

Pemanfaatan Limbah Kulit Buah Sebagai *Ecoenzyme* Untuk Pengolahan *Palm Oil Mill Effluent*

Netri Elisma^{1*}, M Iklas Armin¹, Miftahurrahmah¹, Apsari Puspita Aini¹, Melysa Putri¹

¹ Prodi Teknik Kimia Bahan Nabati, Politeknik ATI Padang
Jl. Bungo Pasang, Tabing, Padang, Sumatera Barat, 25171

*Email: elismanetri@gmail.com

Abstrak

Industri kelapa sawit memiliki peranan yang sangat penting dalam perekonomian global, terutama di Indonesia sebagai produsen utama minyak sawit. Namun, proses produksinya menghasilkan limbah cair yang signifikan, dikenal sebagai *Palm Oil Mill Effluent (POME)*, yang kaya akan bahan organik seperti *Biological Oxygen Demand (BOD)*, *Chemical Oxygen Demand (COD)*, *Total Suspended Solids (TSS)*, serta minyak dan lemak sisa produksi. Jika tidak dikelola dengan tepat, POME dapat mencemari lingkungan dan mengganggu ekosistem sekitar industri sawit tersebut. Metode pengolahan konvensional seperti kolam anaerobik, flotasi udara terinduksi, dan koagulasi-flokulasi memiliki keterbatasan, termasuk waktu proses yang lama dan biaya tinggi. Sebagai alternatif, penggunaan *eco-enzyme* yang dihasilkan dari fermentasi limbah organik, seperti kulit buah-buahan, menawarkan solusi yang lebih efisien dan ramah lingkungan. *Eco-enzyme* mengandung enzim seperti lipase, protease, dan amilase yang efektif dalam memecah komponen organik kompleks dalam POME, sehingga menurunkan kadar BOD, COD, dan TSS secara alami. Selain itu, kandungan asam organik dan senyawa fenolik dalam *eco-enzyme* dapat menetralkan pH asam dan mengadsorpsi logam berat dalam POME. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi *eco-enzyme* sebagai teknologi pengolahan limbah POME yang berkelanjutan, sekaligus mendukung konsep zero waste dan ekonomi sirkular dalam industri kelapa sawit.

Kata kunci: *Ecoenzyme*, limbah, POME, BOD, COD, TDS.

Abstract

The palm oil industry plays a crucial role in the global economy, particularly in Indonesia as one of the leading producers of palm oil. However, its production process generates a substantial amount of liquid waste known as *Palm Oil Mill Effluent (POME)*, which is rich in organic pollutants, including *Biological Oxygen Demand (BOD)*, *Chemical Oxygen Demand (COD)*, *Total Suspended Solids (TSS)*, as well as residual oil and grease. If not properly managed, POME can lead to environmental pollution and disrupt surrounding ecosystems. Conventional treatment methods, such as anaerobic ponds, induced air flotation, and coagulation-flocculation, present several limitations, including prolonged processing time and high operational costs. As an alternative, the use of *eco-enzyme* derived from the fermentation of organic waste, such as fruit peels, offers a more efficient and environmentally friendly solution. *Eco-enzyme* contains active enzymes, including lipase, protease, and amylase, which are effective in degrading complex organic compounds in POME, thereby naturally reducing BOD, COD, and TSS levels. Furthermore, the presence of organic acids and phenolic compounds in *eco-enzyme* contributes to pH neutralization and facilitates the adsorption of heavy metals in POME. This study aims to explore the potential of *eco-enzyme* as a sustainable technology for POME treatment, while also supporting the principles of zero waste and circular economy within the palm oil industry.

Kata kunci: *Eco-enzyme*, wastewater, POME, BOD, COD, TDS.

1. LATAR BELAKANG

Industri kelapa sawit merupakan salah satu sektor strategis dalam perekonomian global, khususnya di Indonesia sebagai produsen minyak sawit terbesar di dunia. Namun, di balik kontribusinya terhadap sektor agribisnis, industri ini menghasilkan limbah dalam jumlah besar, salah satunya adalah

Palm Oil Mill Effluent (POME) (Basri et al., 2023). POME merupakan limbah cair yang berasal dari proses ekstraksi minyak sawit dan memiliki kandungan organik yang sangat tinggi, seperti *Biological Oxygen Demand (BOD)*, *Chemical Oxygen Demand (COD)*, *Total Suspended Solids (TSS)*, serta minyak dan lemak (*Total Oil & Grease/TOG*). Jika

tidak diolah dengan baik, POME dapat mencemari lingkungan, menyebabkan eutrofikasi perairan, dan menimbulkan dampak negatif bagi ekosistem.

Saat ini, metode konvensional yang digunakan dalam pengolahan POME antara lain sistem kolam anaerobik, flotasi udara terinduksi (IAF), dan koagulasi-flokulasi. Namun, metode ini memiliki beberapa kelemahan, seperti waktu pengolahan yang lama, biaya tinggi, serta masih adanya residu pencemar. Oleh karena itu, diperlukan teknologi alternatif yang lebih efektif, ramah lingkungan, dan ekonomis dalam mengatasi pencemaran POME. (Lin et al., 2020; Rasit & Chee Kuan, 2018).

Salah satu solusi yang berpotensi untuk diterapkan adalah penggunaan *Ecoenzyme*, yaitu cairan hasil fermentasi limbah organik seperti kulit buah-buahan yang mengandung enzim alami serta senyawa bioaktif yang dapat membantu proses biodegradasi. *Ecoenzyme* mengandung enzim seperti lipase, protease, dan amilase yang dapat membantu memecah minyak, protein, dan karbohidrat kompleks dalam POME, sehingga menurunkan kadar BOD, COD, dan TDS secara alami. Selain itu, kandungan asam organik dan senyawa fenolik dalam *Ecoenzyme* juga berpotensi membantu menetralkan pH asam dalam POME dan mengadsorpsi logam berat yang mungkin terkandung di dalamnya (Basri et al., 2023; Galintin et al., 2021; Gumilar, 2023).

Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa limbah kulit buah seperti nanas, pepaya, dan semangka mengandung senyawa bioaktif yang berpotensi dalam pengolahan limbah. Kulit nanas mengandung bromelain, flavonoid, dan polifenol yang memiliki aktivitas antioksidan tinggi. Kulit pepaya kaya akan enzim papain, yang efektif dalam pemecahan senyawa organik kompleks. Kulit semangka mengandung likopen dan citrulline, yang berperan dalam proses detoksifikasi. Sementara itu, kulit jeruk kaya akan flavonoid dan minyak esensial dengan sifat antimikroba dan antioksidan, serta kulit pisang mengandung tanin, saponin, dan flavonoid, yang membantu dalam degradasi polutan organik dan mikroba dalam limbah (Gumilar, 2023; Harlin & Handayani, 2024).

Dengan memanfaatkan limbah kulit buah-buahan sebagai bahan baku *Ecoenzyme*, penelitian ini tidak hanya menawarkan solusi

untuk pengolahan limbah POME, dan juga berkontribusi dalam mengurangi jumlah limbah organik, sehingga mendukung konsep zero waste dan ekonomi sirkular dalam industri kelapa sawit. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi pengembangan teknologi pengolahan limbah yang lebih berkelanjutan, hemat biaya, dan mudah diterapkan di industri sawit.

Tabel 1. Variabel Penelitian

No	<i>Ecoenzyme</i>	Konsentrasi (%)
1	Kulit Nanas	5
		10
		15
		20
		25
2	Kulit Pepaya	5
		10
		15
		20
		25
3	Kulit Semangka	5
		10
		15
		20
		25

2. METODOLOGI

2.1. Pembuatan *Ecoenzyme*

Pembuatan ekoenzim dilakukan mengikuti metode yang digunakan oleh (Murdiana et al., 2022) dengan langkah-langkah sebagai berikut. Bahan-bahan organik yang digunakan yaitu kulit buah disortir, dicuci dan dipotong, kemudian bahan dicampurkan dengan air dan gula merah dengan perbandingan air: bahan organik: gula aren adalah 10:3:1 dalam wadah tertutup yang volumenya cukup untuk menampung gas dan penambahan volume cairan yang dihasilkan dari proses fermentasi.

Campuran untuk membuat ecoenzim diaduk rata, sebelum wadah ditutup rapat. Campuran difermentasi selama 3 bulan.

2.2. Uji Kinerja Ecoenzyme pada POME

Pengolahan limbah POME dengan ecoenzyme. POME dicampurkan dengan ecoenzyme dalam rasio tertentu, dan dibiarkan dalam kondisi tertentu (suhu dan waktu) agar enzim melakukan penguraian. Proses ini dapat dilakukan di dalam wadah tertutup selama 1 minggu. Berikut ini adalah variabel yang digunakan dalam penelitian. Adapun analisis parameter yang dilakukan meliputi analisis TDS, COD, dan BOD.

3. HASIL

3.1. Perubahan TDS Selama Fermentasi

Peningkatan konsentrasi *ecoenzyme* memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai TDS (*Total Dissolved Solid*) pada limbah POME selama proses pengolahan. Berdasarkan data hasil penelitian, terlihat bahwa nilai TDS awal meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi *ecoenzyme* dari 5% hingga 25%.

Tabel 2. Hasil Pengukuran TDS

POME+ <i>Ecoenzyme</i>	TDS (ppm)			
	Hari ke-0	Hari ke-4	Hari ke-8	Hari ke-12
Nenas 5%	239	225	210	195
Nenas 10%	420	390	350	330
Nenas 15%	492	460	420	395
Nenas 20%	641	580	520	480
Nenas 25%	700	640	590	550
Pepaya 5%	210	200	185	175
Pepaya 10%	394	370	340	310
Pepaya 15%	512	470	430	400
Pepaya 20%	644	600	540	490
Pepaya 25%	764	710	640	580
Semangka 5%	213	200	190	180
Semangka 10%	406	380	350	330
Semangka 15%	492	460	420	390
Semangka 20%	641	600	540	500
Semangka 25%	754	700	650	610

Hal ini disebabkan oleh kandungan padatan organik yang terdapat dalam *ecoenzyme* itu sendiri, seperti asam

organik, gula reduksi, serta senyawa bioaktif hasil fermentasi buah (Ali & Gopal, 2021). Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Berdasarkan tabel, nilai TDS mengalami penurunan bertahap dari hari ke-0 hingga hari ke-12 pada semua variasi konsentrasi dan jenis *ecoenzyme*. Misalnya: *Ecoenzyme* nenas 5%: turun dari 239 ppm → 195 ppm, *Ecoenzyme* pepaya 10%: turun dari 394 ppm → 310 ppm. *Ecoenzyme* semangka 25%: turun dari 754 ppm → 610 ppm. Penurunan TDS ini menandakan bahwa terjadi biodegradasi aktif oleh mikroorganisme, terutama bakteri asam laktat dan ragi yang menguraikan bahan organik kompleks menjadi senyawa sederhana dan gas (CO₂, CH₄) (Ali et al., 2021).

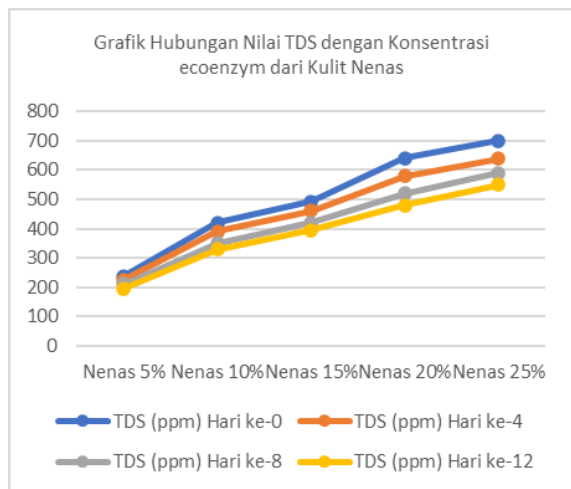
3.2. Pengaruh Konsentrasi Ecoenzyme terhadap TDS

Kecenderungan umum menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi *ecoenzyme* (5% → 25%), nilai awal TDS juga meningkat. Hal ini karena *ecoenzyme* sendiri mengandung banyak senyawa organik aktif seperti asam organik, enzim, dan gula reduksi yang menambah padatan terlarut pada awal pencampuran. Namun, penurunan TDS relatif lebih besar pada konsentrasi tinggi.

Pada kulit nenas 25%: penurunan 150 ppm (700 → 550), Kulit pepaya 25%: penurunan 184 ppm (764 → 580), Kulit semangka 25%: penurunan 144 ppm (754 → 610). Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi dosis *ecoenzyme*, semakin kuat aktivitas degradasi organik, karena tersedia lebih banyak enzim hidrolitik seperti amilase, lipase, dan protease (Sutanto et al., 2021; Saratale et al., 2020).

Ecoenzyme pepaya menunjukkan penurunan TDS paling besar dan konsisten pada semua konsentrasi. Ini dapat dikaitkan dengan kandungan enzim protease alami (papain) yang tinggi, yang mempercepat dekomposisi bahan organik kompleks. *Ecoenzyme* nenas memiliki penurunan moderat; aktivitasnya banyak dipengaruhi oleh enzim bromelain dan amilase yang efektif pada pH rendah. *Ecoenzyme* semangka juga efektif, tetapi laju penurunan TDS sedikit lebih rendah, kemungkinan karena kandungan gula

tinggi menyebabkan pertumbuhan mikroba berlangsung lebih lambat pada fase awal (Zulfa et al., 2022).



Gambar 1. Grafik Hubungan Nilai TDS dengan Konsentrasi *Ecoenzyme* dari Kulit Nenas

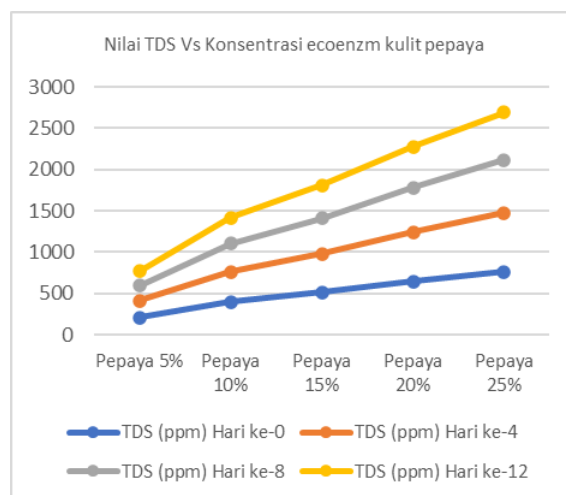
Penurunan nilai TDS menggambarkan proses biodegradasi senyawa organik terlarut yang berlangsung dalam limbah. Ecoenzyme yang berasal dari fermentasi kulit nenas mengandung berbagai senyawa bioaktif dan enzim hidrolitik seperti amilase, protease, dan lipase (Sutanto et al., 2021). Enzim-enzim tersebut berperan dalam memecah molekul organik kompleks menjadi senyawa sederhana yang lebih mudah diuraikan dan dikeluarkan dari sistem cair.

Selain itu, keberadaan asam organik (seperti asam asetat dan asam sitrat) hasil fermentasi juga meningkatkan aktivitas mikroba dalam penguraian bahan organik terlarut (Ali & Gopal, 2021). Dengan meningkatnya konsentrasi ecoenzyme, jumlah senyawa aktif dan enzim yang tersedia di dalam sistem juga meningkat, sehingga mempercepat proses penguraian bahan organik dalam POME.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai Total Dissolved Solids (TDS) limbah POME menurun secara konsisten selama periode fermentasi 12 hari untuk semua variasi konsentrasi ecoenzyme kulit pepaya. Nilai TDS pada perlakuan 5% berkurang dari 210 ppm

menjadi 175 ppm, sedangkan pada konsentrasi tertinggi 25% berkurang dari 764 ppm menjadi 580 ppm. Penurunan ini menggambarkan adanya proses biodegradasi aktif terhadap senyawa terlarut dalam limbah.

Penurunan nilai TDS menandakan bahwa ecoenzyme kulit pepaya mampu memecah senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana, seperti asam-asam organik, CO₂, dan air. Kandungan enzim alami seperti papain, protease, dan amilase yang terdapat pada pepaya berperan penting dalam menghidrolisis protein, pati, serta senyawa organik lain dalam POME (Sutanto et al., 2021). Dengan demikian, semakin tinggi konsentrasi ecoenzyme, semakin banyak enzim aktif yang terlibat dalam proses degradasi bahan organik.



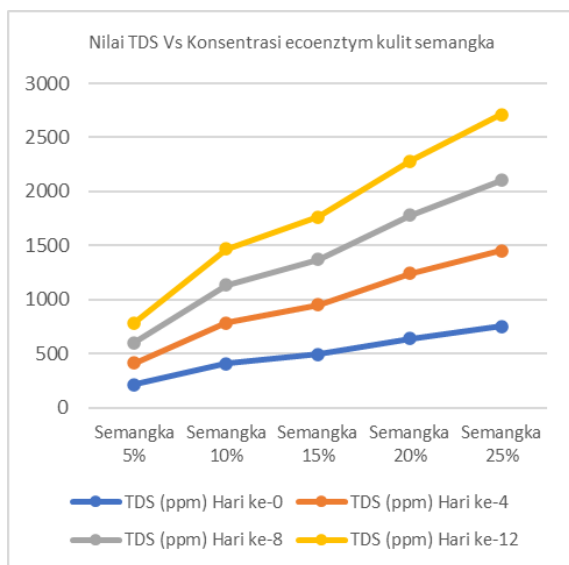
Gambar 2. Nilai TDS vs Konsentrasi *Ecoenzyme* Kulit Pepaya

Selain itu, ecoenzyme juga mengandung mikroorganisme hasil fermentasi (terutama dari kelompok *Lactobacillus* dan *Saccharomyces*) yang berkontribusi terhadap peningkatan aktivitas bioremediasi. Mikroba ini menghasilkan metabolit sekunder seperti asam laktat dan enzim ekstraseluler yang mempercepat proses dekomposisi senyawa terlarut (Ali & Gopal, 2021).

Berdasarkan hasil pengamatan, nilai Total Dissolved Solids (TDS) limbah POME yang diberi perlakuan ecoenzyme kulit semangka mengalami penurunan bertahap selama proses fermentasi dari hari ke-0 hingga hari ke-12. Nilai TDS pada perlakuan 5% menurun dari 213 ppm menjadi 180 ppm, sedangkan pada konsentrasi

tertinggi 25% terjadi penurunan dari 754 ppm menjadi 610 ppm.

Penurunan ini menunjukkan bahwa ecoenzyme kulit semangka memiliki kemampuan untuk menguraikan senyawa terlarut organik dan anorganik dalam limbah POME. Selama proses fermentasi, ecoenzyme melepaskan berbagai enzim aktif seperti amilase, protease, dan lipase yang berperan dalam memecah senyawa organik kompleks (lemak, karbohidrat, protein) menjadi senyawa yang lebih sederhana (Sutanto et al., 2021).



Gambar 3. Nilai TDS Vs Konsentrasi Ecoenzyme Kulit Semangka

Proses ini menurunkan konsentrasi zat terlarut dan secara bertahap mengurangi nilai TDS. Selain itu, ecoenzyme juga mengandung asam-asam organik alami seperti asam asetat, asam sitrat, dan asam laktat hasil fermentasi anaerob. Senyawa-senyawa ini meningkatkan aktivitas mikroba pengurai yang mempercepat proses bioremediasi (Ali & Gopal, 2021).

3.3. Pengaruh Konsentrasi dan Variasi Ecoenzyme terhadap nilai COD

Nilai Chemical Oxygen Demand (COD) menggambarkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi seluruh senyawa organik dalam limbah cair. Semakin rendah nilai COD, semakin sedikit kandungan bahan organik yang tersisa, sehingga kualitas air limbah semakin baik (Sutanto et al., 2021). Berdasarkan hasil penelitian, nilai COD POME mengalami penurunan signifikan seiring lamanya waktu fermentasi dan peningkatan konsentrasi ecoenzyme. Pada

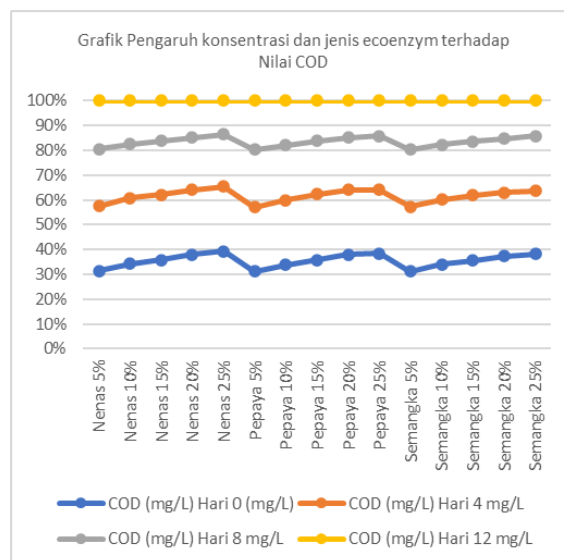
perlakuan ecoenzyme kulit nenas 5%, COD menurun dari 232 mg/L menjadi 144 mg/L dalam 12 hari. Pada konsentrasi 25%, penurunan terjadi dari 526 mg/L menjadi 182 mg/L. Penurunan serupa juga terlihat pada perlakuan kulit pepaya dan semangka.

3.4. Pengaruh Waktu Fermentasi

Penurunan COD dari hari ke-0 hingga hari ke-12 menunjukkan bahwa proses degradasi bahan organik berlangsung efektif. Mikroorganisme yang terkandung dalam ecoenzyme seperti Acetobacter, Lactobacillus, dan Saccharomyces memanfaatkan senyawa organik sebagai sumber karbon dan energi, menghasilkan asam organik, enzim, serta gas (CO₂ dan CH₄) (Ali & Gopal, 2021). Proses ini mengubah senyawa kompleks seperti lemak, pati, dan protein menjadi senyawa sederhana yang terlarut, sehingga kebutuhan oksigen untuk oksidasi kimia (COD) menurun secara bertahap.

3.5. Pengaruh Konsentrasi Ecoenzyme

Konsentrasi ecoenzyme memberikan efek langsung terhadap tingkat penurunan COD. Semakin tinggi konsentrasi ecoenzyme yang ditambahkan (dari 5% hingga 25%), semakin besar pula laju penurunan COD. Hal ini karena peningkatan konsentrasi berarti penambahan jumlah enzim aktif (seperti amilase, lipase, dan protease) dan populasi mikroba fermentatif, sehingga mempercepat degradasi senyawa organik kompleks dalam POME (Saratale et al., 2020).



Gambar 4. Pengaruh Konsentrasi dan Jenis ecoenzym terhadap Nilai COD

Pada Pepaya 5%: penurunan COD sebesar 36,7% (215 → 136 mg/L); 25%: penurunan COD sebesar 63,3% (442 → 162 mg/L). Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi ecoenzyme dapat meningkatkan efisiensi bioremediasi. Namun, pada konsentrasi di atas 25%, biasanya efektivitas tidak meningkat signifikan karena potensi kejenuhan substrat dan kompetisi mikroba (Zulfa et al., 2022). Oleh karena itu, konsentrasi optimum ecoenzyme dalam pengolahan POME berkisar 20–25%.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, pemanfaatan limbah kulit buah sebagai ecoenzyme terbukti efektif dalam menurunkan parameter pencemar pada limbah cair POME, khususnya nilai TDS dan COD, melalui proses biodegradasi oleh enzim dan mikroorganisme hasil fermentasi. Peningkatan konsentrasi eco-enzyme dari 5% hingga 25% menunjukkan pengaruh signifikan terhadap efisiensi penurunan pencemar, dengan kinerja optimal pada kisaran 20–25%.

Eco-enzyme berbahan kulit pepaya menunjukkan performa paling konsisten dalam menurunkan TDS dan COD dibandingkan kulit nanas dan semangka, yang dikaitkan dengan kandungan enzim proteolitik yang lebih tinggi. Selain itu, waktu fermentasi juga berperan penting, di mana penurunan parameter kualitas limbah berlangsung secara bertahap hingga hari ke-12. Secara keseluruhan, eco-enzyme berbasis limbah kulit buah berpotensi sebagai alternatif teknologi pengolahan POME yang ramah lingkungan, ekonomis, dan mendukung konsep zero waste serta ekonomi sirkular dalam industri kelapa sawit.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M., & Gopal, J. (2021). Role of enzymes in the eco-enzyme production from fruit waste: Biochemical insights and environmental applications. *Environmental Technology & Innovation*, 22, 101489.
- Basri, H. F., Muda, K., Omoregie, A. I., & Ling, Y. E. (2023). Enhancing palm oil mill effluent treatment through initial granulation of fruit and vegetable eco-enzymes. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04668-x>
- Lin, H., Ma, R., Hu, Y., Lin, J., Sun, S., Jiang, J., Li, T., Liao, Q., & Luo, J. (2020). Reviewing bottlenecks in aerobic granular sludge technology: Slow granulation and low granular stability. *Environmental Pollution*, 263, 114638. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114638>
- 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), 10205–10214. <https://doi.org/10.33263/BRIAC113.1020510214>
- Gumilar, G. G. (2023). Ecoenzyme production, characteristics, and applications: A review. *Jurnal Kartika Kimia*, 6(1), 45–59. <https://doi.org/10.26874/jkk.v6i1.186>
- Harlin, F. I., & Handayani, D. (2024). Cendawan dari cairan ecoenzyme dan mama enzyme berbahan organik kulit jeruk dan kulit rambutan. *Masaliq*, 4(1), 379–391. <https://doi.org/10.58578/masaliq.v4i1.2641>
- Murdiana, H. E., Yuhara, N. A., Rahmavika, T., & Danila, D. (2022). *Pelatihan pembuatan eco enzyme dari limbah organik rumah tangga di Dasa Wisma Sukun. Diseminasi: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 4(1), 55–60.
- Sutanto, D., et al. (2021). Characterization of fruit waste-based eco-enzyme and its potential use in wastewater treatment. *Environmental Research*, 197, 111112.
- Saratale, R. G., et al. (2020). Eco-enzyme production and its environmental applications: A review. *Bioresource Technology Reports*, 11, 100524.
- Zulfa, A., Rahman, N., & Yuliana, N. (2022). Pemanfaatan limbah kulit buah untuk pembuatan eco-enzyme dan aplikasinya. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 4(2), 87–95.