https://doi.org/10.22225/pi.8.1.2023.50-60>