

Experiment and Literature: Enzyme Content of Fruit Waste-Based Eco Enzyme and Its Potential in Pollutant Reduction

Ninda Nurseha^{1*}, Gina Lova Sari¹, Kania Ratnawati¹

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Singaperbangsa Karawang, Karawang, Indonesia;

Article History

Received: August 27th, 2025

Revised : September 05th, 2025

Accepted : September 16th, 2025

*Corresponding Author: **Nida Nurseha**, Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Singaperbangsa Karawang, Indonesia; E-mail: 2110631270008@student.unsika.ac.id

Abstract: Indonesia faces serious challenges in managing domestic waste, especially organic waste, which constitutes the largest component of the total national waste generation. One innovative form of recycling is the fermentation of organic waste into eco enzymes, which are fermented liquids capable of producing various active enzymes such as protease, amylase, and lipase with broad ecological benefits. This study aims to observe the activity of protease, amylase, and lipase enzymes in eco enzyme solutions made from fruit waste, and compare the results with previous studies to analyze the potential application of eco enzymes as efficient, economical, and sustainable natural bioremediation agents. The fermentation process was carried out for 90 days, while enzyme activity was analyzed using spectrophotometry and titration methods. The results showed protease activity of 261 U/mL, amylase of 21.53 U/mL, and lipase of 3.46 U/mL. These values are relatively high compared to several previous studies, indicating that fruit waste is an effective substrate for eco enzyme production. Thus, it can be concluded that eco enzyme has great potential in reducing pollutants such as heavy metals, BOD, COD, TSS, and helping to stabilize pH, thereby playing an important role in the treatment of domestic waste and small-scale industrial waste. The recommendation from this study is the need for further research related to the optimization of substrate composition.

Keywords: Eco enzyme, enzymatic activity, fruit waste, pollutants.

Pendahuluan

Indonesia menghadapi tantangan serius dalam pengelolaan limbah domestik, terutama limbah organik yang menjadi komponen terbesar dari total timbulan sampah nasional. Berdasarkan data dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, lebih dari separuh sampah di Indonesia berasal dari bahan organik seperti sisa makanan, daun, ranting, dan potongan kayu. Dengan volume yang diperkirakan mencapai 175 ribu ton per tahun dan rata-rata produksi sebesar 0,7 kg per orang setiap hari (Juniartini, 2020), akumulasi limbah semakin membebani sistem pengelolaan lingkungan, terutama di wilayah perkotaan akibat pertumbuhan penduduk dan urbanisasi yang cepat.

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Berbagai upaya penanganan dan pengelolaan sampah terus dilakukan, terutama untuk mengurangi volume timbulan sampah. Salah satu fokus utama adalah pengolahan limbah domestik yang didominasi oleh limbah organik seperti sisa makanan, sayuran, kulit buah, dan daun-daunan yang berasal dari aktivitas rumah tangga. Meskipun limbah ini dapat terurai secara alami, pengolahan yang kurang optimal berpotensi meningkatkan pencemaran lingkungan (Sari *et al.*, 2021; Pasaribu *et al.*, 2025). Pengolahan yang bisa menjadi alternatif untuk mengurangi limbah sampah anorganik yaitu *Reduce*, *Reuse*, dan *Recycle* atau yang sering disingkat 3R (Zamroni *et al.*, 2020). Salah satu bentuk inovatif dari konsep daur ulang (*recycle*) yaitu fermentasi limbah organik menjadi *eco enzyme*, yang

© 2025 The Author(s). This article is open access

mampu menghasilkan enzim aktif dan memiliki berbagai manfaat ekologis.

Eco enzyme pertama kali diperkenalkan oleh Dr. Rosukon Poompanvong dari Thailand dan didefinisikan sebagai larutan hasil fermentasi limbah organik seperti kulit buah, sayuran, dan residu dapur lainnya menggunakan perbandingan tertentu dengan air dan gula (Arun & Sivashanmugan, 2015; Septiani *et al.*, 2021; Fadlurrahman & Aznury, 2022). Proses fermentasi ini biasanya berlangsung selama 90 hari untuk mencapai aktivitas enzimatis yang optimal (Rasyid *et al.*, 2019; Rusdianasari *et al.*, 2021). Produk akhir dari proses ini mengandung berbagai enzim seperti amilase, protease, lipase, dan selulase, yang mampu memecah senyawa kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana (Fakhrurozi, 2023; Hidayati *et al.*, 2025).

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengukur kandungan enzim dalam *eco enzyme* berbahan substrat beragam. Gumilar *et al.* (2025) melaporkan aktivitas lipase tertinggi sebesar 3,16 U/mL dari fermentasi limbah alpukat, sedangkan Sari *et al.*, (2025) mencatat aktivitas lipase hingga 9,60 U/mL dari substrat campuran buah dan sayuran. Selain itu, studi oleh Fadlurrahman & Aznury (2022) menunjukkan efektivitas *eco enzyme* dalam menurunkan kadar BOD dan COD air limbah domestik secara signifikan, mendukung potensi aplikatifnya dalam pengolahan air limbah rumah tangga.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengamati kandungan enzim protease, lipase, dan amilase dalam larutan *eco enzyme* yang dibuat secara mandiri menggunakan limbah buah. Selain itu, penelitian ini juga membandingkan hasil pengujian dengan studi terdahulu untuk menganalisis potensi aplikatif *eco enzyme* sebagai agen bioremediasi alami yang efisien, ekonomis, dan berkelanjutan dalam pengolahan limbah organik maupun air limbah.

Bahan dan Metode

Waktu dan tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober sampai Mei 2025. Proses pembuatan dan fermentasi larutan *eco enzyme* dilakukan secara mandiri, sedangkan pengujian kandungan enzim dilakukan di Laboratorium Aplikasi Kimia dan Pelayanan Universitas Padjadjaran.

Metode penelitian

Penelitian ini termasuk dalam jenis penelitian deskriptif kuantitatif yang bertujuan untuk menggambarkan dan menganalisis kandungan enzim protease, amilase, dan lipase pada larutan *eco enzyme* hasil fermentasi limbah buah-buahan. Pendekatan yang digunakan yaitu, gabungan antara eksperimen laboratorium sederhana dan kepustakaan (*library research*). Data diperoleh melalui proses pembuatan larutan *eco enzyme* secara mandiri dan pengujian aktivitas enzim di laboratorium, kemudian dibandingkan dengan hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan dan pengaplikasiannya

Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan larutan *eco enzyme*, terlampir pada Tabel 1.

Tabel 1 Alat dan Bahan *Eco enzyme*

Alat	Bahan
Pisau	nanas, pepaya, jeruk, pisang, melon, dan buah naga
Timbangan Digital	Gula merah
Galon 15 liter	Air Bersih

Seluruh bahan buah di pilah dan di potong kecil terlebih dahulu sebelum digabungkan dan di fermentasi. Proses ini dilakukan untuk mempermudah dekomposisi selama fermentasi serta mempercepat pelepasan enzim dari substrat buah. Bahan utama limbah buah yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bahan Utama *Eco Enzyme*

Proses pembuatan *eco enzyme*

Setelah menyiapkan alat dan bahan, langkah selanjutnya yaitu proses pembuatan *eco enzyme*. Adapun langkah-langkahnya yaitu:

- Potong-potong kecil limbah organik (nanas, pepaya, jeruk, pisang, melon, dan buah naga)
- Bersihkan wadah berukuran wadah 15 liter
- Masukkan 9 liter air bersih kedalam wadah
- Masukkan gula yang sudah dilarutkan sebanyak 0,9 kg ke dalam wadah
- Masukkan potongan limbah buah sebanyak 2,7 kg kedalam wadah, dan aduk rata
- Buat selang yang dihubungkan antara tutup wadah ke dalam wadah terpisah yang berisikan air, untuk mencegah kelebihan gas metan di dalamnya yang berakibat pecah
- Tutup rapat wadah selama 3 bulan, pastikan tertutup dan tidak ada udara yang masuk agar proses fermentasi dapat berjalan dengan maksimal.
- Beri label tanggal pembuatan
- Setelah masa panen, larutan dipisahkan antara limbah buah dan larutannya.

Larutan *eco enzyme* yang sudah dibuat dibiarkan selama 3 bulan masa proses fermentasi, terlampir pada Gambar 2.



Gambar 2. Eco Enzyme Proses Fermentasi

Metode pengujian aktivitas enzim

Pengujian aktivitas enzim pada larutan *eco enzyme* dilakukan secara triplo di Laboratorium Aplikasi Kimia dan Pelayanan, Universitas Padjadjaran. Pengujian dilakukan oleh tenaga analis menggunakan metode yang telah distandarkan untuk masing-masing jenis enzim. Aktivitas enzim protease dianalisis menggunakan metode Kunitz, yaitu metode spektrofotometri yang mengukur jumlah peptida larut hasil hidrolisis substrat protein, seperti

kasein. Reaksi diukur pada panjang gelombang tertentu untuk menentukan aktivitas protease.

Aktivitas enzim amilase diuji menggunakan metode Fuwa, mengukur kemampuan enzim dalam menghidrolisis pati menjadi gula sederhana. Penurunan intensitas warna kompleks pati-iodium diamati menggunakan spektrofotometer sebagai indikator aktivitas. Sementara itu, aktivitas enzim lipase dianalisis dengan metode Titrisasi, yaitu dengan mengukur jumlah asam lemak bebas yang terbentuk dari reaksi hidrolisis lemak oleh enzim. Jumlah larutan basa yang digunakan untuk menetralkan asam lemak menjadi dasar perhitungan aktivitas enzim lipase.

Teknik Analisis Data

Data aktivitas enzim yang diperoleh dari hasil pengujian dianalisis secara deskriptif kuantitatif, dengan membandingkan nilai aktivitas enzim protease, amilase, dan lipase dalam larutan *eco enzyme*. Selanjutnya, hasil tersebut dibandingkan dengan data dari berbagai studi sebelumnya guna menilai tingkat kesesuaian dan efektivitas proses fermentasi dilakukan.

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian aktivitas enzim

Pengujian dilakukan terhadap tiga jenis enzim yaitu protease, amilase, dan lipase. Pengujian dilakukan secara triplo yang dilampirkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Enzim

No	Jenis Enzim	Hasil
1	Protease	261 U/mL
2	Amilase	21,53 U/mL
3	Lipase	3,46 U/mL

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kandungan protease sebesar 261 U/mL. Nilai ini tergolong tinggi dan menunjukkan bahwa proses fermentasi terjadi degradasi protein yang signifikan. Enzim protease umumnya dihasilkan dari mikroba proteolitik yang memanfaatkan substrat kaya protein seperti pepaya dan nanas untuk menghidrolisis senyawa protein seperti pepaya dan nanas untuk menghidrolisis senyawa protein menjadi asam amino (Scientia, 2025).

Kandungan enzim amilase sebesar 21,53 U/mL. Enzim ini berperan dalam pemecahan pati menjadi gula sederhana (Wibowo H, *et al.*, 2022). Amilase berasal dari mikroorganisme amilolitik seperti *Bacillus amyloliquefaciens* dan *Aspergillus oryzae*, yang mendegradasi pati dari substrat seperti pisang, dan singkong menjadi gula sederhana (Superdianto. 2023).

Kandungan enzim lipase menunjukkan hasil sebesar 3,46 U/mL, nilai ini relatif lebih rendah dibandingkan dua enzim lainnya. Hal ini disebabkan oleh rendahnya kandungan lemak

dalam substrat atau limbah buah, sehingga tidak mendukung produksi lipase yang tinggi. Lipase terbentuk oleh mikroorganisme lipolitik *Yarrowia lipolytica* dan *Candida sp.*, yang mampu menghidrolisis senyawa lemak dari substrat berminyak seperti alpukat dan kelapa (Widjanarko *et al.*, 2023).

Studi Terdahulu

Berikut adalah hasil pengujian aktivitas enzim dalam penelitian ini dengan beberapa studi terdahulu yang terlampir pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Variasi dan Hasil Aktivitas Enzim Studi Terdahulu

Referensi	Jenis Enzim	Material	Waktu fermentasi	Hasil
STIKes Mitra Keluarga, 2023	Amilase	Limbah buah dan sayur	90 hari	Amilase 65,76-77,19 mL/min (Volumetri) Rata-rata tertinggi limbah alpukat: Amilase 8,30 U/mL Protease 0,38 U/mL Lipase 3,16 U/mL
Gumilar <i>et al.</i> , 2025	Amilase, protease, dan lipase	Limbah buah dan sayur (8 variasi substrat)	90 hari	Substrat lain bervariasi antara 6,58-7,43 U/mL (amilase) dan 0,26-0,35 U/mL (protease), serta 1,62-2,94 U/mL (lipase)
Soleha <i>et al.</i> , 2023	Amilase, protease, lipase	Limbah belimbing wuluh	10 hari	Amilase 11.713,87 U/mg (pH 5). protease 13.400,77 U/mg (pH 6) lipase 3,667 U/mg (pH 8)
Napitupulu <i>et al.</i> , 2021	Selulase	Campuran limbah buah dan sayur	0-12 minggu	Aktivitas naik dari 1,24 menuju 2,2 U/mL pada minggu ke 6
Sulistyah <i>et al.</i> , 2023 (Universitas Trisakti)	Amilase, Selulase	Kulit buah (pepaya, buah naga, dan jeruk)	90 hari	Amilase 2,15 U/mL Selulase 1,69 U/mL
Indraloka <i>et al.</i> , 2023	Amilase	Sawi dan kulit buah (manggis, jeruk, dan buah naga) kulit jeruk manis, jeruk keprok, apel, pepaya, nanas, pir, buah naga, jambu biji, pisang, semangka, bengkoang, kulit, ubi, sawi, kedondong, dan molase yang berumur 624 hari	30 hari	0,38 U/mL perlakuan sawi dan jeruk
Sari <i>et al.</i> , 2025	Amilase, lipase, dan protease		90 hari	pH 3,80 Amilase 4,00 U/mL Lipase 9,60 U/mL Protease 1.231,00 U/mL
Kamila <i>et al.</i> , 2024	Protease, amilase, lipase	Kulit kopi dan pepaya	2-4 bulan	Protease terbentuk zona bening, amilase negatif, dan lipase tidak terbukti
Utami <i>et al.</i> , 2023	Amilase, lipase, protease	Jeruk dan nanas	3-7 hari	Amilase 0,088 U/ml, lipase 0,4167 U/ml, dan protease 0,1197 U/ml
Mardiyah (2021)	Amilase	Kulit jeruk, nanas, dan pepaya	90 hari	Amilase 121,98 U/Ml dan 2.982,39 U/mg protein

Referensi	Jenis Enzim	Material	Waktu fermentasi	Hasil
Uswati (2024)	Amilase, protease, lipase	Kulit pepaya, jeruk, dan nanas	90 hari	Amilase 0,0032 U/Ml Protease 0,0246 U/ml Lipase 5,00 u/ml
Hanifah <i>et al.</i> , 2022	Lipase	Substrat tidak dijelaskan secara spesifik, menggunakan variasi gula yaitu: gula putih, gula merah, dan molase	90 hari	Lipase 20,33 U/ml (molase)
Wibowo <i>et al.</i> , 2023	Amilase (<i>clear zone</i>)	Isolat bakteri dari <i>eco enzyme</i> buah	Kultur mikroba	Zona bening indeks 9,45-23,65
Sektion & Mubarik (2023)	Amilase isolate bakteri	Bakteri <i>eco enzyme</i>	Kultur mikroba	Amilase indeks 1,77 (Bernfeld method)

Perbandingan Hasil Aktivitas Enzim Berdasarkan Komposisi Bahan dan Studi Literatur

Pembuatan *eco enzyme* dan pengujian enzimatis secara mandiri yang berasal dari limbah buah mampu menghasilkan enzimatis yang tinggi, yaitu protease sebesar 261 U/mL, amilase 21,53 U/mL, dan lipase 3,46 U/mL. Bahan organik dari buah-buahan terbukti menghasilkan substrat yang kaya akan karbohidrat, protein, dan lipid alami yang ideal bagi pertumbuhan mikroorganisme serta produksi enzim selama proses fermentasi.

Beberapa studi terdahulu, pembuatan *eco enzyme* baik menggunakan limbah buah dan sayur, menunjukkan hasil yang konsisten bahwa bahan organik dapat menjadi sumber substrat yang efektif dalam menghasilkan enzim aktif. Misalnya, penelitian oleh Gumilar *et al.*, (2025) menggunakan berbagai variasi buah dan sayur, Sari *et al.*, (2025) menggunakan campuran buah dan sayuran, dan Soleha *et al.*, (2023) memanfaatkan belimbing wuluh. Penelitian tersebut menunjukkan aktivitas enzimatis yang signifikan. Dengan demikian, literatur terdahulu secara umum memvalidasi bahwa limbah buah dan sayur keduanya merupakan bahan yang potensial dalam menghasilkan *eco enzyme* dengan aktivitas enzimatis yang kompetitif dan aplikatif.

Peran Enzim dalam *Eco Enzyme* terhadap Penurunan Polutan Limbah Cair

Larutan *eco enzyme* mengandung berbagai jenis enzim aktif seperti protease, amilase, dan lipase yang terbentuk selama proses fermentasi

limbah organik. Peranan enzim dalam larutan *eco enzyme* dalam pengolahan limbah cair, melalui proses biokimia yang kompleks dan dapat membantu menurunkan berbagai pencemar.

Enzim protease memiliki peran untuk menghidrolisis protein menjadi peptida dan asam amino. Produk hasil hidrolisis ini mengandung gugus karboksil ($-\text{COOH}^-$) dan amina ($-\text{NH}_2$) yang mampu berikatan dengan ion logam berat melalui mekanisme kompleksasi, sehingga memungkinkan terjadi pengendapan logam berat dari larutan (Anisa, 2022). Selain itu, protease juga berperan dalam menetralkan pH, karena asam amino yang dihasilkan memiliki sifat buffer, yang mampu menstabilkan pH larutan dengan menangkap ion H^+ atau OH^- sesuai kondisi lingkungan (Anisa, 2022).

Enzim amilase memiliki peranan dalam pemecahan karbohidrat kompleks seperti pati menjadi gula sederhana yaitu glukosa dan maltosa. Gula sederhana yang merupakan produk degradasi enzim amilase tersusun atas molekul monosakarida maupun oligosakarida. Molekul-molekul ini memiliki gugus fungsional seperti hidroksil ($-\text{OH}$) dan karboksil ($-\text{COOH}$) yang berperan penting dalam interaksi dengan polutan. Kehadiran tersebut memungkinkan ikatan kompleks dengan ion logam berat melalui mekanisme biosorpsi (Idrisu *et al.*, 2024).

Selain itu, produk hidrolisis karbohidrat oleh amilase menghasilkan senyawa yang lebih mudah terdegradasi oleh mikroorganisme, mendukung penurunan beban organik seperti *Biological Oxygen Demand* (BOD), dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) (Galintin, O. (2020). Studi yang dilakukan oleh Putri *et al.*,

(2024) menunjukkan bahwa penerapan *eco enzyme* secara signifikan menurunkan kadar *Total Suspended Solid* (TSS) dan COD dalam air limbah cair industri tempe.

Enzim lipase berperan untuk menghidrolisis senyawa lemak menjadi asam lemak dan gliserol. Senyawa-senyawa ini dapat berinteraksi dengan logam berat melalui mekanisme presipitasi, serta mempercepat dekomposisi lemak dan minyak dalam air limbah. Hal ini secara tidak langsung menurunkan COD, serta memperbaiki TSS, karena material tersuspensi yang kompleks terurai menjadi partikel yang lebih mudah mengendap atau didegradasi (Wikaningrum *et al.*, 2022).

Secara keseluruhan, aktivitas enzimatis dalam larutan *eco enzyme* mendukung proses bioremediasi alami terhadap berbagai polutan organik dan anorganik. Keberadaan enzim protease, lipase, dan amilase bukan hanya menurunkan kandungan logam berat, tetapi juga secara signifikan mengurangi beban pencemar organik dan padatan tersuspensi dalam air limbah. Hal ini menjadikan *eco enzyme* dapat menjadi agen pengolahan limbah yang ekonomis, ekologis, dan berkelanjutan.

Kesimpulan

Limbah buah-buahan berpotensi tinggi sebagai substrat dalam produksi *eco enzyme* dengan kandungan enzimatis yang kompetitif. Hasil fermentasi selama 90 hari menghasilkan kandungan enzim protease sebesar 261 U/mL, amilase 21,53 U/mL, dan lipase 3,46 U/mL. Nilai ini tergolong tinggi jika dibandingkan dengan studi terdahulu, membuktikan efektivitas fermentasi buah dalam menghasilkan enzim aktif. Kandungan enzim dalam *eco enzyme* berkontribusi terhadap penurunan polutan dalam air limbah. Enzim protease, amilase, dan lipase berperan dalam degradasi senyawa organik dan interaksi dengan ion logam berat melalui mekanisme biokimia seperti hidrolisis, adsorpsi, kompleksasi, dan presipitasi. Hal ini mendukung penurunan parameter pencemar seperti logam berat, BOD, COD, dan TSS, serta membantu menstabilkan pH. Larutan *eco enzyme* dapat dimanfaatkan sebagai agen bioremediasi alami, ekonomis, ramah lingkungan, dan aplikatif dalam pengolahan air limbah skala rumah tangga

maupun industri kecil. Berdasarkan temuan tersebut, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengukur komposisi setiap jenis buah secara terpisah sebelum dicampurkan dalam proses fermentasi, agar aktivitas enzim yang dihasilkan dapat di telusuri berdasarkan kontribusi masing-masing substrat. Selain itu, perlu dilakukan variasi waktu fermentasi untuk melihat perbedaan dinamika pembentukan enzim pada setiap fase. Pendekatan ini akan memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai hubungan antara jenis substrat, jumlah komposisi, lama fermentasi, dan aktivitas enzim yang dihasilkan.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih peneliti ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

Referensi

- Anisa, N. (2022). Efektivitas *eco enzyme* dalam Menurunkan Kadar Logam Berat pada Air Lindi TPA [Skripsi, Universitas Negeri Semarang]. UNNES Repository. <https://lib.unnes.ac.id/id/eprint/77909>.
- Fadlurrahman, & Aznury. (2022). Variasi Fungsi Penerapan Ekoenzim dari Limbah Organik: Tinjauan Literatur. *Jurnal Selulosa*, 12(02), 61–61. <https://doi.org/10.25269/jsel.v12i02.373>
- Galintin, O. (2020). *Production and characterization of eco enzyme produced from fruit and vegetable waste and its influence on the aquaculture sludge. Biointerface Research in Applied Chemistry*, 10(6), 6313–6322. <https://doi.org/10.33263/BRIAC106.63136322>.
- Gumilar *et al.*, (2025). *Characterization and Enzymatic Evaluation of Ecoenzyme Derived from Fruit and Vegetable Waste: An Effort to Achieve Zero Waste Concept. Baghdad Science Journal*, vol 22. <https://doi.org/10.21123/bsj.2024.10707>
- Iddrisu, Danso, F., Cheong, K.-L., Fang, Z., & Zhong, S. (2024). *Polysaccharides as Protective Agents against Heavy Metal*

- Toxicity. Foods*, 13(6), 853–853. <https://doi.org/10.3390/foods13060853>
- Indraloka, Istanti, & Utami. (2023). *The physical and chemical characteristics of eco-enzyme fermentation liquids from several compositions of local fruits and vegetables in banyuwangi*. *IOP Conference Series*, 1168(1), 012018–012018. doi: [org/10.1088/1755-1315/1168/1/012018](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1168/1/012018)
- Indraloka, R., Wibowo, A., & Nuraini, T. (2023). Evaluasi aktivitas enzim amilase pada eco enzyme berbahan dasar sawi dan kulit buah. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1168, 012018. <https://doi.org/10.1088/17551315/1168/1/012018>
- Juniartini, N. L. P. (2020). Pengelolaan Sampah Dari Lingkup Terkecil dan Pemberdayaan Masyarakat sebagai Bentuk Tindakan Peduli Lingkungan. *Jurnal Bali Membangun Bali*, 1(1), 27–40. <https://doi.org/10.51172/jbmb.v1i1.106>
- Kamila, Mulyadi, Suharti, Susanti, & Haryono. (2024). Enzymatic assay of coffee peel and papaya peel waste eco enzyme. *Bio Web of Conferences/BIO Web of Conferences*, 117, 01042–01042. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202411701042>
- Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, (2022). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.6 Tahun 2022.
- Mardiyah, A. (2021). Pengaruh variasi substrat buah terhadap aktivitas enzim amilase pada eco enzyme. [Skripsi UIN Sunan Gunung Djati Bandung]. <http://repository.uinsgd.ac.id/55555/>
- Muhammad. (2023). Karakterisasi Dan Uji Aktivitas Eksoenzim Limbah Buah Dan Sayuran - UPI Repository. *Upi.edu*. http://repository.upi.edu/108057/1/S_KIM_1908404_Title.pdf
- Napitupulu, K. (2021). *Degradation of Fruit and Vegetable Wastes in Ecoenzyme Production*. *Ipb.ac.id*. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/105772>
- Pasaribu M. K., Damanik. W., Tampubolon U. N., Parapat L., & Purba B. T, (2025). Edukasi Pengelolaan Sampah Organik Untuk Peningkatan Kesehatan di Desa Bandar Tengah. 5(1). 175-175. https://doi.org/10.36378/bhakti_nagori.v5i1.4273
- Putri C. P., Widiarin R., Ramadhanintyas N. (2024). *Effectiveness of Eco Enzymes in Reducing COD and TSS in Tofu Waste in Klumutan Village*. *IJSR International Journal Labs*. 3(1), 45-52. P-ISSN: 2827-9832.
- Rusdianasari, Syakdani, A., Zaman, M., Sari, F.F., Nasyta, N. P., & Amalia, R., (2021). *Production of Disinfectant by Utilizing Eco-enzyme from Fruit Peels Waste*. *International Journal of Research in Vocational Studies*, 1 (3), pp. 1-7. <https://doi.org/10.53893/ijrvocas.v1i3.53>
- Sari, G. L., Adzillah, W. N., Ratnawati, K., Sari, D. F. A., & Saidah, S. (2025). *Analysis of Eco-Enzyme Potential to Reduce BOD, COD, Oil and Grease Concentrations in Raw Water for Treated Water in Karawang: A Laboratory Experiment*. *Gema Lingkungan Kesehatan*, 23(1),6–13. <https://doi.org/10.36568/gelinkes.v23i1.148>
- Satitiningrum, Y., Ulmillah, A., & Haryanti, Y. (2025). Potential of Proteolytic Bacteria from Vegetable and Fruit Waste-Based Eco-Enzyme. *Jurnal Ilmiah Biologi Eksperimen Dan Keanekaragaman Hayati (J-BEKH)*, 12(1),37–52. <https://doi.org/10.23960/jbekh.v12i1.405>
- Suliestyah, D., Rachmawati, A., & Hidayat, T. (2023). Evaluasi aktivitas amilase dan selulase pada eco enzyme dari kulit buah. *International Research Journal of Engineering, IT & Scientific Research*, 9(1), 85–92. <https://sloap.org/journals/index.php/irjeis/article/view/2199>
- Superdianto. (2023). Perbandingan Kualitas Produk Eco-enzyme Dari Berbagai Kulit Buah. *Uksw.edu*. <https://repository.uksw.edu/handle/123456789/29655>
- Sektion, M. S., & Mubarik, N. R. (2023). Isolasi bakteri amilolitik dari eco enzyme dan karakterisasi aktivitas enzim. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 28(3), 178–185. <https://journal.ipb.ac.id/index.php/JIPI/article/view/42317>

- Soleha. (2023). Optimization of pH on Enzymatic Activity of Eco-Enzyme *Averrhoa bilimbi* L. in Plaju District, South Sumatra. *Jurnal Biota*, 9(2), 72–79. <https://doi.org/10.19109/Biota.v9i2.16460>
- Scientia. (2024). *Mikrobiologi - BM3207 - ITB - Studocu*. Studocu. <https://www.studocu.id/id/course/institut-teknologi-bandung/mikrobiologi/3673005?origin=document-viewer>
- Uswati, D. (2024). Karakterisasi dan uji aktivitas *eco enzyme* limbah buah dan sayuran. [Skripsi Universitas Sriwijaya]. <https://repository.unsri.ac.id/137737/>
- Wibowo *et al.*, (2022). Bakteri Penghasil Amilase Yang Diisolasi Dari Ekoenzim Limbah Buah-Buahan. *Jurnal Bio Silampari*, 4(2), 107–117. <https://doi.org/10.31540/biosilampari.v4i2.1531>
- Wikaningrum, T., Fajriyah, N. N., & Nurulita, Y. (2022). Aplikasi *Eco Enzyme* dan EM1 pada Pengolahan Limbah Cair Menggunakan Metode Lumpur Aktif. *Jurnal Urban Environmental Technology*, 14(1), 12–21. <https://doi.org/10.25105/urbanenvirotech.v14i1.15545>
- Zamroni, M., Prahara, R. S., Kartiko, A., Purnawati, D., & Kusuma, D. W. (2020). *The Waste Management Program Of 3R (Reduce, Reuse, Recycle) By Economic Incentive and Facility Support*. *Journal of Physics: Conference Series*, 1471, 012048. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1471/1/012048>