

Bioremediasi Limbah Cair Rumah Tangga Menggunakan Eco Enzim Fermentasi Kulit Buah

Zairinayati Zairinayati*, Nur Afni Maftukhah, Sabrina Sabrina, Rahma Dwi Anggraini

Program Studi DIII Kesehatan Lingkungan, Fakultas Vokasi, Universitas Muhammadiyah Ahmad Dahlan Palembang, Jl. Jend. A. Yani 13 Ulu Palembang, Indonesia

*Corresponding author: zairinayati.kesling@gmail.com

Info Artikel: Diterima 28 Agustus 2025; Direvisi 1 September 2025; Disetujui 1 September 2025

Tersedia online: 6 September 2025; Diterbitkan secara teratur: Oktober 2025



Cara sitasi: Zairinayati Z, Maftukhah NA, Sabrina S, Anggraini RD. Bioremediasi Limbah Cair Rumah Tangga Menggunakan Eco Enzim Fermentasi Kulit Buah. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia [Online]. 2025 Oct;24(3):363-372. <https://doi.org/10.14710/jkli.74082>.

ABSTRAK

Latar belakang: Kasus pencemaran air di Indonesia khususnya air limbah domestik merupakan masalah utama. Kontributor utama dari 68,5 juta ton sampah nasional yang dihasilkan pada tahun 2021 adalah sampah organik, menurut data SIPSN (Scientific Data Collection and Data Collection) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Sekitar 1,3 miliar ton makanan terbuang setiap tahun di seluruh dunia, dan telah diamati bahwa air limbah rumah tangga memiliki pH yang cenderung di bawah standar 6 hingga 9 dan kadar COD hingga >1.000 mg/L, yang secara signifikan lebih tinggi dari standar 100 mg/L. Penggunaan eco enzim yang terbuat dari kulit buah fermentasi sebagai agen bioremediasi merupakan salah satu metode ramah lingkungan. Menguji dampak eco enzim yang berasal dari campuran kulit jeruk, nanas, dan pisang terhadap kualitas air limbah khususnya, parameter COD, TSS, nitrat, dan pH merupakan tujuan dari penelitian ini.

Metode Penelitian: adalah eksperimen dengan desain penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan empat perlakuan dosis eco enzim (5, 10, 15, dan 20 ml) dan lima kali ulangan berdasarkan pendekatan kuantitatif eksperimental yang fokus pada pengujian pengaruh dosis eco enzim terhadap parameter kualitas air limbah. Eco enzim dibuat dari bahan organik yaitu kulit jeruk, kulit nanas, dan kulit pisang dengan rasio perbandingan 10 air : 3 bahan organik : 1 gula merah. Penelitian dilakukan pada bulan Januari-April 2025. Sampel limbah yang digunakan adalah limbah domestik yang diambil sebanyak 2 L. Jumlah total unit percobaan adalah 21 sampel, yang terdiri dari 20 perlakuan dan 1 kontrol. Fermentasi dilakukan selama tiga bulan, dan proses bioremediasi dilaksanakan selama delapan hari. Analisa data hasil penelitian disajikan dalam bentuk data univariat dan bivariat menggunakan uji *Kruskal Wallis*.

Hasil: Hasil uji *Kruskal-Wallis* menunjukkan perbedaan signifikan pada COD ($p=0,012$), nitrat ($p=0,017$), dan pH ($p=0,009$), namun tidak signifikan pada TSS ($p=0,115$). Dosis optimal adalah 5 dan 10 ml, karena memberikan hasil terbaik tanpa menurunkan pH secara ekstrem, hal ini tidak hanya didasarkan pada pencapaian nilai BML saja akan tetapi dari aspek stabilitas kualitas air. Pada dosis tersebut, penurunan COD dan nitrat signifikan, sementara nilai pH tetap berada dalam kisaran netral (6-8), yang aman bagi biota perairan. Berbeda dengan dosis 15 ml dan 20 ml, meskipun terjadi penurunan sebagian parameter, kondisi pH turun drastis hingga kisaran 3-4 yang berpotensi menimbulkan efek toksik bagi organisme akuatik, selain itu, dosis 5-10 ml tidak menimbulkan peningkatan signifikan pada TSS, sehingga tidak menambah beban padatan tersuspensi.

Simpulan: eco enzim terbukti efektif dan ramah lingkungan dalam mengurangi pencemaran limbah cair rumah tangga. Rekomendasi dari penelitian ini adalah masyarakat dapat menggunakan eco enzim sebagai solusi murah dan ramah lingkungan dan sebaiknya disaring sebelum digunakan agar tidak menambah kekeruhan air.

Kata kunci: eco enzim; bioremediasi; limbah cair; kulit buah; kualitas air

ABSTRACT**Title: Bioremediation of Domestic Wastewater using Fruit Peel Fermentation Eco Enzyme**

Background: Water pollution in Indonesia, particularly domestic wastewater, is a major problem. According to the Ministry of Environment and Forestry (KLHK)'s Scientific Data Collection (SIPSN) data, organic waste is the primary contributor to the 68.5 million tons of national waste generated in 2021. Approximately 1.3 billion tons of food is wasted annually worldwide, and domestic wastewater has been observed to have a pH that tends to be below the standard of 6 to 9 and COD levels of up to $>1,000$ mg/L, significantly higher than the standard of 100 mg/L. The use of eco-enzymes made from fermented fruit peels as bioremediation agents is an environmentally friendly method. The aim of this study was to test the impact of eco-enzymes derived from a mixture of orange, pineapple, and banana peels on wastewater quality, specifically COD, TSS, nitrate, and pH parameters.

Method: is an experiment with a research design using a Completely Randomized Design (CRD) with four eco enzyme dosage treatments (5, 10, 15, and 20 ml) and five replications based on an experimental quantitative approach that focuses on testing the effect of eco enzyme dosage on wastewater quality parameters. Eco enzyme is made from organic materials, namely orange peel, pineapple peel, and banana peel with a ratio of 10 water: 3 organic materials: 1 brown sugar. The study was conducted in January-April 2025. The waste sample used was domestic waste taken as much as 2 L. The total number of experimental units was 21 samples, consisting of 20 treatments and 1 control. Fermentation was carried out for three months, and the bioremediation process was carried out for eight days. Analysis of research data is presented in the form of univariate and bivariate data using the Kruskal Wallis test.

Result: The Kruskal-Wallis test results showed significant differences in COD ($p=0.012$), nitrate ($p=0.017$), and pH ($p=0.009$), but not significant in TSS ($p=0.115$). The optimal doses were 5 and 10 ml, because they provided the best results without reducing the pH drastically, this was not only based on the achievement of the BML value but also from the aspect of water quality stability. At these doses, the reduction in COD and nitrate was significant, while the pH value remained in the neutral range (6-8), which is safe for aquatic biota. In contrast to the doses of 15 ml and 20 ml, although there was a decrease in some parameters, the pH condition dropped drastically to the range of 3-4 which has the potential to cause toxic effects for aquatic organisms, in addition, the dose of 5-10 ml did not cause a significant increase in TSS, so it did not increase the suspended solids load.

Conclusion: Eco enzymes are proven to be effective and environmentally friendly in reducing household wastewater pollution.

Keywords: eco enzymes; bioremediation; wastewater; fruit peel; water quality

PENDAHULUAN

Permasalahan pengelolaan limbah, khususnya sampah dan limbah cair rumah tangga, masih menjadi isu serius di Indonesia. Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 202 hasil input dari 202 kab/kota se-Indonesia menyebutkan jumlah timbulan sampah nasional mencapai angka 21.1 juta ton, dari total produksi sampah nasional tersebut, 65.71% (13.9 juta ton) dapat terkelola, sedangkan sisanya 34,29% (7,2 juta ton) belum terkelola dengan baik, pada tahun 2021 sampah nasional mencapai 68,5 juta ton, dari jumlah itu 17% atau sekitar 11,6 juta ton disumbang oleh sampah plastik. Menurut data, jumlah sampah meningkat dari tahun 2020 menjadi sekitar 67,8 juta ton. Jika tidak dikelola dengan baik, peningkatan jumlah sampah yang dihasilkan juga berdampak negatif yang lebih besar terhadap lingkungan. Permukiman, tempat kerja, toko ritel, pabrik, area publik, dan lembaga pendidikan merupakan beberapa tempat di Indonesia yang berkontribusi terhadap beban polusi yang tinggi.¹ Salah satu sumber utama sampah ini adalah sampah rumah tangga, yang meliputi limbah cair dari kegiatan memasak dan sampah organik. Produksi sampah organik, termasuk kulit buah, masih

didorong oleh meningkatnya konsumsi buah dan sayur rumah tangga, tetapi pada kenyataannya, teknik pengolahan sampah organik masih sangat rendah.² Kesehatan masyarakat akan terganggu jika sampah organik yang cepat terurai tidak dikelola dengan baik. Studi sebelumnya telah menunjukkan adanya hubungan antara kesehatan akibat penyakit menular dan pengelolaan sampah rumah tangga.³ Menurut Departemen Lingkungan Hidup, Taman dan Rekreasi, Brunei, sekitar 400-500 ton sampah dibuang ke TPA Sungai Paku setiap harinya. Sampah makanan menyumbang persentase tertinggi diikuti oleh kertas dan plastik. Pengurangan limbah padat dapat dimulai secara efektif pada skala rumah tangga dengan mengelola limbah rumah tangga dan dapur. Strategi yang ekonomis dan ramah lingkungan adalah mengubah limbah makanan menjadi produk yang bermanfaat.⁴ Banyak inisiatif yang dilakukan untuk mengelola sampah rumah tangga karena dengan melakukannya sejak awal dapat mengurangi jumlah tumpukan sampah, meningkatkan efisiensi biaya pengangkutan sampah, dan memperpanjang umur tempat pembuangan akhir (TPA).⁵ Untuk mencegah penumpukan sampah yang dapat merusak lingkungan, pengelolaan sampah didasarkan pada tiga prinsip utama: mengurangi pembentukan sampah,

menggunakan kembali sampah, dan mendaur ulang sampah. Prinsip 6R (Refuse, Reduce, Reuse, Recycle, Replace, dan Rot) harus diterapkan dalam pengelolaan sampah demi menjaga keberlanjutan lingkungan, untuk mencegah penumpukan sampah yang dapat merusak lingkungan, pengelolaan sampah didasarkan pada tiga prinsip utama: mengurangi pembentukan sampah, menggunakan kembali sampah, dan mendaur ulang sampah. Prinsip 6R (Refuse, Reduce, Reuse, Recycle, Replace, dan Rot) harus diterapkan dalam pengelolaan sampah demi menjaga keberlanjutan lingkungan.⁶

Sampah organik yang bersumber dari sampah rumah tangga salah satunya adalah sisa sayuran, kulit buah-buahan dan sampah makanan. Hampir sepertiga (mencapai 1,3 miliar ton makanan per tahun) dari produksi makanan dunia untuk konsumsi manusia terbuang sia-sia. Tingginya jumlah limbah makanan ini menyebabkan kerugian ekonomi global sekitar 400 miliar per tahun, di antara berbagai jenis limbah, limbah makanan dapat menghasilkan emisi gas rumah kaca yang paling tinggi, karena menghasilkan penguraian dan proses tidak langsung lainnya termasuk transportasi dan proses pengolahan makanan dan mengalami degradasi melalui proses mikroba alami dan proses lainnya, termasuk transportasi dan penggunaan mesin pengolahan makanan. Oleh karena itu, limbah makanan di tingkat rumah tangga, yang berada di hulu rantai pasokan makanan, memiliki peran krusial dalam membatasi perubahan iklim. Limbah makanan menghasilkan banyak gas dan mendukung proses anaerobik, yang pada akhirnya mengakibatkan bau busuk dan berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca.⁷ Meningkatnya sampah organik di lingkungan rumah tangga sejalan dengan berkembangnya pengetahuan masyarakat bahwa mengonsumsi lebih banyak buah dan sayuran dapat menghasilkan gaya hidup yang lebih baik.⁸ Pengelolaan sampah organik dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya melalui konsep 3R, yaitu reuse dengan memanfaatkan kembali sampah organik menjadi produk yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat.⁹ Pembuatan eco enzim dari limbah organik merupakan salah satu metode pengolahan dan pemanfaatannya. Larutan organik kompleks yang dikenal sebagai eco enzim dihasilkan ketika limbah organik, gula, dan air mengalami fermentasi. Cairan eco enzim berwarna cokelat tua ini memiliki aroma segar dan asam yang kuat.¹⁰ Pengolahan konvensional seperti metode biologis sering kali memerlukan waktu lama dan biaya operasional tinggi, serta membutuhkan lahan yang luas untuk instalasi.¹¹ Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan alternatif yang mampu menjawab tantangan tersebut.

Eco enzim ini pertama kali diperkenalkan oleh Dr. Rosukon Poompanvong yang merupakan pendiri Asosiasi Pertanian Organik Thailand.⁴ Konsep proyek ini adalah mengubah sampah organik yang sering kita buang menjadi enzim untuk digunakan sebagai pembersih organik. Aromanya kuat seperti gula fermentasi dan asam, serta berwarna cokelat tua.¹²

Enzim sampah ini adalah salah satu teknik pengelolaan limbah yang membantu planet ini mencapai tujuan nol limbah dengan mengubah sampah dapur menjadi sesuatu yang sangat bermanfaat.¹³ Ramah lingkungan dengan menghasilkan O₃, atau ozon, gas yang dihasilkan oleh proses fermentasi eco enzim membantu menurunkan emisi gas rumah kaca. Selain itu, eco enzim menghasilkan CO₂ dan NO₃, yang dibutuhkan tanah sebagai nutrisi tanaman.¹⁴ Keistimewaan larutan eco enzim dibandingkan dengan pembuatan kompos adalah tidak memerlukan lahan yang luas untuk proses fermentasi seperti pada proses pembuatan kompos, bahkan produk ini tidak memerlukan bak komposter dengan spesifikasi tertentu.¹⁵ Penelitian terdahulu telah menunjukkan keberhasilan eco enzim efektif mendegradasi deterjen dalam limbah domestik,¹³ sedangkan menurut peneliti lain,¹⁶ melaporkan penurunan kadar COD dan BOD hingga 92% dan 97% dengan bantuan eco enzim sebagai koagulan. Penelitian sejenis juga menunjukkan bahwa ekstrak enzim dari kulit jeruk dan buah musiman efektif dalam memperbaiki kualitas air limbah dengan cara alami.¹⁷ Meski demikian, kajian mengenai kombinasi bahan organik lokal seperti kulit jeruk, nanas, dan pisang masih terbatas, terutama dalam konteks aplikasi untuk pengolahan limbah cair rumah tangga. Ketiga bahan ini memiliki karakteristik kimia yang mendukung fermentasi optimal serta menghasilkan senyawa aktif yang tinggi.¹⁸

Sampah domestik dihasilkan oleh aktivitas rumah tangga selain sampah makanan padat. Air limbah domestik meliputi air cucian bekas, busa deterjen, dan limbah lain dari rumah tangga, bisnis, lembaga, dan tempat usaha sejenisnya.¹¹ Air limbah domestik harus memenuhi baku mutu, yang meliputi BOD maksimum 30 mg/L, COD maksimum 100 mg/L, TSS maksimum 30 mg/L, nitrat maksimum 10 mg/L, dan pH dalam kisaran 6 hingga 9. Hal ini didasarkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Karena kriteria ini menangkap beban pencemaran utama dari kegiatan rumah tangga terutama sampah dapur, yang tinggi kandungan bahan organik dan senyawa kimia lainnya kriteria ini dipilih. Studi ini mengevaluasi efisiensi eco enzim dalam menurunkan konsentrasi polutan agar memenuhi standar kualitas nasional dengan mengacu pada aturan-aturan tersebut. Metode pengolahan optimal untuk air limbah ini adalah pengolahan biologis karena kandungan organik yang tinggi,¹⁷ Namun, jika katalis tidak disertakan, teknik pengolahan biologis seringkali lambat dan tidak mampu mengelola limbah dalam jumlah besar. Enzim berperan sebagai katalis dalam proses biologis. Katalis enzim ini menurunkan penggunaan energi sekaligus mempercepat penguraian sampah. *Sitokrom P450*, *lakase*, *hidrolase*, *dehalogenase*, *dehidrogenase*, *protease*, dan *lipase* adalah enzim yang paling umum digunakan dalam bioremediasi. Enzim-enzim ini dapat

memecah polimer, zat terhalogenasi, hidrokarbon aromatik, pewarna, deterjen, dan agrokimia. Hasil penelitian mereka sangat menggembirakan.¹⁹ Metode bioremediasi tidak memiliki efek samping jangka panjang dan lebih ekonomis serta ramah lingkungan.¹¹

Studi sebelumnya telah menunjukkan efektivitas dan efisiensi pengolahan bioremediasi dalam menurunkan kadar bahan kimia berbahaya dalam limbah cair. Selain itu, bioremediasi merupakan pilihan lain karena memecah klorpirifos menggunakan aktivitas enzim mikroba, yang aman bagi lingkungan dan menghindari polusi sekunder,²⁰ Eco enzim memiliki kemampuan untuk mengolah limbah baik logam, zat organik maupun anorganik karena terdapat kandungan enzimatis didalamnya,²¹ Produk enzim mengandung sejumlah enzim seperti amilase, protease dan lipase.²² Penelitian terkait dengan penggunaan eco enzim telah dilakukan oleh Pratamadina, dkk diperoleh hasil bahwa eco enzim berhasil mendegradasi deterjen pada limbah domestik, penelitian lain oleh oelh Adfira diperoleh bahwa dengan penambahan koagulan eco enzimedapat menurunkan kadar COD dan BOD air limbah sebesar 92% dan 97%.

Penelitian lain juga menyatakan bahwa eco enzim efektif mendegradasi deterjen dalam limbah domestik,^{23 24} sedangkan penelitian lain oleh Restyana melaporkan penurunan kadar COD dan BOD hingga 92% dan 97% dengan bantuan eco enzim sebagai koagulan.¹⁶ Penelitian serupa oleh Shivalik juga menunjukkan bahwa ekstrak enzim dari kulit jeruk dan buah musiman efektif dalam memperbaiki kualitas air limbah dengan cara alami.¹⁷ Meski demikian, kajian mengenai kombinasi bahan organik lokal seperti kulit jeruk, nanas, dan pisang masih terbatas, terutama dalam konteks aplikasi untuk pengolahan limbah cair rumah tangga. Ketiga bahan ini memiliki karakteristik kimia yang mendukung fermentasi optimal serta menghasilkan senyawa aktif yang tinggi,¹⁸ Penelitian ini bertujuan untuk untuk menguji efektivitas eco enzim kulit jeruk, nanas, dan pisang dalam menurunkan kandungan COD, TSS, nitrat, dan memperbaiki pH limbah cair rumah tangga. Penelitian ini merujuk pada Permen LHK No. 68 Tahun 2016 yang menetapkan baku mutu air limbah domestik, yaitu BOD maksimal 30 mg/L, COD 100 mg/L, TSS 30 mg/L, nitrat 10 mg/L, dan pH 6-9. Parameter tersebut dipilih karena merepresentasikan beban pencemar utama dari aktivitas domestik, khususnya limbah dapur. Peneliti tidak melakukan *pre-eliminary study* karena parameter sudah jelas ditetapkan dalam regulasi dan didukung oleh bukti empiris dari penelitian terdahulu yang menunjukkan efektivitas eco enzim terhadap pencemar organik.

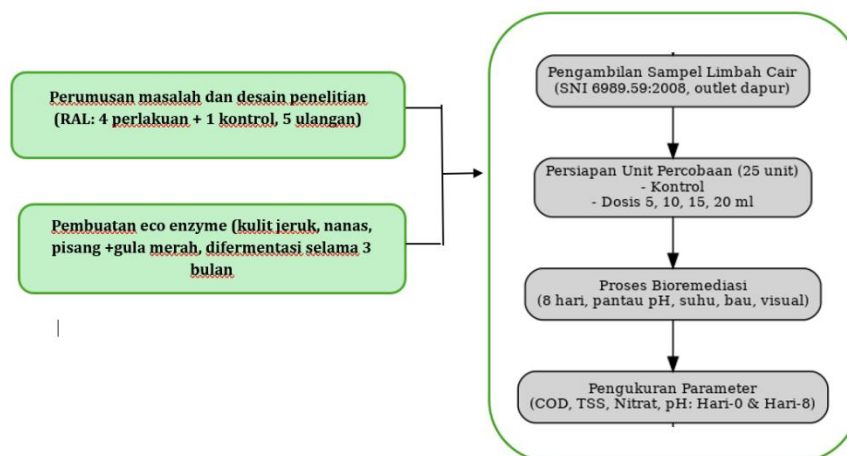
MATERI DAN METODE

Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dalam suasana eksperimental dengan satu variabel, yaitu konsentrasi eco enzim. Terdapat

lima kali ulangan untuk masing-masing dari empat perlakuan, yang mencakup lima dosis berbeda yaitu 5 ml, 10 ml, 15 ml, dan 20 ml, serta satu kelompok kontrol yang tidak menerima eco enzim. Dasar perhitungan yang digunakan berdasarkan rumus *Federer* (RAL) $(t-1)(r-1) \geq 15 = (5-1)(r-1) \geq 15 = 4(r-1) \geq 15$ $r-1 \geq 3,75 = r \geq 4,75$ $r = 5$. Jumlah total unit percobaan adalah 21 sampel, yang terdiri dari 20 perlakuan dan 1 kontrol. Sampel limbah cair diambil dari buangan aktivitas dapur asrama Universitas Muhammadiyah Ahmad Dahlan Palembang. Limbah yang digunakan merupakan limbah domestik organik yang berasal dari aktivitas mencuci, memasak, dan membuang sisa makanan. Volume limbah yang dihasilkan per hari diperkirakan mencapai 10 - 15 m³.

Menggunakan rasio 10:3:1 air, makanan organik, dan gula merah, eco enzyme dibuat dari bahan-bahan organik seperti kulit jeruk, nanas, dan pisang. Setelah bahan-bahan tersebut dipotong dadu halus dan dimasukkan ke dalam wadah tertutup rapat, bahan-bahan tersebut difermentasi selama tiga bulan di tempat teduh dan terhindar dari sinar matahari. Setiap minggu pertama dilakukan pengeluaran gas fermentasi untuk mencegah tekanan berlebih dalam wadah. Setelah proses fermentasi selesai, cairan eco enzim disaring dan siap digunakan. Teknik bioremediasi dilakukan dengan menambahkan larutan eco enzim ke dalam air limbah sesuai dosis yang dibutuhkan dan mengamatinnya selama delapan hari. Pada hari ketujuh, sampel dikumpulkan dan dikirim ke Balai Besar Laboratorium Kesehatan Masyarakat (BBLKM) Palembang untuk pemeriksaan laboratorium. Parameter yang diukur dalam penelitian ini meliputi Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solids (TSS), konsentrasi nitrat, dan nilai pH. Data hasil pengukuran dianalisis menggunakan uji non-parametrik *Kruskal-Wallis* karena hasil uji normalitas menunjukkan bahwa data tidak terdistribusi normal untuk mengetahui efektivitas eco enzyme kulit jeruk, nanas, dan pisang dalam menurunkan kandungan COD, TSS, nitrat, dan memperbaiki pH limbah cair rumah tangga.

Izin dari pihak kampus dan administrasi fasilitas memasak telah diperoleh sebelum prosedur pengambilan sampel dapat dimulai. Standar Nasional Indonesia (SNI 6989.59:2008 tentang Tata Cara Pengambilan Sampel Air Limbah) menjadi pedoman pengambilan sampel air limbah dalam penelitian ini. Pertama sampel diambil secara representatif pada titik utama sumber air limbah. Gunakan wadah sampel yang bersih, material terbuat dari kaca atau plastik inert, dan dibilas terlebih dahulu dengan air limbah yang akan diambil untuk menghindari kontaminasi. Kedua sampel diambil dengan volume disesuaikan dengan kebutuhan minimal 1 liter per parameter dalam penelitian ini diambil 2 L/perlakuan, kemudian sampel diberi label kode, lokasi, waktu, dan perlakuan. Sampel kemudian segera dikirim ke laboratorium untuk dianalisis. Berikut ini disajikan bagan alir proses penelitian



Gambar 1. Bagan Alir Proses Penelitian

Adapun prosedur pengukuran masing-masing parameter berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI): (1) *Chemical Oxygen Demand* (COD). Berdasarkan SNI 6989.2:2019, uji COD dilakukan dengan metode refluks tertutup. Sampel ditambahkan larutan kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) sebagai oksidator kuat dalam suasana asam sulfat pekat, kemudian dipanaskan dalam tabung refluks tertutup. Setelah reaksi selesai, sisa $K_2Cr_2O_7$ dititrasi menggunakan larutan ferrous ammonium sulfate (FAS). Nilai COD dihitung dari jumlah oksidator yang bereaksi dengan senyawa organik dalam sampel. (2) *Total Suspended Solids* (TSS). Mengacu pada SNI 6989.3:2019, sampel disaring melalui kertas saring dengan ukuran pori tertentu ($0,45\ \mu m$). Residu padatan yang tertahan di atas kertas saring dikeringkan pada suhu $103\text{--}105\ ^\circ C$ hingga berat konstan. Perbedaan massa sebelum dan sesudah pengeringan dihitung sebagai konsentrasi TSS dalam mg/L. (3) Nitrat (NO_3). Uji nitrat dilakukan sesuai SNI 6989.79:2011 dengan metode spektrofotometri UV. Sampel disaring terlebih dahulu, lalu kadar nitrat diukur berdasarkan intensitas serapan cahaya pada panjang gelombang 220 nm dengan spektrofotometer UV-Vis. Konsentrasi nitrat ditentukan melalui kurva standar larutan nitrat. (4) Derajat Keasaman (pH) merujuk pada SNI 06-6989.11:2004 dengan metode elektrometri. Sampel diukur langsung menggunakan pH meter yang telah dikalibrasi dengan larutan buffer standar pH 4, 7, dan 10. Elektroda dicelupkan ke dalam sampel hingga diperoleh angka stabil, lalu hasil ditampilkan dalam skala pH.

Dokumentasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4. Gambar 2 adalah bak penampungan air limbah yang berumur dari aktivitas asrama mahasiswa, perkantoran Universitas Muhammadiyah Ahmad Dahlan Palembang dengan

volume air limbah yang dihasilkan $10\text{--}15 m^3$ /hari yang bersumber dari asrama mahasiswa, dapur, perkantoran dan laboratorium non medis.



Gambar 2. Titik Lokasi Pengambilan Sampel Air Limbah

Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2025



Gambar 3. Kotak Pengujian Sampel

Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2025

Gambar 3. diatas ini adalah wadah percobaan yang digunakan dalam proses bioremediasi air limbah dengan penambahan eco enzim. Wadah dibuat dari bahan akrilik transparan sehingga memudahkan pengamatan visual terhadap perubahan warna, kejernihan, dan kondisi limbah selama perlakuan. Masing-masing wadah memiliki kapasitas 2 liter dan diberi label sesuai perlakuan (kontrol, dosis 5 ml, 10 ml, 15 ml, dan 20 ml) untuk memastikan keteraturan dalam rancangan percobaan.



Gambar 4. Proses Bioremediasi Limbah Cair dengan Eco Enzim
Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2025

Gambar 4. menunjukkan kondisi awal air limbah yang telah diberi perlakuan dengan eco enzim pada variasi dosis berbeda, secara visual tampak adanya perbedaan warna dan tingkat kekeruhan antar wadah, yang menunjukkan proses awal interaksi antara limbah cair dapur dengan eco enzim. Gelembung dan endapan di permukaan menandakan adanya aktivitas biologis dan proses degradasi organik yang sedang berlangsung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilaksanakan dari Januari hingga April 2025 di Universitas Muhammadiyah Ahmad Dahlan, Palembang. Sampel limbah cair rumah tangga dikumpulkan dari dapur asrama mahasiswa, dan sampel tersebut diperiksa oleh Balai Besar Laboratorium Kesehatan dan Masyarakat (BBLKM) Palembang. Proses penelitian mencakup beberapa tahap utama, yaitu fermentasi eco enzim selama tiga bulan, pengaplikasian perlakuan dalam proses bioremediasi selama delapan hari, dan pengukuran parameter kualitas air melalui analisis laboratorium. Berikut ini adalah hasil pengukuran terhadap parameter air limbah.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sampel sebelum Penambahan Eco Enzim

No.	Parameter	Satuan	Konsentrasi	Baku Mutu* (Permen LH No. 68 2016)
1.	COD	mg/L	39261,000	100 mg/L
2.	TSS	mg/L	12,869	30 mg/L
3.	pH	mg/L	4,308	6-9
4.	Nitrat	mg/L	6,75	10 mg/L

Sumber: Data Primer 2025

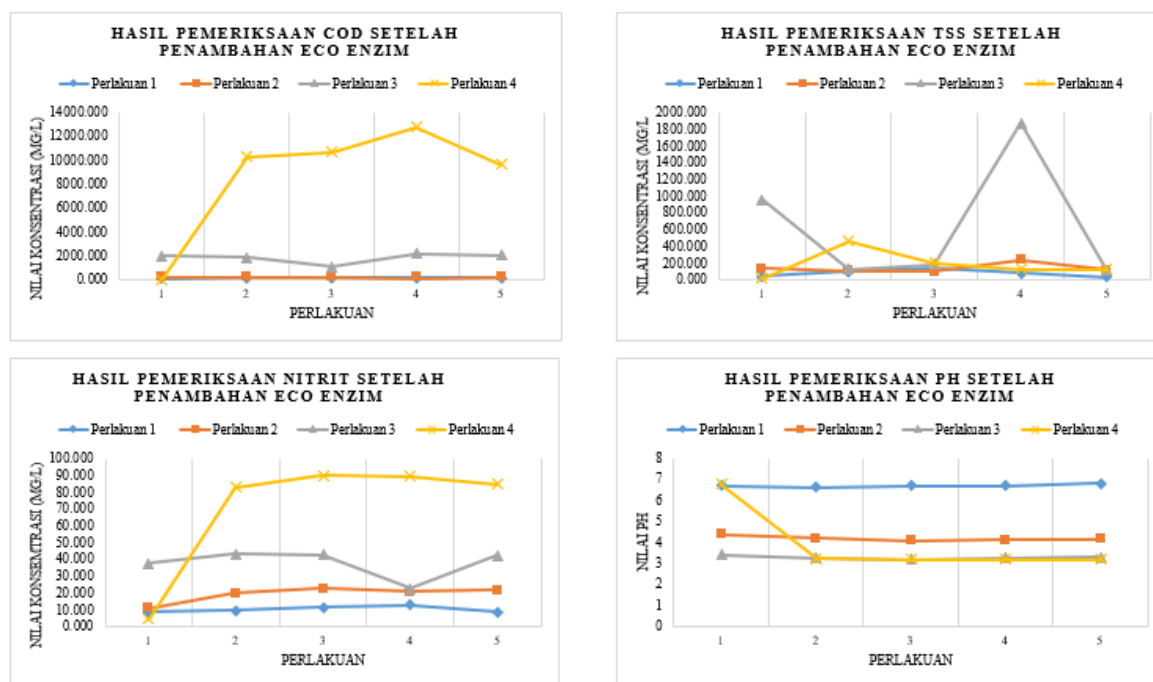
Tabel 1. diatas menunjukkan kualitas air limbah sebelum dilakukan perlakuan dengan eco enzim, diketahui bahwa nilai (COD) mencapai 39,261 mg/L,

yang berarti melebihi ambang batas baku mutu sebesar 100 mg/L sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 68 Tahun 2016. Nilai ini menandakan bahwa limbah mengandung konsentrasi bahan organik yang sangat tinggi, yang memerlukan oksigen dalam jumlah besar untuk proses dekomposisi biologis. Parameter kedua, yaitu TSS, menunjukkan nilai 12,869 mg/L, yang masih berada di bawah batas maksimum yang diperkenankan, yakni 30 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun secara kandungan zat padat tersuspensi limbah belum melebihi batas baku mutu, keberadaan TSS tetap dapat berkontribusi terhadap kekeruhan air dan penurunan kualitas perairan jika dibiarkan tanpa pengolahan. Selanjutnya, nilai pH dari air limbah sebelum perlakuan tercatat sebesar 4,308, yang berarti bersifat asam dan di bawah kisaran baku mutu pH air limbah domestik yaitu 6-9. Nilai pH ini dapat memengaruhi proses biologis alami di badan air, serta berpotensi mengganggu ekosistem mikroorganisme dan organisme air lainnya. Parameter terakhir, yaitu kandungan nitrat, terukur sebesar 6,75 mg/L, yang masih berada dalam batas aman karena belum melampaui baku mutu sebesar 10 mg/L. Meskipun demikian, kandungan nitrat tetap perlu diawasi karena jika terakumulasi dapat menimbulkan risiko eutrofikasi dan gangguan kualitas air lebih lanjut.

Hasil uji parameter COD pada gambar 5 menunjukkan bahwa *eco enzyme* mampu menurunkan kadar COD secara signifikan, terutama pada dosis rendah (5 ml dan 10 ml). Rata-rata nilai COD terendah ditemukan pada perlakuan 1 dengan nilai 131,62 mg/L, sedangkan nilai tertinggi tercatat pada perlakuan 4 sebesar 9634,66 mg/L. Pada parameter TSS, ditemukan bahwa nilai TSS tertinggi terjadi pada perlakuan 3 (15 ml), khususnya pada ulangan ke-4 yang mencapai 1871,429 mg/L. Sementara itu, perlakuan 1 dan 2

memperlihatkan nilai yang lebih rendah dan relatif stabil. Meskipun terdapat tren peningkatan TSS pada dosis eco enzim yang tinggi, uji statistik menghasilkan $p = 0,115$, yang berarti tidak terdapat perbedaan signifikan antar perlakuan. Hal ini disebabkan oleh residu padatan hasil fermentasi seperti sisa kulit buah yang belum terdekomposisi, karena penelitian ini tidak melakukan proses filtrasi atau pengendapan lanjutan, partikel tersebut ikut terukur sebagai TSS. Studi terdahulu juga menegaskan bahwa kadar TSS sangat

dipengaruhi oleh teknik filtrasi dan waktu pengendapan. Oleh karena itu, peningkatan TSS lebih disebabkan oleh karakteristik eco enzim dan keterbatasan metode, bukan dari efektivitas bioremediasi itu sendiri.¹⁶ mengemukakan bahwa keberhasilan penurunan TSS bergantung pada waktu endapan dan filtrasi, dua hal yang tidak dilakukan secara intensif dalam penelitian ini.



Gambar 5. Hasil Pemeriksaan Sampel Air Limbah untuk Parameter COD, TSS, Nitrit, pH

Parameter nitrat, nilai tertinggi tercatat pada perlakuan 4 (84,480 mg/L), sedangkan perlakuan 1 memiliki nilai terendah sekitar 8,365 mg/L. Uji Kruskal-Wallis menghasilkan nilai $p = 0,017$, menunjukkan perbedaan yang signifikan. Kenaikan nitrat pada dosis tinggi diduga karena aktivitas mikroorganisme yang meningkat dalam fermentasi eco enzim, yang menyebabkan mineralisasi senyawa nitrogen menjadi nitrat. Hasil ini sesuai dengan pendapat Tathcer yang menyatakan bahwa bahan substrat kaya nitrogen seperti kulit buah dapat berkontribusi terhadap peningkatan kadar nitrat jika tidak dikontrol.¹⁸ Sementara itu, pengukuran pH memperlihatkan penurunan yang signifikan pada perlakuan dengan dosis eco enzim tinggi. Eco enzim

dapat membunuh kuman, bakteri, dan virus karena memiliki kandungan asam asetat dan alkohol.²⁵ Perlakuan 1 menghasilkan pH netral (6,68-6,82), sedangkan perlakuan 3 dan 4 menghasilkan pH sekitar 3,17-3,28 yang tergolong sangat asam. Nilai p dari uji Kruskal-Wallis adalah 0,009, menunjukkan bahwa penambahan eco enzim secara signifikan mempengaruhi keasaman limbah. Penurunan pH ini disebabkan oleh hasil fermentasi yang menghasilkan asam organik seperti asam asetat dan asam sitrat. Temuan ini selaras dengan teori yang menyatakan bahwa proses fermentasi limbah organik cenderung menghasilkan larutan dengan sifat asam yang kuat.⁴

Tabel 2. Hasil Uji Kruskal Wallis

	Parameter COD	Parameter TSS	Parameter Nitrat	pH
Chi Square	11,000	5,932	10,177	11,566
df	3	3	3	3
Asymp.Sig.	0,012	0,115	0,017	0,009

Berdasarkan hasil analisis, pemberian eco enzim secara signifikan menurunkan beban polutan

organik, terbukti dari perbedaan parameter COD yang signifikan ($p=0,012$). Hasil ini sejalan dengan

penelitian Adfira (2022) yang menunjukkan bahwa enzim fermentasi dapat memecah molekul organik kompleks dalam air limbah dengan menggunakan eco enzim sebagai koagulan, sehingga menurunkan kadar COD dan BOD dalam air limbah domestik masing-masing hingga 92% dan 97%. Pada parameter nitrat, uji *Kruskal-Wallis* juga menunjukkan hasil yang signifikan ($p=0,017$). Hal ini menandakan bahwa eco enzim memiliki efektivitas dalam mereduksi kandungan senyawa nitrogen di dalam air limbah. Penurunan kandungan nitrat dalam penelitian ini diperkuat oleh studi sebelumnya yang menyatakan bahwa enzim hasil fermentasi buah-buahan musiman, terutama kulit jeruk dan nanas, mampu memfasilitasi proses nitrifikasi dan denitrifikasi melalui aktivitas mikroba dalam lingkungan fermentasi anaerob.¹⁷ Selain itu, hasil ini juga sesuai dengan kajian lain yang menyebutkan bahwa enzim-enzim seperti nitrat reduktase dan *dehidrogenase* berperan penting dalam bioremediasi senyawa anorganik termasuk nitrat. Pada parameter pH, terdapat perbedaan yang signifikan ($p = 0,009$), di mana peningkatan dosis eco enzim menyebabkan penurunan pH secara konsisten.¹⁹ Hal ini terkait dengan proses fermentasi yang menghasilkan asam organik seperti asam laktat, asam sitrat, dan asam asetat dari bahan organik seperti kulit buah dan gula merah.

Hasil ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa karakteristik kimia dari eco enzim yang berasal dari fermentasi bahan organik domestik biasanya bersifat asam, dengan pH bervariasi antara 3 dan 4, bergantung pada komposisi bahan dan lamanya fermentasi.²⁶ Oleh karena itu, meskipun eco enzim efektif dalam menurunkan tingkat polusi, pH akhir harus diperbaiki sebelum dilepaskan ke air. Proses fermentasi bahan organik oleh mikroorganisme (terutama bakteri asam laktat, khamir, dan jenis bakteri lainnya) memecah senyawa organik kompleks dari kulit buah dan gula merah menjadi asam organik seperti asam laktat, asam sitrat, dan asam asetat (cuka), sehingga kondisi pH dalam penelitian ini cenderung asam. Asam-asam ini secara alami menurunkan pH larutan dan merupakan produk metabolisme utama fermentasi anaerob. Penelitian serupa menunjukkan bahwa bila diterapkan dalam jumlah yang signifikan, eco enzim yang berasal dari bahan organik yang difermentasi dapat menurunkan pH air limbah karena biasanya memiliki pH antara 3 dan 5.²⁷ Aspek lainnya adalah melimpahnya asam alami dalam kulit buah, seperti kulit nanas dan jeruk, yang memiliki konsentrasi asam askorbat (vitamin C) dan asam sitrat yang tinggi. Selama fermentasi, polifenol dan tanin asam yang terdapat dalam kulit pisang dapat terurai menjadi asam organik dan senyawa fenolik. Selain itu, ketiganya mengandung pektin dan selulosa, yang dapat menghasilkan senyawa yang lebih asam saat terurai secara hayati.

Hal ini berbeda dengan parameter TSS, yang tidak menunjukkan perubahan signifikan antar

perlakuan dengan nilai $p 0,115$. Data ini menunjukkan bahwa eco enzim tidak secara konsisten mengubah jumlah partikel tersuspensi dalam air limbah, meskipun terdapat variasi nilai TSS yang signifikan antar replikasi, terutama pada dosis yang lebih tinggi (15-20 ml). Hal ini mungkin disebabkan oleh aktivitas dekomposisi yang menguraikan bahan organik menjadi partikel halus tanpa proses sedimentasi yang optimal. Kesimpulan ini diperkuat oleh Deepak, yang menjelaskan mengapa, tanpa koagulan tambahan atau filtrasi, enzim lebih efisien dalam menguraikan zat organik terlarut daripada dalam memisahkan partikel padat tersuspensi.¹² Temuan penelitian ini juga konsisten dengan penelitian yang dilakukan oleh Liu menunjukkan bahwa eco enzim dapat mengurangi TSS secara signifikan pada air limbah industri ketika digunakan pada konsentrasi yang tepat,²⁸ dengan demikian meskipun terdapat tren penurunan TSS, efektivitas eco enzim dalam menurunkan TSS belum terbukti secara signifikan. Hasil penelitian Dirgahayu menyebutkan kemampuan eco enzim untuk menurunkan padatan tersuspensi pada konsentrasi tertentu ditunjukkan oleh nilai rata-rata 32,63 mg/L untuk total padatan tersuspensi (TSS), yang berkisar antara 6,96 mg/L hingga 71,43 mg/L.²⁹ Namun, pada konsentrasi lain, terjadi peningkatan. Secara keseluruhan, hasil uji bivariat menunjukkan bahwa eco enzim kombinasi kulit jeruk, nanas, dan pisang memiliki efektivitas yang baik dalam menurunkan kadar COD, nitrat, dan pH, namun masih belum signifikan terhadap TSS. Penelitian ini memperkuat literatur yang menyatakan bahwa penggunaan bio enzim alami hasil fermentasi limbah organik dapat menjadi solusi pengolahan limbah cair rumah tangga yang efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan.^{10,21} Penelitian ini membuktikan bahwa pendekatan berbasis bahan alami dan lokal seperti kulit jeruk, nanas, dan pisang tidak hanya murah dan mudah dibuat, tetapi juga terbukti memberikan dampak positif dalam memperbaiki kualitas air limbah. Oleh karena itu disarankan untuk menggunakan eco enzim dalam dosis 5-10 ml sebagai perlakuan yang paling optimal.^{16,15}

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat dijelaskan bahwa penggunaan eco enzim berpotensi besar sebagai agen bioremediasi limbah cair domestik, namun efektivitasnya sangat bergantung pada dosis dan karakteristik fisik larutan. Dosis rendah (5-10 ml) terbukti lebih stabil karena mampu menurunkan COD dan nitrat tanpa menimbulkan peningkatan TSS maupun penurunan pH secara ekstrem. Sebaliknya, dosis tinggi justru memperlihatkan adanya keterbatasan, terutama terkait kontribusi residu fermentasi terhadap TSS. Hal ini mengindikasikan bahwa keberhasilan eco enzim tidak hanya ditentukan oleh aktivitas biologisnya, tetapi juga oleh kualitas fisik hasil fermentasi, seperti tingkat kejernihan dan kandungan padatan, sehingga penting proses tambahan seperti penyaringan atau pengendapan) sebelum

digunakan, agar hasilnya lebih optimal dan risiko peningkatan TSS dapat dihindari.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa eco enzim dari kulit jeruk, nanas, dan pisang efektif menurunkan COD dan nitrat pada limbah cair rumah tangga, dengan dosis optimal 5-10 ml. Pada dosis ini, polutan berkurang signifikan tanpa meningkatkan TSS maupun menurunkan pH secara ekstrem. Sebaliknya, dosis lebih tinggi (15-20 ml) justru menimbulkan efek negatif berupa peningkatan TSS dan penurunan pH. Berdasarkan temuan ini, direkomendasikan agar masyarakat menggunakan eco enzim pada dosis rendah (5-10 ml per liter limbah) dan melakukan penyaringan sebelum aplikasi untuk mengurangi residu padatan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan melakukan standarisasi kualitas eco enzim, uji pada jenis limbah domestik lain (laundry/kamar mandi), pembandingan dengan metode konvensional, serta analisis aspek ekonomi agar penerapan lebih komprehensif dan aplikatif.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kemenko PMK RI. Jumlah Timbulan Sampah di Indonesia. 2023.
2. Rahardyan. B. Analisis Pengelolaan Sampah Makanan di kota Bandung. J Tek Lingkung. 2013;19(April):34–45.
<https://doi.org/10.5614/jtl.2013.19.1.4>
3. Nuraini U, Lubis E, Dewi A, Komunitas DK, Keperawatan F, Binawan U, et al. Hubungan Pengelolaan Sampah Rumah Tangga terhadap Status Kesehatan Penyakit Menular menurut data Badan Pusat Statistik pada tahun 2021 Indonesia Sungai Citarum merupakan sungai yang sangat vital dan strategis ., Ners J Keperawatan. 2022;18(1):27–36.
<https://doi.org/10.25077/njk.v18i1.102>
4. Chin YY, Goeting R, Alas Y, Shivanand P. From fruit waste to enzymes. Sci Bruneiana. 2018;17(2):1–12.
<https://doi.org/10.46537/scibru.v17i2.75>
5. Rosmala A, Mirantika D, Rabbani W. Takakura Sebagai Solusi Penanganan Sampah Organik Rumah Tangga. Abdimas Galuh. 2020;2(2):165.
<https://doi.org/10.25157/ag.v2i2.4088>
6. Sari D. Pengelolaan sampah organik dan anorganik. 2023.
7. Zaman B, Pancasakati K H, Hersugondo H, Idris I, Kegiatan A. Pengelolaan Sampah di Lingkungan Pondok Pesantren Attauhiddiyah Giren Talang Kabupaten Tegal. J Pasopati [Internet]. 2021;3(4):209–13. Available from: <http://ejournal2.undip.ac.id/index.php/pasopati>
8. Dewi SP, Devi S, Ambarwati S. Pembuatan dan Uji Organoleptik Eco-enzyme dari Kulit Buah Jeruk. In: Seminar Nasional Hubisintek. 2021. p. 649–57.
9. Hidayah N, Irianto RY, Mulyati SS. Analisis Eco Enzyme Berbahan Baku Kulit Jeruk Nipis dan Kulit Pisang Sebagai Antimikroba. J Kesehat Lingkung Indones. 2025;24(1):21–7.
<https://doi.org/10.14710/jkli.64990>
10. M. Hemalatha and P.Visantini. Potential use of eco-enzyme for the treatment of metal based effluent Potential use of eco-enzyme for the treatment of metal based effluent. In: Bioprocessing and Biomanufacturing Symposium. 2019. p. 1–6.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/716/1/012016>
11. Kholif, M. dkk. Penurunan Beban Pencemar pada Limbah Domestik dengan menggunakan Moving Bed Biofilterreaktor(MBBR). Al ARD J Tek Lingkung. 2018;4(1):1–9.
<https://doi.org/10.29080/alard.v4i1.365>
12. Deepak verma. et al. Use of Garbage Enzyme for Treatment of Waste Water. Int J Sci Res Rev. 2019;7(7):201–5.
13. Farma SA, Handayani D, Leilani I, Putri E, Putri DH. Pemanfaatan Sisa Buah dan Sayur sebagai Produk ECOBY Ecoenzyme di Kampus Universitas Negeri Padang. Suluah Bedang J Pengabd Kpd Masy. 2021;1(2):81–8.
<https://doi.org/10.24036/sb.01180>
14. Budiyanto CW, Yasmin A, Fitdaushi AN, Sitta AQ, Rizqia Z, Safitri AR, et al. Mengubah Sampah Organik Menjadi Eco Enzym Multifungsi: Inovasi di Kawasan Urban. Dedikasi, Community Serv Reports. 2022;4(1):31–8.
<https://doi.org/10.20961/dedikasi.v4i1.55693>
15. Pebriani TH, S AAHW, Hanhadyanaputri ES, Sulistyarini I, Cahyani IM, Kresnawati Y, et al. Pemanfaatan Kulit Buah sebagai Bahan Baku Eco-enzyme di Dusun Demungan. J Pengabd Kpd Masy. 2022;4(2):43–9.
<https://doi.org/10.53359/dimas.v4i2.43>
16. Restiyana A. Aplikasi Eco-Enzyme sebagai Rekayasa Teknologi Berkelanjutan dalam Pengolahan Air Limbah Industri di Yogyakarta. 2024;
17. Shivalik Y, Goyal A. Treatment of Domestic Waste Water using Organic Bio-Enzymes Extracted from Seasonal Citrus Fruits. Int J Res Appl Sci Eng Technol. 2022;10(8):1023–6.
<https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.46327>
18. Tathcer. Helena. dkk. Pemanfaatan Sampah Organik dan Tanaman Lokal Menjadi Eco-Enzyme bagi Masyarakat Desa Lumban Pea Timur Balige. Methabdi J Pengabd Masy. 2022;2(1):58–63.
<https://doi.org/10.46880/methabdi.Vol2No1.pp58-63>
19. Bhandari S, Poudel DK, Marahatha R, Dawadi S, Khadayat K, Phuyal S, et al. Microbial Enzymes Used in Bioremediation. J Chem. 2021;2021:1–17.
<https://doi.org/10.1155/2021/8849512>
20. Turista.R.D.D. Biodegradasi limbah cair organik

- menggunakan konsorsium bakteri sebagai bahan penyusunan buku ajar matakuliah pencemaran lingkungan. *J Pendidik Biol Indones.* 2017;3(2):95–102.
21. Janarthanan., Manim K. & RSR. Purification of Contaminated Water Using Eco Enzyme. In: IOP Conference Series (Material Science and Engineering). 2020. p. 1–6. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/955/1/012098>
 22. Selvakumar P, Sivashanmugam P. Optimization of lipase production from organic solid waste by anaerobic digestion and its application in biodiesel production. *Fuel Process Technol.* 2017;165:1–8. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2017.04.020>
 23. Pratamadina E, Wikaningrum T. Potensi Penggunaan Eco Enzyme pada Degradasi Deterjen dalam Air Limbah Domestik. *J Serambi [Internet]*. 2022; Available from: <http://ojs.serambimekkah.ac.id/jse/article/view/3881>. <https://doi.org/10.32672/jse.v7i1.3881>
 24. Suprayogi D, Asra R, Mahdalia R, Biologi PS, Sains F, Jambi U. Analisis Produk Eco Enzyme dari Kulit Buah Nanas (*Ananas comosus* L .) dan Jeruk Berastagi (*Citrus X sinensis* L .). 2022;7:19–27. <https://doi.org/10.31851/redoks.v7i1.8414>
 25. Wang Z, Yu X, Li J, Wang J, Zhang L. The use of Biobased Surfactant Obtained by Enzymatic Syntheses for Wax Deposition Inhibition and Drag Reduction in Crude Oil Pipelines. *Catalysts.* 2016;6(61):2–16. <https://doi.org/10.3390/catal6050061>
 26. Nururrahmani, A. D. Ekoenzim dari Berbagai Jenis Kulit Jeruk. *Higiene.* 2021;9(1):31–5.
 27. Varshini B, Gayathri V. Role of Eco-Enzymes in Sustainable Development. *Nat Environ Pollut Technol.* 2023;22(1):1299–310. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2023.v22i03.017>
 28. Liu S, Chang X, Liu X, Shen Z. Effects of pretreatments on Anthocyanin Composition , Phenolics Contents and Antioxidant Capacities during Fermentation of Hawthorn (*Crataegus pinnatifida*) drink. *Food Chem.* 2016;(212):87–95. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.146>
 29. Dirgahayu., Hefnita. dkk. Pengaruh Eco-Enzyme dalam Menurunkan Polutan Air Limbah Cair. *J Promot Prev.* 2024;7(6):1275–87.



©2025. This open-access article is distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.