Cannarium (Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian)
P-ISSN: 1693–1491. E-ISSN:2774-5201
DOI: 10.33387/cannarium.v24i2.12292

Volume 24 No. 2
2026

Aplikasi Ekoenzim Berbasis Kulit Pepaya (*Carica papaya* L.) Fermentasi Anaerob terhadap Penurunan Kadar FFA Crude Palm Oil

Rafila[1*], Zakwan[1]

[1]*Program Studi Teknologi Pengolahan Hasil Perkebunan, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sawit Indonesia*
**Email: rafila2702@gmail.com*

Received : 25 Juni 2026
Accepted : 27 Juli 2026
Available online : 3 Agustus 2026

ABSTRACT

High free fatty acid (FFA) content in Crude Palm Oil (CPO) is a critical quality issue that directly affects market value and export eligibility. This study aimed to produce eco-enzyme through anaerobic fermentation of papaya peel (Carica papaya L.) waste and to evaluate the effect of eco-enzyme concentration on FFA content and moisture content of CPO. Eco-enzyme was prepared at a papaya peel: molasses: water ratio of 3:1:10 and fermented for approximately 90 days, yielding a product with pH 3.8 and TDS 4,500 ppm. A completely randomized design with three concentration levels 10% (P1), 20% (P2), and 30% (P3) was applied, each replicated three times, at 60°C for 60 minutes. Results showed that eco-enzyme consistently reduced FFA from 52.72% (K0) to 41.17% (P3), with the highest reduction efficiency of 21.90%. Moisture content increased proportionally from 0.57% (K0) to 0.647% (P3). Statistical analysis confirmed significant treatment effects on both parameters ($p<0.05$). This study demonstrates that papaya peel eco-enzyme exhibits measurable biocatalytic activity on CPO and holds potential as a green technology alternative in palm oil processing.

Keywords: *anaerobic fermentation; crude palm oil; eco-enzyme; free fatty acid; papaya peel*

ABSTRAK

Tingginya kadar asam lemak bebas (*free fatty acid*, FFA) pada *Crude Palm Oil* (CPO) merupakan permasalahan mutu yang berdampak langsung pada nilai jual dan kelayakan ekspor minyak kelapa sawit. Penelitian ini bertujuan untuk memproduksi ekoenzim melalui fermentasi anaerob berbahan dasar limbah kulit buah pepaya (Carica papaya L.) dan mengkaji pengaruh konsentrasi ekoenzim terhadap kadar FFA dan kadar air CPO. Ekoenzim dibuat dengan rasio kulit pepaya: molase: air = 3 : 1 : 10 dan difermentasi selama ±90 hari dalam kondisi anaerob, menghasilkan produk dengan pH 3,8 dan TDS 4.500 ppm. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) non-faktorial dengan tiga taraf konsentrasi ekoenzim: 10% (P1), 20% (P2), dan 30% (P3), masing-masing diulang tiga kali. Perlakuan dilakukan pada suhu 60°C selama 60 menit. Hasil menunjukkan bahwa penambahan ekoenzim menurunkan kadar FFA secara konsisten dari 52,72% (K0) menjadi 41,17% (P3), dengan efisiensi penurunan tertinggi sebesar 21,90%. Kadar air meningkat proporsional dari 0,57% menjadi 0,647% (P3). Uji statistik menunjukkan pengaruh perlakuan berbeda nyata terhadap kedua parameter ($p<0,05$). Penelitian ini membuktikan bahwa ekoenzim kulit pepaya memiliki aktivitas biokatalitik nyata terhadap CPO dan berpotensi dikembangkan sebagai alternatif teknologi hijau dalam industri pengolahan minyak kelapa sawit.

Kata kunci: asam lemak bebas; *crude palm oil*; ekoenzim; fermentasi anaerob; kulit pepaya

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan produsen dan pengekspor minyak kelapa sawit mentah (*Crude Palm Oil*, CPO) terbesar di dunia, dengan kontribusi signifikan terhadap devisa negara (Erwinsyah, 2024). Salah satu parameter mutu CPO yang paling kritis adalah kadar asam lemak bebas (*free fatty acid*, FFA), yang menjadi acuan dalam penetapan harga jual dan standar perdagangan internasional. Standar Nasional Indonesia SNI 2901:2021 menetapkan batas maksimum kadar FFA sebesar 5,00% untuk kategori reguler dan 3,00% untuk kategori premium (Khairun Nisa et al., 2024). Tingginya kadar FFA mempercepat ketengikan, menurunkan masa simpan, dan mengurangi kelayakan ekspor CPO (Nurfiqih et al., 2021).

Ekoenzim merupakan cairan multifungsi hasil fermentasi anaerob limbah organik seperti kulit buah dan sayuran yang dicampur dengan

gula dan air (Saraswati & Witoyo, 2024). Proses fermentasi menghasilkan berbagai senyawa aktif, termasuk enzim papain, asam organik, flavonoid, dan polifenol yang memiliki potensi biokatalitik terhadap lipid (Widiani & Novitasari, 2023). Kulit buah pepaya (*Carica papaya* L.) kaya akan enzim papain (EC 3.4.22.2) yang mampu menghidrolisis ikatan peptida pada protein lipoprotein dan berpotensi menghambat aktivitas enzim lipase melalui senyawa fenoliknya (Juwita et al., 2022; Prihatini & Dewi, 2021).

Meskipun pemanfaatan ekoenzim dari berbagai limbah organik telah banyak dikaji untuk keperluan pertanian dan lingkungan, penelitian mengenai aplikasinya secara langsung pada CPO sebagai upaya penurunan kadar FFA masih sangat terbatas. Studi ekoenzim dari buah-buahan lain, seperti kombinasi nanas (Ananas comosus) dan pepaya (Rochyani et al., 2020), umumnya berfokus pada karakterisasi hasil konversi limbah organik untuk aplikasi pertanian, pengomposan, atau disinfektan rumah tangga (Hasanah, 2021; Muslimaini et al., 2024), bukan pada penurunan kadar FFA CPO secara langsung. Celah penelitian ini yang mendasari fokus studi ini pada kulit pepaya sebagai sumber enzim papain dan senyawa fenolik dengan potensi biokatalitik terhadap FFA CPO, aplikasi spesifik yang belum banyak dieksplorasi pada substrat buah lain. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) memproduksi ekoenzim dari kulit buah pepaya melalui fermentasi anaerob, (2) mengkarakterisasi ekoenzim yang dihasilkan, dan (3) mengkaji pengaruh konsentrasi ekoenzim terhadap kadar FFA dan kadar air CPO sebagai upaya pengembangan teknologi hijau dalam industri pengolahan minyak kelapa sawit.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mutu Institut Teknologi Sawit Indonesia, Medan, pada bulan November 2025 hingga Januari 2026.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan meliputi kulit buah pepaya segar (3 kg), molase (1 kg), dan air bersih (10 L) untuk pembuatan ekoenzim melalui fermentasi anaerob alami tanpa penambahan starter mikroba komersial; serta sampel CPO dari PKS PT Sumber Tani Agung Resources cabang Papaso sebagai bahan uji. Reagen analisis meliputi NaOH, isopropyl alcohol (IPA), indikator fenolftalein, dan akuades. Alat yang digunakan meliputi galon 25 L, pH meter, TDS meter, neraca analitik, buret, erlenmeyer, labu pisah, oven, desikator, dan termometer.

Rancangan Penelitian

Penelitian menggunakan metode eksperimental dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) non-faktorial satu faktor, yaitu konsentrasi ekoenzim pada CPO. Terdapat empat taraf perlakuan: K0 (kontrol, 0%), P1 (10%), P2 (20%), dan P3 (30%), masing-masing diulang tiga kali sehingga menghasilkan 12 unit percobaan. Perlakuan dilakukan pada suhu 60°C selama 60 menit dengan volume sampel CPO 50 mL per unit.

Pembuatan Ekoenzim

Ekoenzim dibuat dengan mencampurkan kulit pepaya, molase, dan air pada rasio 3:1:10 (b/b/v) hingga homogen. Campuran dimasukkan ke dalam galon 25 L yang ditutup rapat dan dilengkapi selang ventilasi yang dimasukkan ke botol berisi air untuk menciptakan kondisi anaerob. Fermentasi dilakukan pada suhu ruang (25–30°C) di tempat teduh selama ±90 hari. Nilai pH dipantau setiap bulan dengan target pH < 4. Setelah fermentasi selesai, cairan ekoenzim disaring untuk memisahkan residu padat, kemudian dikarakterisasi meliputi warna, aroma, pH, dan TDS.

Aplikasi Ekoenzim pada CPO

Ekoenzim ditambahkan ke dalam CPO sesuai variasi konsentrasi perlakuan (0%, 10%, 20%, 30% v/v), diaduk hingga homogen, kemudian diinkubasi pada suhu 60°C selama 60 menit. Setelah inkubasi, campuran dipisahkan menggunakan labu pisah. CPO yang telah dipisahkan kemudian dianalisis kadar FFA dan kadar airnya.

Analisis Parameter

Kadar FFA dianalisis menggunakan metode titrasi alkalimetri dengan larutan NaOH standar dan indikator fenolftalein. Persamaannya:

$$\textbf{FFA (\%)} = (V \times N \times 25{,}6) / W$$

Ket:
V = volume titran NaOH (mL)
N = normalitas NaOH (N)

W = berat sampel (g)
25,6 = bobot ekivalen asam palmitat.

Kadar air dianalisis menggunakan metode oven gravimetri pada suhu 105°C selama 36 menit mengacu pada SNI 01-2901-2006 (Sukma & Rahmi, 2023). Analisis statistik dilakukan menggunakan uji ANOVA satu arah pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$, dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik CPO Awal

CPO yang digunakan berasal dari PKS PT Sumber Tani Agung Resources cabang Papaso dan dikarakterisasi sebelum perlakuan. Hasil analisis awal disajikan pada Tabel 1. Kadar FFA awal CPO tercatat sebesar 52,72%, jauh melampaui batas SNI 2901:2021. Kondisi ini mengindikasikan CPO yang digunakan termasuk kategori *off-grade*, kemungkinan disebabkan oleh pemanenan TBS yang terlambat, proses sterilisasi yang tidak optimal, dan kondisi penyimpanan yang kurang baik yang memacu reaksi hidrolisis trigliserida (Chandrahadinata & Nurdiana, 2021). CPO *off-grade* dipilih secara sengaja sebagai bahan uji untuk mengkaji kemampuan maksimum ekoenzim dalam kondisi FFA tinggi (*worst-case scenario*), sehingga aktivitas biokatalitik ekoenzim dapat terdeteksi secara lebih nyata.

Tabel 1. Karakteristik awal CPO yang digunakan dalam penelitian

Parameter	Hasil Analisis	SNI 2901:2021 Reguler	SNI 2901:2021 Premium	Keterangan
Kadar FFA	52,72%	Maks. 5,00%	Maks. 3,00%	Di atas standar
Kadar Air	0,57%	Maks. 0,25%	Maks. 0,10%	Di atas standar
Warna	Oranye kemerahan	Oranye kemerahan	Oranye kemerahan	Normal
Aroma	Tengik	Normal	Normal	Tidak normal

Karakteristik Ekoenzim

Hasil karakterisasi ekoenzim kulit pepaya setelah fermentasi anaerob ±90 hari disajikan pada Tabel 2. Nilai pH 3,8 mengkonfirmasi keberhasilan fermentasi anaerob melalui pembentukan asam organik oleh bakteri asam laktat dan bakteri asam asetat (Santosa et al., 2023). Hasil ini sesuai dengan standar ekoenzim yang ideal yaitu pH < 4 (Rochyani et al., 2020). Nilai TDS 4.500 ppm mencerminkan kulit buah pepaya mengandung berbagai senyawa bioaktif, seperti enzim papain, senyawa fenolik (polifenol), flavonoid, serta metabolit sekunder lainnya yang berpotensi dimanfaatkan dalam pembuatan ekoenzim (Mayrista et al., 2025).

Tabel 2. Karakteristik ekoenzim dari kulit buah pepaya (*Carica papaya L.*)

Parameter	Hasil Penelitian	Keterangan
Warna	Coklat pekat	Khas fermentasi organik anaerob
Aroma	Asam khas fermentasi	Indikasi terbentuknya asam organik
pH	3,8	Asam; fermentasi anaerob berhasil
TDS	4.500 ppm	Kandungan senyawa aktif terlarut tinggi

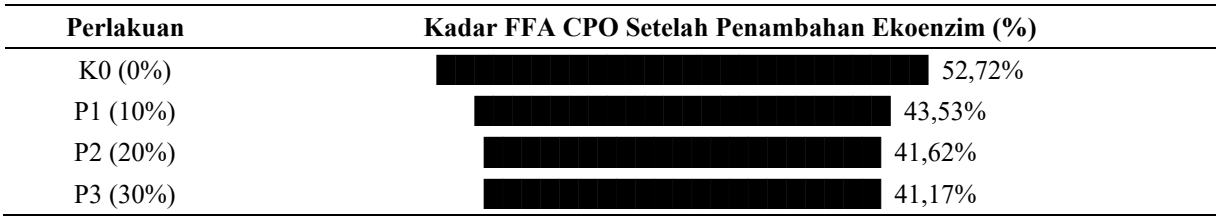
Pengaruh Ekoenzim terhadap Kadar FFA CPO

Hasil pengukuran kadar FFA CPO setelah perlakuan ekoenzim disajikan pada Tabel 3 dan divisualisasikan pada Gambar 1. Penambahan ekoenzim menurunkan kadar FFA CPO secara konsisten dan progresif. Pola penurunan menunjukkan tren *diminishing returns*: penurunan P1→P2 sebesar 1,91%, sedangkan P2→P3 hanya sebesar 0,45%. Fenomena ini selaras dengan kinetika enzim Michaelis-Menten (Wirawan et al., 2022). Persamaan regresi linear yang diperoleh adalah $y = -0,382x + 52,72$ ($R^2 = 0,952$) menunjukkan bahwa 95,2% variasi penurunan FFA dapat dijelaskan oleh perubahan konsentrasi ekoenzim.

Tabel 3. Hasil pengukuran kadar FFA CPO setelah penambahan ekoenzim

Perlakuan	Konsentrasi	Ulangan I (%)	Ulangan II (%)	Ulangan III (%)	Rata-rata (%)	Efisiensi (%)
K0	0%	52,72	52,72	52,72	52,72	—
P1	10%	43,52	43,54	43,54	43,53	17,43
P2	20%	41,60	41,67	41,60	41,62	21,05
P3	30%	40,85	41,83	40,83	41,17	21,90

Gambar 1. Grafik Perbandingan Kadar FFA CPO pada Setiap Perlakuan Ekoenzim



Secara biokimiawi, penurunan FFA CPO (Gambar 1) diduga bukan berasal dari aktivitas papain sebagai lipase, sebab papain (EC 3.4.22.2) secara enzimatis merupakan protease yang menghidrolisis ikatan peptida, bukan ikatan ester pada trigliserida maupun FFA. Peran papain diduga bersifat tidak langsung, yaitu menghidrolisis komponen protein pada kompleks lipoprotein yang menyelubungi droplet lipid, sehingga mengubah stabilitas emulsi campuran ekoenzim-CPO dan memfasilitasi migrasi sebagian FFA ke fase aqueous ekoenzim selama pemisahan menggunakan labu pisah (Jin et al., 2024). Senyawa polifenol dalam ekoenzim diduga berperan sebagai inhibitor kompetitif enzim lipase endogen CPO sehingga menghambat pembentukan FFA baru dari hidrolisis trigliserida (Putri et al., 2019). Kombinasi migrasi fisik FFA ke fase aqueous dan inhibisi lipase ini diduga menjadi penyebab utama penurunan FFA yang teramati, meskipun konfirmasi melalui analisis komposisi fase aqueous ekoenzim pascaperlakuan (misalnya FTIR atau GC-MS) masih diperlukan untuk memastikan mekanisme ini. Pemilihan suhu 60°C pada tahap aplikasi didasarkan pada pertimbangan praktis untuk mempercepat kontak ekoenzim-CPO dan menurunkan viskositas CPO agar homogenisasi berlangsung efektif dalam waktu inkubasi yang relatif singkat (60 menit); meskipun aktivitas enzim umumnya mulai menurun di atas 50–60°C, paparan singkat pada suhu tersebut diperkirakan masih menyisakan sebagian aktivitas biokatalitik, namun penelitian ini tidak mengukur langsung sisa aktivitas enzim maupun stabilitas polifenol pascaperlakuan sehingga hal ini perlu dikonfirmasi pada penelitian lanjutan. Meskipun penurunan FFA terbukti signifikan secara statistik, kadar FFA terendah yang dicapai (41,17% pada P3) masih jauh di atas batas SNI 2901:2021, terutama karena kondisi awal CPO yang sangat *off-grade*.

Pengaruh Ekoenzim terhadap Kadar Air CPO

Kadar air CPO meningkat secara gradual dari 0,57% (K0) menjadi 0,647% (P3) (Tabel 4) akibat transfer massa air dari larutan ekoenzim berbasis air ke dalam matriks lipid CPO. Seluruh nilai kadar air hasil perlakuan (0,603–0,647%) masih melampaui batas SNI 2901:2021 (maks. 0,25% reguler), sehingga diperlukan tahap pengeringan (*dewatering*) sebagai *post-treatment* apabila ekoenzim diterapkan pada skala industri.

Tabel 4. Data kadar air CPO setelah penambahan ekoenzim

Perlakuan	Konsentrasi	Ulangan I (%)	Ulangan II (%)	Ulangan III (%)	Rata-rata (%)
K0	0%	0,57	0,57	0,57	0,570
P1	10%	0,60	0,61	0,60	0,603
P2	20%	0,63	0,62	0,63	0,627
P3	30%	0,65	0,64	0,65	0,647

Analisis Statistik (Uji BNT)

Untuk mengetahui perbedaan pengaruh antar taraf konsentrasi ekoenzim terhadap kadar FFA CPO, dilakukan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf 5% dengan derajat bebas galat 8 dan kuadrat tengah galat 0,082, menghasilkan nilai BNT sebesar 0,540. Hasil uji BNT disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil uji BNT terhadap kadar FFA CPO

Perlakuan	Konsentrasi	Rata-rata FFA (%)	Notasi BNT
K0	0%	52,72	a
P1	10%	43,53	b
P2	20%	41,62	c
P3	30%	41,17	c

Ket.: angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom notasi menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji BNT taraf 5%.

Hasil uji BNT (Tabel 5) menunjukkan bahwa K0 berbeda nyata dengan seluruh perlakuan (P1, P2, P3), demikian pula P1 berbeda nyata dengan P2 dan P3, yang mengonfirmasi bahwa penambahan ekoenzim pada setiap taraf konsentrasi secara konsisten menurunkan kadar FFA CPO. Sebaliknya, P2 dan P3 menempati notasi yang sama (c), yang berarti keduanya tidak berbeda nyata satu sama lain meskipun P3 secara nominal masih sedikit lebih rendah. Temuan ini mengindikasikan bahwa konsentrasi 20% (P2) telah mencapai titik optimum secara statistik, sehingga peningkatan konsentrasi hingga 30% (P3) tidak lagi memberikan penurunan FFA tambahan yang signifikan. Dari sudut pandang efisiensi bahan baku dan biaya produksi, konsentrasi 20% dapat direkomendasikan sebagai taraf perlakuan optimal, karena secara statistik setara dengan konsentrasi 30% namun lebih ekonomis.

Keterbatasan Penelitian dan Rekomendasi

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dicatat. Pertama, CPO yang digunakan merupakan sampel *off-grade* dengan FFA 52,72%, sehingga hasil penurunan absolut tidak dapat langsung dibandingkan dengan CPO komersial standar. Kedua, rentang konsentrasi ekoenzim yang diuji (10–30%) belum mencakup konsentrasi yang lebih tinggi maupun lebih rendah. Ketiga, penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium dengan volume 50 mL per unit, sehingga perlu validasi pada skala pilot plant.

Untuk penelitian lanjutan, disarankan: (1) mengoptimalkan konsentrasi ekoenzim di atas 30% dan waktu inkubasi yang lebih lama, (2) mengintegrasikan unit *dewatering* sebagai *post-treatment* wajib, (3) menguji ekoenzim pada CPO dengan kadar FFA yang lebih rendah sesuai standar komersial, dan (4) melakukan analisis ekonomi untuk menilai kelayakan aplikasi skala industri.

KESIMPULAN

Ekoenzim berbasis kulit buah pepaya (*Carica papaya* L.) yang difermentasi secara anaerob berhasil diproduksi dan menunjukkan aktivitas biokatalitik yang nyata terhadap CPO. Penambahan ekoenzim terbukti secara statistik signifikan menurunkan kadar FFA CPO, dengan efisiensi tertinggi dicapai pada konsentrasi 30%, meskipun secara statistik konsentrasi 20% sudah memberikan hasil yang setara sehingga lebih efisien dari segi biaya produksi. Di sisi lain, penambahan ekoenzim juga meningkatkan kadar air CPO, sehingga aplikasi ekoenzim pada skala industri memerlukan tahap *dewatering* sebagai *post-treatment* untuk memastikan CPO hasil perlakuan tetap memenuhi standar mutu. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengoptimalkan konsentrasi dan waktu inkubasi, serta memvalidasi mekanisme biokimia yang mendasari penurunan FFA tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Chandrahadinata, D., & Nurdiana, W. (2021). Analisis pengendalian kualitas pada *crude palm oil* untuk meningkatkan kualitas di PT. Condong Garut. *Jurnal Kalibrasi,* 19(1), 43-52. https://doi.org/10.33364/kalibrasi/v.19-1.1045

Edyson, F. M., Ardiyanto, A., Astuti, E. J., & Ahmad, M. P. (2022). Preprocessing Factors Affected Free Fatty Acid Content in Crude Palm Oil Quality. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*, *27*(2), 177-181. https://doi.org/10.18343/jipi.27.2.177

Erwinsyah. (2024). Pengaruh produksi kelapa sawit, harga minyak kelapa sawit dunia, dan emisi karbon terhadap volume ekspor minyak kelapa sawit Indonesia. *Buletin Ilmiah Litbang Perdagangan,* 18(1), 75–92. https://doi.org/10.55981/bilp.2024.3082

Gumilar, G. G., Kadarohman, A., Fakhrurozi, M. F., Supriyanti, F. M. T., & Munawaroh, H. S. H. (2025). Characterization and Enzymatic Evaluation of Ecoenzyme Derived from Fruit and Vegetable Waste: An Effort to Achieve Zero Waste Concept. *Baghdad Science Journal*, 22(4), 1175-1184. https://doi.org/10.21123/bsj.2024.10707

Harahap, R. A., Azhari, A., Meriatna, M., Sulhatun, S., & Suryati, S. (2021). Penurunan Kadar Free Fatty Acid (Ffa) Pada Crude Palm Oil (Cpo) Dengan Proses Esterifikasi Menggunakan Katalis Asam Sulfat (H2So4). *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS),* 1(2), 56. https://doi.org/10.29103/cejs.v1i2.5458

Hasanah, Y. (2021). Eco enzyme and its benefits for organic rice production and disinfectant. *Journal of Saintech Transfer*, 3(2), 119–128. https://doi.org/10.32734/jst.v3i2.4519

Jin, H., Li, B., Xie, H., & Cheng, W. (2024). Effects of papain hydrolysate on the physical and oxidative stability of water-in-oil emulsions.

LWT, 210, 116734. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116734

Juwita, R., Tyas, E., Sejati, D. A. P., & Simanjuntak, A. V. S. (2022). Inovasi ekstrak pepaya sebagai enzim papain. *Jurnal MIPA dan Pembelajarannya*, 2(4), 300–306. https://doi.org/10.17977/um067v2i4p300-306

Karimah, M., & Lusiani, C. E. (2024). Analysis of eco enzyme characteristics with variation of 'tape' yeast concentrations. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi,* 10(1), 233–244. https://doi.org/10.33795/distilat.v10i1.4195

Khairun Nisa, et al. (2024). Analisa mutu crude palm oil (CPO) di pabrik kelapa sawit PT. Socfin Indonesia kebun aek loba. *Jurnal EnviScience*, 8(1), 29–40. https://doi.org/10.30736/jev.v8i1.690

Khasanah, I., & Herdyastuti, N. (2024). The effect of adding papain enzyme from different variety papaya peel on VCO yield and quality. UNESA Journal of Chemistry, 1(1), 14-21.

Morcillo, F., et al. (2021). Natural diversity in the carotene, tocochromanol and fatty acid composition of crude palm oil. *Food Chemistry*, 365, 130638. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130638

Muslimaini, A., et al. (2024). Pengolahan sampah organik menjadi eco enzym pada level rumah tangga. *Media Abdimas*, 3(3), 6–12. https://doi.org/10.37817/mediaabdimas.v3i3.3774

Nurfiqih, D., Hakim, L., & Muhammad, M. (2021). Pengaruh suhu, persentase air, dan lama penyimpanan terhadap persentase kenaikan asam lemak bebas (ALB) pada CPO. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal,* 10(2), 1–14. https://doi.org/10.29103/jtku.v10i2.4955

Prihatini, I., & Dewi, R. K. (2021). Kandungan enzim papain pada pepaya (Carica papaya L) terhadap metabolisme tubuh. *Jurnal Tadris IPA Indonesia*, 1(3), 449–458. https://doi.org/10.21154/jtii.v1i3.312

Putri, A. L., Sumarsih, S., & Setyawati, H. (2019). Sintesis, karakterisasi dan uji aktivitas senyawa kompleks Zn(II)-katekin sebagai inhibitor enzim lipase. *Jurnal Kimia Riset*, 4(1), 33. https://doi.org/10.20473/jkr.v4i1.13154

Rochyani, N., et al. (2020). Analisis hasil konversi eco enzyme menggunakan nanas (*Ananas comosus*) dan pepaya (*Carica papaya* L.). Jurnal Redoks, 5(2), 135–141.

Santosa, S., Hassan, M. S., & Kasim, A. H. (2023). Ecoenzym quality and potential of residues as bioactivator. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 13(3), 417–424. https://doi.org/10.29244/jpsl.13.3.417-424

Saraswati, A. R., & Witoyo, J. E. (2024). Eco enzyme sebagai solusi inovatif dalam pengelolaan pascapanen hortikultura. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 31(2), 72–78. https://doi.org/10.55259/jiip.v31i1.35

Sukma, S. S., & Rahmi, S. (2023). Analisis penentuan kadar air dan kadar kotoran terhadap kualitas minyak CPO di PT. Socfindo kebun seunagan. *Jurnal Teknologi Pengolahan Pertanian,* 5(1), 27. https://doi.org/10.35308/jtpp.v5i1.7295

Widiani, N., & Novitasari, A. (2023). Produksi dan karakterisasi eco-enzim dari limbah organik dapur. *BIOEDUKASI (Jurnal Pendidikan Biologi)*, 14(1), 110. https://doi.org/10.24127/bioedukasi.v14i1.7779

Wirawan, S. K., et al. (2022). Kinetics and adsorption equilibrium study of FFA from CPO on anionic resin. *ASEAN Journal of Chemical Engineering*, 22(1), 33. https://doi.org/10.22146/ajche.70319