Jurnal Biotek
p-ISSN: 2581-1827 (print), e-ISSN: 2354-9106 (online)
Website: http://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/biotek/index

Karakterisasi Eco-enzyme Berbasis Sampah Organik Berdasarkan Masa Inkubasi

Dian Permatasari[1], Rusmadi Rukmana[1], Hafsan[1*]

[1]Universitas Islam Negeri Alauddin, Indonesia.

*Correspondence email: hafsan.bio@uin-alauddin.ac.id

(Submitted: 10-03-2026, Revised: 12-04-2026, Accepted: 24-06-2026)

ABSTRAK

Eco-enzyme merupakan produk fermentasi limbah organik yang berpotensi dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi lingkungan karena mengandung senyawa hasil transformasi bahan organik selama proses fermentasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi masa inkubasi terhadap karakteristik fisikokimia dan profil kimia eco-enzyme berbasis limbah organik. Eco-enzyme diformulasikan dari campuran limbah buah dan sayur yang didominasi jeruk, nanas, pepaya, tomat, kubis, dan sawi, dengan penambahan gula merah dan air pada rasio 3:1:10, kemudian difermentasi selama 3, 4, dan 5 bulan. Karakterisasi dilakukan terhadap parameter fisik (warna, aroma, pH), parameter kimia meliputi *total dissolved solids* (TDS), *total suspended solids* (TSS), i (BOD), dan *chemical oxygen demand* (COD), uji fitokimia semi-kuantitatif, serta analisis *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk mengevaluasi perubahan gugus fungsi kimia selama fermentasi. Hasil penelitian menunjukkan adanya kecenderungan perubahan karakteristik eco-enzyme seiring bertambahnya masa inkubasi, ditandai dengan perubahan warna menjadi lebih gelap, pH yang relatif stabil pada kisaran 4,00–4,01, peningkatan nilai TDS, serta penurunan nilai BOD dan COD. Senyawa flavonoid dan tanin terdeteksi pada seluruh periode fermentasi, sedangkan fenol menunjukkan perubahan keberadaan antarperiode inkubasi. Spektrum FTIR memperlihatkan variasi pola serapan pada gugus hidroksil (–OH), karbonil (C=O), dan gugus alifatik yang mengindikasikan adanya perubahan karakteristik kimia selama proses fermentasi. Temuan ini memberikan informasi awal mengenai dinamika perubahan eco-enzyme berbasis limbah organik selama variasi masa inkubasi dan dapat menjadi dasar untuk pengembangan penelitian lanjutan pada aspek bioaktivitas maupun aplikasi lingkungan.

Kata Kunci: Eco-enzyme, fermentasi limbah organik, fitokimia, FTIR.

ABSTRACT

Eco-enzyme is a fermentation product derived from organic waste and has potential applications in environmental management because of the presence of compounds formed during the transformation of organic materials throughout the fermentation process. This study aimed to evaluate the effect of incubation time on the physicochemical characteristics and chemical profile of eco-enzyme produced from organic waste. The eco-enzyme was formulated from a mixture of fruit and vegetable waste, predominantly consisting of orange peels, pineapple, papaya, tomato, cabbage, and mustard greens, combined with palm sugar and water at a ratio of 3:1:10. The mixture was fermented for 3, 4, and 5 months. Characterization was conducted based on physical parameters (color, odor, and pH); chemical parameters, including total dissolved solids (TDS), total suspended solids (TSS), biological oxygen demand (BOD), and chemical oxygen demand (COD); semi-quantitative phytochemical screening; and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) analysis to evaluate changes in chemical functional groups during fermentation. The results demonstrated a tendency for eco-enzyme characteristics to change with prolonged incubation, as indicated by darker coloration, relatively stable pH values ranging from 4.00 to 4.01, increased TDS, and decreased BOD and COD values. Flavonoids and tannins were consistently detected

Copyright©2026

throughout the fermentation periods, whereas phenolic compounds showed variation across incubation durations. FTIR spectra revealed variations in the absorption patterns of hydroxyl (–OH), carbonyl (C=O), and aliphatic functional groups, indicating changes in chemical characteristics during the fermentation process. These findings provide preliminary information on the dynamic changes in organic waste-based eco-enzyme across different incubation periods and may serve as a foundation for further studies on bioactivity, compound stability, and potential environmental applications.

***Keywords**: Eco-enzyme, fermentation of organic waste, phytochemicals, FTIR.*

***How to cite**:* Permatasari, D., Rukmana, R., & Hafsan, H. (2026). Karakterisasi Eco-enzyme Berbasis Sampah Organik Berdasarkan Masa Inkubasi. *Jurnal Biotek*, *14*(1), 78–92. https://doi.org/10.24252/jb.v14i1.57296

PENDAHULUAN

Sampah organik yang berasal dari limbah rumah tangga, pasar tradisional, maupun aktivitas agroindustri, seperti sisa buah, sayur, dan bahan nabati lainnya, merupakan salah satu jenis limbah yang melimpah dan membutuhkan pengelolaan yang efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan. Pengelolaan limbah organik yang tidak optimal dapat meningkatkan pencemaran lingkungan melalui pembentukan lindi, emisi gas rumah kaca, serta akumulasi material organik yang berpotensi menjadi sumber kontaminasi biologis maupun kimiawi (Girotto, Alibardi, & Cossu, 2021). Oleh karena itu, pengembangan teknologi berbasis bioproses yang mampu mengonversi limbah organik menjadi produk bernilai tambah semakin mendapat perhatian dalam konteks pengelolaan limbah berkelanjutan (Atiqoh *et al.*, 2025; Galintin, Rasit, & Hamzah, 2021; Sukariyan *et al*., 2025).

Salah satu pendekatan yang berkembang adalah pemanfaatan eco-enzyme, yaitu cairan hasil fermentasi limbah organik berbasis buah dan sayuran dengan penambahan sumber karbon sederhana, seperti gula, dalam medium air (Damayanti *et al*., 2024; Galintin *et al*., 2021; Reza & Syuhriatin, 2020). Selama proses fermentasi, aktivitas mikroorganisme berperan dalam mendegradasi bahan organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana serta menghasilkan berbagai metabolit sekunder yang berpotensi memiliki nilai fungsional (Setiawati, Sumardi, Irawan, Nurcahyani, & Agustrina, 2023; Vama & Cherekar, 2020). Beberapa penelitian melaporkan bahwa eco-enzyme dapat mengandung senyawa bioaktif seperti fenolik, flavonoid, dan tanin, serta menunjukkan potensi pemanfaatan pada bidang lingkungan, pertanian, dan pengolahan limbah (Gumilar, 2023). Namun demikian, karakteristik kimia dan bioaktivitas eco-enzyme sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk jenis substrat organik, rasio bahan, kondisi fermentasi, dan lama inkubasi.

Masa inkubasi merupakan salah satu faktor penting yang menentukan kualitas dan kestabilan eco-enzyme karena berkaitan langsung dengan dinamika pertumbuhan mikroorganisme dan aktivitas metaboliknya selama fermentasi (Sarminingsih *et al*., 2023). Perubahan komunitas mikroba selama fermentasi dapat memengaruhi pembentukan maupun transformasi metabolit bioaktif, sehingga menghasilkan karakteristik fisikokimia yang berbeda pada setiap fase inkubasi. Inkubasi yang terlalu singkat berpotensi menghasilkan produk fermentasi yang belum stabil, sedangkan inkubasi yang terlalu panjang dapat menyebabkan perubahan komposisi metabolit akibat proses degradasi lanjutan maupun perubahan dominansi mikroorganisme fermentatif (Kurniawan, Chan, Lo, & Babel, 2022).

Meskipun berbagai penelitian mengenai eco-enzyme telah dilakukan, sebagian besar studi sebelumnya masih berfokus pada pemanfaatan praktis eco-enzyme, seperti sebagai pupuk cair, agen pembersih, maupun remediasi limbah cair, sementara kajian mengenai perubahan karakteristik fisikokimia dan profil metabolit selama variasi masa inkubasi masih relatif terbatas. Selain itu, penelitian terdahulu umumnya mengevaluasi parameter tertentu secara parsial, misalnya hanya karakteristik fisik, aktivitas biologis, atau kandungan kimia tertentu, sehingga informasi komprehensif mengenai hubungan antara masa fermentasi dengan perubahan karakteristik eco-enzyme masih belum sepenuhnya dipahami. Penggunaan pendekatan analitis berbasis *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk mengevaluasi perubahan gugus fungsi kimia pada eco-enzyme dengan variasi masa inkubasi juga masih belum banyak dilaporkan, khususnya pada eco-enzyme berbasis campuran limbah buah dan sayuran.

Karakterisasi parameter fisikokimia seperti pH, warna, total dissolved solids (TDS), *total suspended solids* (TSS), *biological oxygen demand* (BOD), dan *chemical oxygen demand* (COD) menjadi penting karena dapat menggambarkan tingkat kematangan fermentasi, stabilitas produk, serta intensitas dekomposisi bahan organik selama proses berlangsung. Di sisi lain, evaluasi kandungan metabolit sekunder melalui uji fitokimia diperlukan untuk memberikan gambaran mengenai potensi bioaktif eco-enzyme yang terbentuk selama fermentasi. Sementara itu, analisis FTIR dapat memberikan informasi mengenai perubahan gugus fungsi kimia sebagai indikator transformasi senyawa organik selama inkubasi,

sehingga mendukung pemahaman mengenai karakteristik kimia produk fermentasi secara lebih mendalam.

Dalam konteks aplikasi lingkungan, karakterisasi kimia eco-enzyme juga menjadi relevan sebagai dasar ilmiah untuk mengevaluasi potensi pengembangannya pada berbagai aplikasi berbasis bioteknologi lingkungan (*Sari et al.*, 2025; Yulistiar & Manggalou, 2023). Namun demikian, penelitian ini tidak secara langsung mengevaluasi kemampuan biodegradasi material tertentu, melainkan difokuskan pada identifikasi perubahan karakteristik fisikokimia dan profil senyawa hasil fermentasi sebagai fondasi ilmiah untuk pengembangan aplikasi lebih lanjut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi masa inkubasi terhadap karakteristik fisikokimia dan kandungan metabolit eco-enzyme berbasis limbah organik melalui analisis parameter fisik, kimia, fitokimia, serta identifikasi gugus fungsi menggunakan FTIR. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah yang lebih komprehensif mengenai perubahan karakteristik eco-enzyme selama fermentasi sekaligus menjadi dasar dalam optimalisasi produksi dan pengembangan aplikasinya pada bidang lingkungan dan bioteknologi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan untuk mengevaluasi karakteristik eco-enzyme berbasis limbah organik dengan variasi masa inkubasi. Bahan utama yang digunakan dalam pembuatan eco-enzyme terdiri atas campuran limbah organik yang didominasi oleh kulit dan sisa buah jeruk (*Citrus* sp.), nanas (Ananas comosus), pepaya (*Carica papaya*), tomat (*Solanum lycopersicum*), serta sisa sayuran seperti kubis (*Brassica oleracea* var. capitata) dan sawi (*Brassica rapa*). Bahan organik diperoleh dari pasar tradisional dan digunakan sebagai sumber substrat fermentatif. Gula merah digunakan sebagai sumber karbon fermentatif, sedangkan air bersih digunakan sebagai medium pelarut.

Eco-enzyme dibuat berdasarkan rasio fermentasi 3:1:10 (limbah organik:gula merah:air) sesuai dengan metode yang telah distandarkan (Bharvi S. Patel, Bhanu R. Solanki, & Archana U. Mankad, 2021). Seluruh bahan dicampurkan ke dalam wadah plastik tertutup yang tidak sepenuhnya kedap udara (*semi-anaerobic condition*) guna memungkinkan pelepasan gas hasil fermentasi. Fermentasi dilakukan dalam kondisi terlindung dari paparan cahaya langsung pada suhu ruang berkisar ±28 °C dengan tiga variasi masa inkubasi, yaitu 3 bulan, 4 bulan, dan 5 bulan. Selama

fermentasi berlangsung, campuran dikocok ringan setiap tiga hari untuk membantu homogenisasi substrat dan meminimalkan pembentukan kontaminan jamur pada permukaan larutan.

Setelah waktu fermentasi tercapai, cairan eco-enzyme dipisahkan dari residu padatan menggunakan kain kasa steril dan disimpan dalam wadah tertutup pada suhu ruang sebelum dilakukan karakterisasi lebih lanjut. Penelitian ini difokuskan pada karakterisasi produk hasil fermentasi sehingga tidak dilakukan identifikasi maupun kontrol terhadap komunitas mikroorganisme dominan selama proses fermentasi.

Karakterisasi fisikokimia eco-enzyme meliputi pengukuran pH menggunakan pH meter digital, pengamatan warna secara visual, serta evaluasi aroma secara deskriptif berdasarkan observasi langsung oleh peneliti. Parameter kimia meliputi pengukuran total TDS, TSS, BOD, dan COD untuk menggambarkan perubahan karakteristik larutan selama fermentasi. Kekeruhan dan spektrum warna larutan juga diamati menggunakan spektrofotometer UV–Vis pada rentang panjang gelombang 400–700 nm untuk mendeteksi kemungkinan pembentukan senyawa kromoforik selama proses fermentasi (Permatananda & Pandit, 2023).

Analisis fitokimia semi-kuantitatif dilakukan untuk mendeteksi keberadaan beberapa golongan metabolit sekunder, meliputi fenol, flavonoid, tanin, dan saponin. Uji fenol dilakukan menggunakan reagen $FeCl_3$ 1% dengan indikasi positif berupa pembentukan warna biru kehijauan. Uji flavonoid dilakukan menggunakan metode amonia dan HCl pekat yang ditandai perubahan warna tertentu sebagai indikator keberadaan senyawa flavonoid. Uji saponin dilakukan dengan metode pembentukan buih, sedangkan tanin diuji menggunakan reagen $FeCl_3$ melalui pembentukan warna biru kehitaman (Widjanarko *et al.*, 2023). Hasil pengamatan dicatat secara semi-kuantitatif menggunakan skala intensitas (+++, ++, +, –).

Karakterisasi gugus fungsi kimia dilakukan menggunakan FTIR pada rentang bilangan gelombang 4000–400 cm^{-1} untuk mengevaluasi perubahan karakteristik kimia eco-enzyme berdasarkan variasi masa inkubasi. Interpretasi spektrum dilakukan secara deskriptif melalui pengamatan terhadap perubahan intensitas pita serapan, pergeseran puncak, maupun kemunculan gugus fungsi tertentu yang berkaitan dengan transformasi senyawa organik selama proses fermentasi.

Data hasil pengamatan dianalisis secara deskriptif-komparatif untuk membandingkan kecenderungan perubahan karakteristik eco-enzyme pada masing-masing periode inkubasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Eco-enzyme yang dihasilkan dari fermentasi limbah organik selama 3, 4, dan 5 bulan menunjukkan perubahan karakteristik fisik, kimia, dan fitokimia yang mencerminkan dinamika proses fermentasi bahan organik. Variasi masa inkubasi memperlihatkan adanya kecenderungan perubahan karakteristik produk fermentasi, yang diduga berkaitan dengan transformasi senyawa organik dan akumulasi metabolit hasil aktivitas fermentatif selama proses berlangsung.

Karakteristik Fisik Eco-enzyme

Berdasarkan hasil pengamatan pada Tabel 1, warna larutan eco-enzyme mengalami perubahan bertahap dari coklat bening pada inkubasi 3 bulan menjadi coklat keruh pada inkubasi 4 bulan, kemudian berubah menjadi coklat tua keruh pada inkubasi 5 bulan. Perubahan warna ini dapat mengindikasikan berlangsungnya transformasi bahan organik selama fermentasi, termasuk degradasi pigmen alami buah dan sayuran, pembentukan senyawa terlarut, serta akumulasi metabolit hasil fermentasi. Peningkatan intensitas warna selama inkubasi juga kemungkinan berkaitan dengan meningkatnya kandungan bahan organik terlarut yang terbentuk selama proses dekomposisi substrat (Mar'ah & Farma, 2021).

Aroma larutan pada seluruh periode inkubasi cenderung menunjukkan karakteristik asam dengan nuansa buah, khususnya jeruk dan nanas. Aroma asam yang relatif konsisten selama fermentasi diduga berkaitan dengan pembentukan asam organik, seperti asam asetat dan senyawa organik volatil lainnya yang umum ditemukan pada fermentasi berbasis limbah buah dan sayuran (Yanti & Awalina, 2021). Namun demikian, karena evaluasi aroma dilakukan secara deskriptif melalui pengamatan langsung, interpretasi karakteristik aroma pada penelitian ini bersifat kualitatif.

Tabel 1. Karakteristik fisik Eco-enzyme pada ragam masa fermentasi

Masa Inkubasi	Warna	Aroma
3 bulan	Coklat bening	Aroma asam kuat
4 bulan	Coklat keruh	Aroma asam kuat
5 bulan	Coklat tua keruh	Aroma asam kuat

Kestabilan nilai pH yang berada pada rentang konstan 4,00–4,01 dari bulan ke-3 hingga bulan ke-5 mengindikasikan telah tercapainya fase stasioner atau titik jenuh dari aktivitas bakteri asam laktat (BAL) dan ragi dalam mendegradasi substrat karbon (Das *et al.*, 2024; Putri & Kurniawati, 2025). Secara biokimia, tidak adanya penurunan pH yang signifikan pada bulan-bulan lanjutan disebabkan oleh pembentukan kapasitas buffer (sistem penyangga) alami di dalam larutan eco-enzyme. Asam-asam organik yang diproduksi pada awal fermentasi (seperti asam asetat dan asam laktat) mulai mengalami kesetimbangan dinamis dengan senyawa-senyawa amina atau garam organik yang terlarut hasil hidrolisis protein dari sampah organik. Sistem penyangga ini secara efektif mempertahankan konsentrasi ion H^+ di dalam larutan, meskipun metabolisme mikroba sekunder tetap berjalan.

Selain itu, nilai pH di sekitar 4,00 merupakan ambang batas toleransi lingkungan bagi mayoritas mikroorganisme fermentatif itu sendiri (Gaspersz & Fitrihidajati, 2022). Kondisi lingkungan yang terlalu asam (pH < 4) bertindak sebagai faktor pembatas yang menghambat (autoinhibisi) aktivitas enzim intraseluler bakteri, sehingga laju produksi asam organik baru melandai. Fenomena konstan atau stabilnya nilai pH ini menjadi indikator penting bahwa proses fermentasi utama telah selesai dan larutan eco-enzyme telah mencapai tingkat kematangan serta stabilitas kimiawi yang optimal, sehingga aman untuk disimpan dalam jangka waktu lama tanpa resiko pembusukan lanjutan.

Karakteristik Kimia Eco-enzyme

Hasil karakterisasi kimia menunjukkan adanya kecenderungan perubahan parameter TDS, TSS, BOD), dan COD selama proses inkubasi (Tabel 2). Nilai TDS memperlihatkan tren peningkatan dari 3123 ppm pada inkubasi 3 bulan menjadi 4021 ppm pada inkubasi 5 bulan. Peningkatan TDS ini dapat mengindikasikan bertambahnya senyawa terlarut sebagai hasil degradasi bahan organik kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana selama fermentasi (Das *et al.*, 2024; Siregar, Siallagan, Butar, Mahmudi, & Pujiastuti, 2024). Senyawa tersebut kemungkinan mencakup asam organik, gula sederhana, mineral, maupun metabolit lain yang larut dalam medium fermentasi (Nazim, 2013).

Sebaliknya, parameter BOD menunjukkan kecenderungan penurunan dari 2474,90 mg/L menjadi 958,00 mg/L seiring bertambahnya masa inkubasi. Penurunan ini dapat mengindikasikan berkurangnya kandungan bahan organik mudah terdegradasi akibat pemanfaatan substrat oleh aktivitas fermentatif selama

proses berlangsung. Pola serupa juga terlihat pada nilai COD yang mengalami penurunan dari 7740,57 mg/L menjadi 4624,16 mg/L, yang menunjukkan kecenderungan berkurangnya total senyawa organik yang masih dapat teroksidasi secara kimiawi (Oviantari, Gunamantha, & Wibawa, 2023; Rahmawati, Kamardiani, & Rahayu, 2023; Shah, Devanshi, Patel, & Patel, 2022; Widiani, Novitasari, Biologi, Raden, & Lampung, 2023).

Nilai TSS menunjukkan pola fluktuatif, yaitu mengalami penurunan pada inkubasi bulan keempat dan sedikit meningkat pada bulan kelima. Variasi ini kemungkinan berkaitan dengan dinamika sedimentasi partikel organik, pembentukan biomassa mikroba, maupun keberadaan residu metabolit yang tersuspensi selama fermentasi berlangsung (Ramadhana, 2023). Namun demikian, interpretasi terhadap parameter ini perlu dilakukan secara hati-hati mengingat karakteristik substrat organik yang digunakan bersifat heterogen.

Tabel 2. Karakteristik kimia Eco-enzyme pada ragam masa fermentasi

Masa Inkubasi	pH	TDS (ppm)	TSS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
3 bulan	4,00	3123	862	2474,90	7740,57
4 bulan	4,01	3814	720	1596,70	5666,32
5 bulan	4,00	4021	770	958,00	4624,16

Profil Fitokimia Eco-enzyme

Hasil uji fitokimia menunjukkan adanya variasi profil metabolit sekunder pada eco-enzyme selama masa inkubasi (Tabel 3). Senyawa flavonoid dan tanin terdeteksi secara konsisten pada seluruh periode fermentasi dengan intensitas relatif tinggi, yang dapat mengindikasikan kestabilan relatif senyawa tersebut selama proses fermentasi berlangsung. Kehadiran senyawa fenolik dalam eco-enzyme diduga berkaitan dengan komposisi bahan baku yang didominasi limbah buah dan sayuran, terutama kulit jeruk, nanas, dan pepaya yang diketahui mengandung berbagai senyawa bioaktif alami.

Terpenoid mulai terdeteksi pada inkubasi 5 bulan, yang menunjukkan adanya perubahan profil metabolit selama proses fermentasi. Di sisi lain, Fenol terdeteksi pada inkubasi 3 dan 4 bulan, namun tidak lagi teramati pada bulan kelima. Kondisi ini kemungkinan mengindikasikan terjadinya transformasi atau degradasi sebagian senyawa fenolik selama fermentasi berlangsung (Prasetyo, Widowati, & Sutanto, 2024). Perubahan tersebut dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan fermentasi, stabilitas senyawa, maupun interaksi antar metabolit yang terbentuk

selama inkubasi (Parra-Pacheco, Cruz-Moreno, Aguirre-Becerra, García-Trejo, & Feregrino-Pérez, 2024; Prasetyo *et al.*, 2024; Viona Setiawan, Retno Rosariastuti, & Sri Budiastuti, 2025). Karena penelitian ini tidak melakukan identifikasi senyawa secara spesifik maupun analisis metabolomik, interpretasi mengenai perubahan profil metabolit dilakukan secara hati-hati dan bersifat indikatif.

Analisis spektrum FTIR dilakukan untuk mengevaluasi perubahan karakteristik gugus fungsi kimia pada eco-enzyme selama masa inkubasi 3, 4, dan 5 bulan. Berdasarkan spektrum yang diperoleh (Gambar 1), teramati pita serapan lebar pada kisaran bilangan gelombang 3200–3400 cm^{-1} yang diasosiasikan dengan vibrasi peregangan gugus hidroksil (–OH).

Tabel 3. Profil senyawa metabolit sekunder pada ragam masa fermentasi

Analisis Fitokimia	Masa Inkubasi Eco-enzyme		
	3 bulan	4 Bulan	5 Bulan
Alkaloid	+++	+++	+++
Flavonoid	+++	+++	+++
Terpenoid	–	–	++
Steroid	–	–	–
Tanin	+++	+++	+++
Saponin	–	–	–
Fenol	++	++	–
Kuinon	–	–	–
Kumarin	++	++	–

Keberadaan pita serapan ini umumnya berkaitan dengan senyawa polar seperti alkohol, fenol, maupun asam organik yang lazim ditemukan pada produk fermentasi berbasis bahan organik (Arun & Sivashanmugam, 2017). Peningkatan intensitas pita pada wilayah –OH pada inkubasi yang lebih panjang dapat mengindikasikan adanya perubahan komposisi senyawa polar selama fermentasi berlangsung, yang kemungkinan berkaitan dengan transformasi bahan organik menjadi molekul yang lebih sederhana dan larut (SetiyaNingrum, Nutfindiani, Margaretha, & Efendi, 2024).

Keberadaan gugus karbonil (C=O) pada kisaran 1650–1750 cm^{-1} juga teramati pada seluruh perlakuan, dengan variasi intensitas spektrum antarperiode inkubasi. Gugus karbonil umumnya diasosiasikan dengan keberadaan senyawa seperti asam karboksilat, aldehida, maupun ester yang dapat terbentuk selama proses fermentasi bahan organik. Variasi intensitas dan bentuk pita serapan pada wilayah ini mengindikasikan adanya dinamika transformasi senyawa organik selama

inkubasi, meskipun penelitian ini belum dapat mengidentifikasi secara spesifik jenis senyawa maupun jalur biokimia yang terlibat.

Pita serapan pada kisaran 2850–2950 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus C–H alifatik, sedangkan wilayah 1000–1200 cm^{-1} diasosiasikan dengan vibrasi gugus C–O, yang umumnya berkaitan dengan alkohol, ester, atau komponen karbohidrat terdegradasi. Perubahan pola intensitas spektrum pada beberapa wilayah serapan dari bulan ke-3 hingga bulan ke-5 mengindikasikan adanya perubahan karakteristik kimia eco-enzyme selama proses fermentasi berlangsung.



Gambar 1. Hasil analisis FTIR fermentasi Eco-enzyme pada ragam masa fermentasi

Secara substansi biokimia, nilai persen *Transmittance* (%T) yang mengalami kenaikan pada beberapa titik (seperti pada gugus hidroksil dan karbonil) pada perpanjangan masa inkubasi dari bulan ke-3 ke bulan ke-5 mencerminkan berlangsungnya transformasi bahan organik selama fermentasi (Bambang Widjanarko, Putri Aulia, & Khoirunnisa, 2023; SetiyaNingrum *et al*., 2024). Senyawa makromolekul organik kompleks pada bulan ke-3 telah berhasil didegradasi secara bertahap oleh enzim hidrolitik mikroba menjadi senyawa antara yang lebih volatil atau mengendap pada bulan ke-5, menghasilkan cairan eco-enzyme yang lebih jernih secara fungsional kimiawi. Namun demikian, interpretasi ini bersifat indikatif dan perlu dikonfirmasi lebih lanjut melalui pendekatan analisis kimia yang lebih spesifik untuk mengidentifikasi senyawa metabolit yang terbentuk secara lebih akurat.

Hasil karakterisasi secara umum menunjukkan bahwa variasi masa inkubasi memengaruhi pola karakteristik eco-enzyme yang terbentuk, baik pada aspek fisikokimia maupun profil senyawa bioaktif. Temuan ini memberikan dasar informasi awal mengenai dinamika perubahan karakteristik eco-enzyme selama fermentasi dan dapat menjadi rujukan untuk pengembangan penelitian lanjutan pada aspek bioaktivitas maupun aplikasi lingkungan.

Variasi masa inkubasi menunjukkan adanya perubahan karakteristik fisikokimia dan profil kimia eco-enzyme berbasis limbah organik. Inkubasi hingga lima bulan memperlihatkan kecenderungan peningkatan nilai TDS serta penurunan BOD dan COD, yang dapat mengindikasikan berlangsungnya transformasi bahan organik selama proses fermentasi. Selain itu, keberadaan beberapa metabolit sekunder serta perubahan pola spektrum FTIR menunjukkan adanya dinamika komposisi senyawa kimia selama periode inkubasi yang berbeda. Temuan ini memberikan informasi awal mengenai karakteristik eco-enzyme berbasis limbah organik dan potensi pengaruh masa fermentasi terhadap kualitas produk yang dihasilkan.

Meskipun penelitian ini telah memberikan gambaran mengenai karakteristik fisikokimia, fitokimia, dan perubahan gugus fungsi kimia eco-enzyme berdasarkan variasi masa inkubasi, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil. Penelitian ini belum melakukan karakterisasi komunitas mikroorganisme selama fermentasi sehingga hubungan antara dinamika mikroba dan perubahan profil metabolit yang sangat penting (Novianti, Saraswati, Hafsah, & Seprianto, 2025), belum dapat dijelaskan secara rinci. Selain itu, penggunaan bahan baku limbah organik yang bersifat heterogen berpotensi memengaruhi konsistensi karakteristik produk antarbatch fermentasi. Oleh karena itu, standarisasi komposisi substrat dan kondisi fermentasi menjadi aspek penting untuk dipertimbangkan pada penelitian lanjutan.

Penelitian berikutnya disarankan untuk mengevaluasi bioaktivitas eco-enzyme secara lebih spesifik dan kuantitatif, termasuk pengujian terhadap aktivitas biologis maupun stabilitas senyawa selama penyimpanan. Selain itu, identifikasi komunitas mikroorganisme dominan selama fermentasi dapat dilakukan untuk memperluas pemahaman mengenai proses transformasi bahan organik yang berlangsung. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar awal bagi

pengembangan eco-enzyme pada berbagai aplikasi lingkungan dan bioteknologi secara lebih terarah.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi masa inkubasi berkaitan dengan perubahan karakteristik fisikokimia dan profil kimia eco-enzyme berbasis limbah organik. Selama fermentasi 3 hingga 5 bulan, eco-enzyme memperlihatkan perubahan warna yang semakin gelap, pH yang relatif stabil pada kondisi asam, kecenderungan peningkatan *total dissolved solids* (TDS), serta penurunan *biological oxygen demand* (BOD) dan *chemical oxygen demand* (COD). Hasil uji fitokimia menunjukkan keberadaan beberapa metabolit sekunder, terutama flavonoid dan tanin, selama periode fermentasi, sedangkan perubahan keberadaan fenol teramati pada masa inkubasi tertentu. Analisis FTIR menunjukkan adanya variasi pola gugus fungsi kimia, terutama pada gugus hidroksil (–OH), karbonil (C=O), dan alifatik, yang mengindikasikan terjadinya transformasi senyawa organik selama fermentasi berlangsung.

Hasil penelitian ini memberikan informasi awal mengenai dinamika perubahan karakteristik eco-enzyme selama variasi masa inkubasi dan dapat menjadi dasar bagi penelitian lanjutan untuk mengevaluasi bioaktivitas, stabilitas senyawa, serta potensi aplikasinya pada berbagai bidang lingkungan dan bioteknologi.

DAFTAR PUSTAKA

Arun, C., & Sivashanmugam, P. (2017). Study on optimization of process parameters for enhancing the multi-hydrolytic enzyme activity in garbage enzyme produced from preconsumer organic waste. *Bioresource Technology*, *226*, 200–210. doi:10.1016/j.biortech.2016.12.029

Atiqoh, N. Y., Zahrotul, A., Azizah, Z., Pasa, K., Rohma, M., Muhaimin Iskandar, A., & Nur Achmad, A. (2025). Pemanfaatan Eco Enzyme dari Limbah Organik Rumah Tangga sebagai Solusi Pupuk Cair yang Ramah Lingkungan. *NCER*, *3*(2).

Bambang Widjanarko, S., Putri Aulia, L., & Khoirunnisa, Y. (2023). Profil sifat fisiko-kimia dan mikrobiologi cairan eco-enzyme dari beberapa jenis buah dan daun cemara udang (Casuarina equisetifolia). *Jurnal Teknologi Pertanian*, *24*(2). doi:10.21776/ub.jtp.2023.024.02.5

Bharvi S. Patel, Bhanu R. Solanki, & Archana U. Mankad. (2021). Effect of eco-enzymes prepared from selected organic waste on domestic waste water

treatment. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, *10*(1), 323–333. doi:10.30574/wjarr.2021.10.1.0159

Damayanti, A., Winaningsih, I., Bahlwan, Z. A. S., Widyastuti, C. R., Auralita, K. P., Enjelita, A., & Alfareza, X. (2024). *A Critical Review on Tropical Fruits Peels as Eco Enzyme: A Case of Indonesian Exotic Fruits*. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 576). doi:10.1051/e3sconf/202457604005

Das, S. C., Khan, O., Khadem, A. H., Rahman, M. A., Bedoura, S., Uddin, M. A., & Islam, M. S. (2024). Evaluating the biocatalytic potential of fruit peel-derived eco-enzymes for sustainable textile wastewater treatment. *Results in Engineering*, *21*. doi:10.1016/j.rineng.2024.101898

Galintin, O., Rasit, N., & Hamzah, S. (2021). 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). doi:10.33263/BRIAC113.1020510214

Gaspersz, M. M., & Fitrihidajati, H. (2022). Pemanfaatan Ekoenzim Berbahan Limbah Kulit Jeruk dan Kulit Nanas sebagai Agen Remediasi LAS Detergen. *LenteraBio*, *11*(3), 503–513.

Girotto, F., Alibardi, L., & Cossu, R. (2021). Food waste generation and industrial uses: A review. *Waste Management*, *45*, 32–41. doi:10.1016/j.wasman.2015.06.008

Gumilar, G. G. (2023). Ecoenzyme Production, Characteristics, and Applications: A Review. *Jurnal Kartika Kimia*, *6*(1), 45–59. doi:10.26874/jkk.v6i1.186

Kurniawan, T. A., Chan, G. Y. S., Lo, W. H., & Babel, S. (2022). Physico-chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals. *Chemical Engineering Journal*, *118*(1–2), 83–98. doi:10.1016/j.cej.2006.01.015

Mar'ah, S., & Farma, S. A. (2021). Making and Utilizing Organic Waste into Bio Eco-Enzyme as an Indicator of Organic Plant Fertilizer. *Prosiding SEMNAS BIO*, *1*, 689–699.

Nazim, F. (2013). Treatment of Synthetic Greywater Using 5% and 10% Garbage Enzyme Solution. *Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science*, *3*(4), 111–117. doi:10.9756/bijiems.4733

Novianti, T., Saraswati, H., Hafsah, H., & Seprianto. (2025). Metagenomic insights into bacterial communities in eco-enzymes and their microbial diversity and abundance. *Biodiversitas*, *26*(5). doi:10.13057/biodiv/d260514

Oviantari, M. V., Gunamantha, I. M., & Wibawa, R. (2023). Potensi Ecoenzyme dari Rumout Bebek (Lemna minor) dalam Menurunkan Kadar BOD pada Air Limbah Laundry. *Jurnal Teknologi Lingkungan UNMUL*, *7*(1), 39. doi:10.30872/jtlunmul.v7i1.9441

Parra-Pacheco, B., Cruz-Moreno, B. A., Aguirre-Becerra, H., García-Trejo, J. F., & Feregrino-Pérez, A. A. (2024). Bioactive Compounds from Organic Waste. *Molecules*. doi:10.3390/molecules29102243

Permatananda, P. A. N. K., & Pandit, I. G. S. (2023). Characteristic of Orange Peel Waste-Based on Eco Enzyme at Different Fermentation Duration. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, *9*(6), 4289–4293. doi:10.29303/jppipa.v9i6.3527

Prasetyo, B., Widowati, H., & Sutanto, A. (2024). Produksi dan Skrining Senyawa Metabolit sekunder Ecoenzyme Kulit Buah Jeruk BW dan Jeruk Siam yang Berpotensi sebagai Bioinsektisida. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, *24*(3). doi:10.25181/jppt.v24i3.3100

Putri, M. V., & Kurniawati, D. (2025). Pemanfaatan Limbah Kulit Buah Nanas dan Jeruk untuk Produksi Eco Enzyme: Uji Fosfor, Kalium, pH, dan TDS. *MASALIQ*, *5*(6). doi:10.58578/masaliq.v5i6.7562

Rahmawati, N., Kamardiani, D. R., & Rahayu, L. (2023). Household Waste Utilization With Eco-Enzyme Training. *Proceeding International Conference of Community Service*, *1*(1). doi:10.18196/iccs.v1i1.47

Ramadhana, N. (2023). Efektivitas Bioremediasi Dengan Menggunakan Ekoenzim Terhadap Penyisihan Parameter Pencemar Dalam Limbah Cair Rumah Potong, 35.

Reza, M. A., & Syuhriatin. (2020). Pengolahan Sampah Organik Lalat Tentara Hitam (Hermetia illucens) di Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Lingsar, Kabupaten Lombok Barat. *Lombok Journal of Science (LJS)*, *2*(3), 27–31.

Sari, G. K., Triono, A., Rahman, F. A., Ariyanti, E. P., Rosalina, L., Sayidina, S. E., … Agustina, P. L. (2025). Pemanfaatan Olahan Limbah Rumah Tangga Kulit Buah dan Sayur Menjadi Eco Enzyme Ramah Lingkungan di Desa Ngaringan Kabupaten Grobogan. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Bhinneka*, *3*(4). doi:10.58266/jpmb.v3i4.137

Sarminingsih, A., Sumiyati, S., Syafrudin, S., Alfarisi, I., Setiawan, R., Andika, A. F., & Balqis, M. (2023). Study of the Effect of Adding Eco-Enzyme to the Process of Decomposing Organic Waste on the Quality of Compost, Leachate, and Methane Gas Production. *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, *20*(3), 655–668. doi:10.14710/presipitasi.v20i3.655-668

Setiawati, P. L., Sumardi, S., Irawan, B., Nurcahyani, E., & Agustrina, R. (2023). Penentuan Karakteristik dan Efektivitas Eco Enzyme Berbahan Dasar Limbah Organik yang Berbeda sebagai Pengawet Buah Tomat (Solanum esculentum MILL.). *Biospecies*, *16*(1). doi:10.22437/biospecies.v16i1.24110

SetiyaNingrum, D. A., Nutfindiani, E. D., Margaretha, Z., & Efendi, M. R. S. (2024). The Implementation of FT-IR Method for Compound Detection in Eco-Enzyme Applied as Hydrogel Patch. *Indonesian Journal of Chemical Research*, *12*(1). doi:10.30598/ijcr.2024.12-set

Shah, K. K. R., Devanshi, S., Patel, G. B., & Patel, V. D. (2022). Application of Microbial Enzymes: Biodegradation of Paper and Pulp Waste. In *Innovations in Environmental Biotechnology*. doi:10.1007/978-981-16-4445-0_12

Siregar, B. L., Siallagan, R. S., Butar, S. B., Mahmudi, B., & Pujiastuti, E. S. (2024). The Nutrient Content of Eco-enzymes from Mixture of Various Fruit Peels. *Agro Bali*, *7*(2). doi:10.37637/ab.v7i2.1646

Sukariyan, S., Saridanti, A. L., Bustomi, M. Y., Winarni, B., Anwar, R., Obeth, E., … Marlendi, S. (2025). Pemanfaatan eco-enzyme sebagai solusi limbah organik dan alternatif pupuk cair ramah lingkungan. *Jurnal Pengabdian Al-Ikhlas*, *11*(3). doi:10.31602/jpaiuniska.v11i3.20811

Vama, L., & Cherekar, M. N. (2020). *Production, extraction and uses of eco-enzyme using citrus fruit waste: wealth from waste*. *Biotech. Env. Sc* (Vol. 22).

Viona Setiawan, J., Retno Rosariastuti, M. M. A., & Sri Budiastuti, M. (2025). *Characterization of Bioactive Compounds from Eco-enzyme Produced from Organic Waste*. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1489). doi:10.1088/1755-1315/1489/1/012003

Widiani, N., Novitasari, A., Biologi, P., Raden, U., & Lampung, I. (2023). Produksi dan Karakterisasi Eco-enzim dari Limbah Organik Dapur. *Jurnal Pendidikan Biologi*, *14*(1), 116.

Widjanarko, S. B., Putri Aulia, L., Khoirunnisa Departemen Ilmu Pangan dan Bioteknologi -Fakultas Teknologi Pertanian -, Y., & Korespondensi, P. (2023). *Profil Sifat Fisiko-Kimia Dan Mikrobiologi Cairan Eco-Enzyme Dari Beberapa Jenis Buah Dan Daun Cemara Udang (Casuarina equisetifolia)*. *Jurnal Teknologi Pertanian* (Vol. 23).

Yanti, D., & Awalina, R. (2021). Sosialisasi dan Pelatihan Pengolahan Sampah Organik Menjadi Eco-Enzyme. *Jurnal Warta Pengabdian Andalas*, *28*(2), 84–90. doi:10.25077/jwa.28.2.84-90.2021

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). doi:10.22225/pi.8.1.2023.50-60