DOI: https://doi.org/10.20527/ilung.v5i3

Aplikasi *Eco-Enzyme* oleh Gen Z untuk Mendukung Ekonomi Hijau pada Budidaya Kelulut di Desa Padang Panjang, Kabupaten Banjar

Anang Kadarsah*[1,4], Witiyasti Imaningsih[1], Yanti Fauziah[2], Yuninda Riana[3], Albert Oriya[3], Masarisaldy Khairul Barkatullah[3]

[1]Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Lambung Mangkurat
[2]Politeknik KesehatanBorneo Citra Medika
[3]Program Magister Biologi, FMIPA, Universitas Lambung Mangkurat
[4]Jaringan Ahli Kehutanan dan Perubahan Iklim (APIK) Indonesia

*Penulis korespondensi: anangkadarsah@ulm.ac.id

Diterima: 11 Januari 2026/ Accepted: 18 Februari 2026

Abstract

Organic waste management and the limited involvement of young generations in ecological practices remain major challenges in achieving a green economy in tropical rural areas. This Community Service Program (PKM) aimed to enhance the knowledge, skills, and environmental awareness of Generation Z (Gen Z) students through the application of eco-enzyme technology in Heterotrigona itama *(stingless bee) cultivation in Padang Panjang Village, Banjar Regency, South Kalimantan. The program was conducted through four main stages: (1) preparation and socialization, (2) training in eco-enzyme production from organic waste, (3) field application around bee colonies, and (4) evaluation and reflection. Twelve biology students participated as the main implementers, while local stingless bee farmers acted as community partners. Evaluation using observation sheets and Likert-scale questionnaires (1–5) assessed cognitive, psychomotor, and affective domains. The results showed significant improvement across all indicators, with the overall mean score increasing from 3.1 to 4.6 (a 46% improvement). The highest post-program score was observed in environmental awareness (4.8), followed by conceptual understanding of eco-enzyme (4.6) and teamwork collaboration (4.6). Qualitative reflections revealed a transformation from ecological literacy to eco-action, as participants demonstrated commitment to processing household organic waste and applying eco-enzyme in local bee farming. Simple biotechnology practices can simultaneously support ecological sustainability, enhance transformative environmental education, and strengthen campus–community collaboration in fostering a green economy within the wetland ecosystems of South Kalimantan.*

Keywords: *eco-enzyme; Generation Z; green economy; stingless bee; community engagement*

Abstrak

Tingginya proporsi limbah organik (>50%) dan rendahnya partisipasi generasi muda dalam pengelolaan lingkungan menjadi tantangan utama dalam mewujudkan ekonomi hijau di kawasan pedesaan tropis. Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) ini bertujuan untuk meningkatkan pemahaman, keterampilan, dan kepedulian lingkungan mahasiswa Generasi Z melalui aplikasi eco-enzyme dalam budidaya lebah kelulut (Heterotrigona itama) di Desa Padang Panjang, Kabupaten Banjar, Kalimantan Selatan. Kegiatan dilakukan melalui empat tahap: (1) persiapan dan sosialisasi, (2) pelatihan pembuatan eco-enzyme dari limbah organik, (3) aplikasi lapangan pada sarang lebah, dan (4) evaluasi serta refleksi peserta. Hasil menunjukkan peningkatan signifikan pada seluruh aspek capaian dengan rata-rata skor meningkat dari 3,1 menjadi 4,6 (kenaikan 46%). Aspek kepedulian lingkungan memperoleh skor tertinggi (4,8), diikuti pemahaman konsep eco-enzyme (4,6) dan kolaborasi tim (4,6). Aplikasi bioteknologi sederhana berbasis eco-enzyme terbukti memperkuat literasi ekologis generasi muda, mendukung konservasi lebah kelulut, dan memperkuat sinergi kampus–masyarakat dalam mewujudkan ekonomi hijau di lahan basah Kalimantan Selatan.

Kata kunci: *eco-enzyme; generasi Z; ekonomi hijau; lebah kelulut; pengabdian masyarakat*

1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim dan peningkatan volume limbah dengan komposisi terbesar adalah limbah organik (57%) merupakan tantangan besar bagi pembangunan berkelanjutan di wilayah tropis Indonesia . Menurut (Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2017)5), perubahan iklim dan akumulasi limbah organik menimbulkan beban pada sistem lingkungan dan kesehatan masyarakat. Berdasarkan data BRIN pada tahun 2024, sekitar 11,3 juta ton limbah organik nasional belum terkelola dengan baik (Badan Riset dan Inovasi Nasional, 2024). Eco-enzyme, hasil fermentasi bahan organik seperti kulit buah, sayuran, dan gula, menawarkan solusi bioteknologi sederhana untuk mengolah limbah menjadi produk ramah lingkungan. Cairan ini mengandung enzim dan mikroorganisme yang dapat menekan mikroba patogen, memperbaiki kualitas tanah, serta menjaga kestabilan ekosistem mikro di lingkungan budidaya.

Eco-enzyme sejak diperkenalkan oleh Rosukon Poompanvong pada tahun 2003 merupakan cairan hasil fermentasi limbah organik (kulit buah, sayuran, gula, air) yang mengandung enzim alami dan mikroorganisme efektif. Sebagai hasil fermentasi limbah organic. Eco-enzyme telah terbukti secara konsisten mampu menurunkan polutan organik hingga 87%, menekan mikroba pathogen hingga 98%, dan memperbaiki kualitas air serta tanah (Wikaningrum & Resda, 2024). Penelitian terbaru menunjukkan eco-enzyme efektif sebagai solusi ekologis, terutama untuk pengolahan air limbah dan peningkatan kualitas lingkungan. Eco-enzyme mengandung enzim (protease, amilase, lipase) dan mikroorganisme yang mempercepat dekomposisi bahan organik serta menekan mikroba pathogen dengan pengurangan sekitar 80-85% untuk *chemical oxygen demand* (COD), 35–37% untuk *total dissolved solids* (TDS) dan 55–60% untuk *total suspended solids* (TSS) (Chandra et al., 2024). Eco-enzyme juga dapat membantu mineralisasi dan degradasi bahan organik karena kaya akan enzim dan mikroorganisme yang meningkatkan aktivitas biologis tanah. Namun, efektivitasnya sangat dipengaruhi oleh dosis, waktu kontak, jenis limbah, dan sistem aplikasi (batch lebih baik daripada aliran kontinu) (Science, 2025).

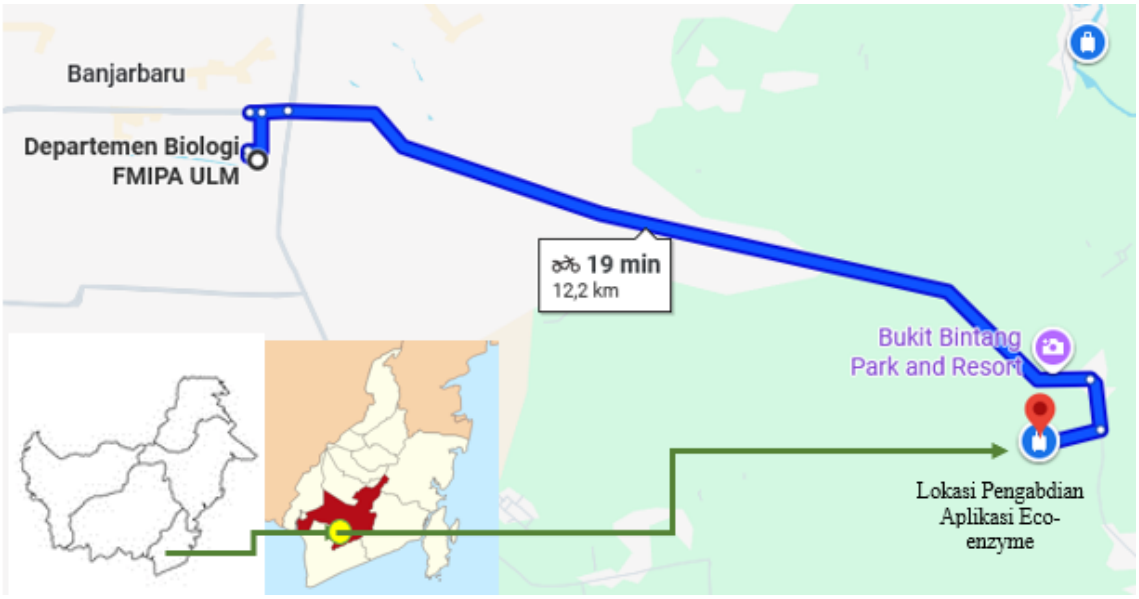
Aplikasi eco-enzyme dalam konteks meliponikultur, merupakan inovasi yang menjanjikan karena mampu menjaga mikrobiota sarang dan mengurangi penggunaan bahan kimia sintetis. Eco-enzyme yang juga kaya enzim dan mikroorganisme, secara teoritis dapat mendukung ekosistem mikroba alami sarang dan menekan patogen, mirip dengan peran mikrobiota alami (Ngalimat et al., 2019). Selain manfaat ekologis, pelibatan Generasi Z dalam kegiatan ini menjadi penting mengingat kelompok ini dikenal memiliki kesadaran lingkungan dan kemampuan teknologi tinggi. Kegiatan pengabdian ini dilakukan di Desa Padang Panjang, kawasan penyangga Geopark Meratus, yang memiliki potensi besar dalam budidaya lebah kelulut sekaligus tantangan dalam pengelolaan limbah organik. Keterlibatan Gen Z dalam praktik langsung seperti pengolahan limbah organik menjadi eco-enzyme dan aplikasinya pada budidaya lebah kelulut membuka peluang untuk sinergi antara inovasi lingkungan, partisipasi masyarakat, dan ekonomi hijau.

Integrasi eco-enzyme dalam sistem meliponikultur dengan demikian, bukan hanya sebagai inovasi pengelolaan limbah organik, tetapi juga pendekatan *nature-based solution* yang menjaga keseimbangan mikrobiota sarang dan mendukung produksi madu yang berkelanjutan. Berdasarkan hal demikian, tujuan kegiatan ini adalah: (1) meningkatkan keterampilan Generasi Z dalam mengolah limbah organik menjadi eco-enzyme, (2)

menerapkan eco-enzyme pada budidaya lebah kelulut sebagai bentuk ekonomi hijau, dan (3) membangun model kolaborasi kampus–masyarakat untuk mendukung keberlanjutan ekosistem lokal.

2. METODE

Kegiatan pengabdian ini dilaksanakan di Desa Padang Panjang, Kecamatan Karang Intan, Kabupaten Banjar, yang merupakan salah satu kawasan penyangga Geopark Meratus (Abdipersadafm, 2023). Wilayah ini berjarak 12 kilometer dari Fakultas MIPA Universitas Lambung Mangkurat, dengan jumlah peserta kegiatan sebanyak 12 mahasiswa Generasi Z dari Jurusan Biologi FMIPA Universitas Lambung Mangkurat sebagai pelaksana utama, serta peternak Kelulut Rafasya sebagai mitra penerima manfaat. Inovasi ini diharapkan menciptakan kondisi mikroklimat sarang yang lebih sehat, memperkuat sistem biologis alami sarang, dan mendukung produksi madu kelulut berkelanjutan.



Gambar 1. Lokasi kegiatan aplikasi *eco-enzyme* dalam budidaya lebah kelulut di Desa Padang Panjang Kabupaten Banjar

Kegiatan ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2025 melalui empat tahapan utama. Tahap pertama adalah persiapan aplikasi eco-enzyme dilakukan pada tanggal 4 Oktober 2025 meliputi meliputi koordinasi dengan aparat desa dan peternak, persiapan larutan eco-enzyme yang sudah dibuat dalam kegiatan PKM pengembangan ekonomi hijau melalui aneka olahan sampah organik di Bank Sampah Sekumpul Martapura. Tahap kedua adalah analisis kondisi lingkungan terutama kondisi air dan udara serta aktivitas gangguan antropogenik di sekitar area meliponikultur (budidaya lebah kelulut) pada tanggal 12 Oktober 2025. Tahap ketiga adalah aplikasi eco-enzyme secara terkontrol di sekitar area sarang lebah kelulut untuk menjaga kelembapan, mencegah jamur, mengurangi hama, dan meningkatkan produksi madu yang dilaksanakan pada tanggal 19 Oktober 2025. Tahap keempat adalah evaluasi hasil aplikasi eco-enzyme dalam budidaya kelulut pada tanggal 25 Oktober 2025. Refleksi peserta atas keterlibatannya dalam program *citizen science* ini dilakukan dengan menggunakan kuesioner dan narasi reflektif untuk menilai ketercapaian tujuan. Data kuantitatif dianalisis secara deskriptif menggunakan nilai rata-rata (mean score), sedangkan data kualitatif dianalisis melalui refleksi naratif peserta untuk mengidentifikasi perubahan perilaku ekologis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Peningkatan Literasi Ekologi

Peningkatan literasi ekologi dalam rangkaian Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) di Desa Padang Panjang ini secara khusus melibatkan mahasiswa Generasi Z (Gen Z) sebagai pelaksana utama (Gambar 1). Kegiatan ini diproyeksikan dapat meningkatkan pemahaman, keterampilan, dan kesadaran lingkungan melalui aplikasi eco-enzyme dalam budidaya lebah kelulut (*Heterotrigona itama*). Kegiatan pengabdian mencakup 3 hal utama yakni : analisis kondisi lingkungan, aplikasi eco-enzyme dan evaluasi hasil aplikasi eco-enzyme dalam budidaya lebah kelulut.

Gambar 1. Poster kegiatan PKM aplikasi *eco-enzyme* dalam budidaya lebah kelulut

Analisis kondisi lingkungan dilakukan sebelum aplikasi eco-enzyme agar diketahui kualitas ekosistem mikro serta potensi tekanan lingkungan yang dapat memengaruhi kesehatan koloni. Tahap awal dilakukan survei aktivitas pertanian di sekitar area kelulut untuk mengidentifikasi penggunaan pestisida, jenis pupuk, dan variasi tanaman yang menjadi sumber pakan lebah. Hasil pengamatan menunjukkan tingkat keparahan tinggi (± 40–80%) untuk penggunaan pestisida, Tingkat keparahan rendah–sedang (± 15–45%) untuk jenis pupuk yang digunakan, tingkat keparahan sedang–tinggi (30–70%) untuk variasi tanaman pakan dan tingkat keparahan sedang (25–60%) untuk kondisi ekosistem mikro. Selanjutnya dilakukan survei aktivitas permukiman dan limbah rumah tangga, dengan fokus pada jalur aliran limbah cair dan padat yang dapat mencemari tanah serta memicu pertumbuhan jamur di sekitar sarang. Tahap terakhir yaitu pemetaan potensi polusi terhadap biodiversitas, mencakup identifikasi vegetasi pakan lebah, sumber air alami, serta area yang terpapar aktivitas manusia.

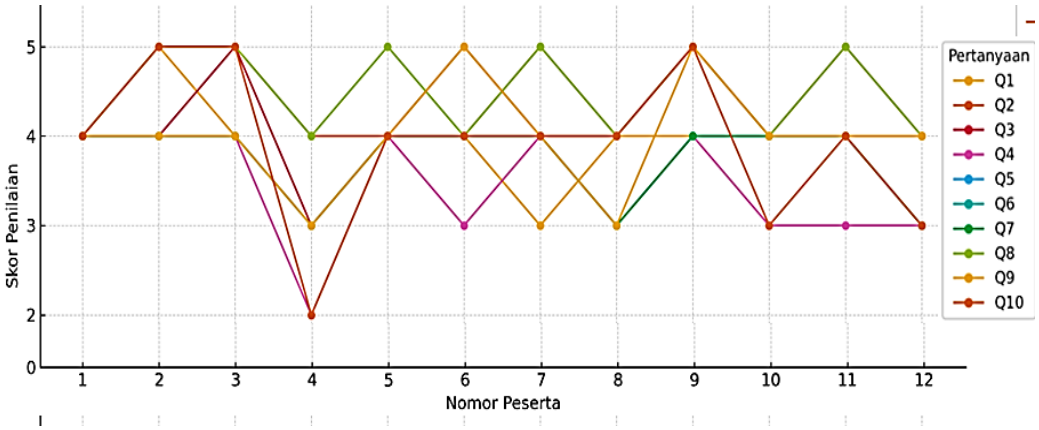
Aplikasi eco-enzyme dalam budidaya lebah kelulut dilakukan sebagai upaya aplikasi prinsip pengelolaan lingkungan berbasis bioteknologi alami. Eco-enzyme disemprotkan secara merata pada tanah di sekitar sarang dan permukaan luar stup menggunakan sprayer kecil dengan tujuan mengurangi bau fermentasi, menekan pertumbuhan mikroba patogen, serta menjaga kelembapan mikrohabitat yang mendukung aktivitas lebah. Selain itu, bagian dalam sarang yang menunjukkan tanda-tanda jamur atau noda putih diolesi secara hati-hati menggunakan kapas atau *cotton bud* agar tidak mengganggu lebah pekerja, namun tetap efektif membersihkan permukaan terkontaminasi (Gambar 2). Aplikasi ini juga berfungsi sebagai tindakan pencegahan hama, karena aroma alami eco-enzyme dapat membantu

mengusir semut, kecoa, dan serangga predator lainnya tanpa menggunakan bahan kimia sintetis

Gambar 2. Aplikasi *eco-enzyme* dalam budidaya lebah kelulut di Desa Padang Panjang

b. Evaluasi Tim dan Kepedulian Lingkungan

Evaluasi dilakukan terhadap 12 peserta menggunakan lembar penilaian dengan skala 1–5 (sangat tidak setuju hingga sangat setuju) (Gambar 3). Hasil rata-rata skor pada setiap aspek berada pada kisaran 4,2–4,8, menunjukkan bahwa seluruh peserta telah mencapai tingkat pemahaman dan keterampilan yang baik hingga sangat baik. Aspek yang mendapatkan nilai tertinggi adalah kepedulian terhadap lingkungan (4,8), diikuti pemahaman konsep eco-enzyme (4,6) dan kolaborasi dalam tim (4,6). Hal ini menunjukkan bahwa kegiatan tidak hanya meningkatkan literasi ekologis, tetapi juga membangun soft skills penting seperti kerja sama, komunikasi, dan tanggung jawab sosial. Hasil evaluasi juga menunjukkan bahwa peserta telah mampu menghubungkan teori ekologi dan bioteknologi lingkungan dengan praktik lapangan, mengaplikasikan eco-enzyme secara aman dan efektif pada sarang lebah kelulut, melakukan observasi dan pencatatan aktivitas lebah secara sistematis, serta menunjukkan antusiasme dan inisiatif tinggi dalam inovasi ramah lingkungan.



Gambar 3. Skor rata-rata evaluasi Pemahaman, Kolaborasi dan Kepedulian pasca-kegiatan menunjukkan kategori 'Sangat Baik' (skala 1-5).

DOI: https://doi.org/10.20527/ilung.v5i3

Kecenderungan peserta dalam menilai keberhasilan program diperoleh dari keseluruhan data refleksi kualitatif, selanjutnya dianalisis menggunakan frekuensi kata (unigram) dan frasa (bigram) sesuai metode Alsharman dkk. (2020). Secara unigram, kata-kata yang paling dominan muncul adalah "lingkungan" (n=63), "sarang" (n=33), "organik" (n=29), "limbah" (n=23), "hama" (n=23), dan "kebersihan" (n=22), yang menegaskan fokus utama pengalaman peserta. Analisis bigram memberikan wawasan lebih mendalam tentang koneksi konseptual yang dibangun. Frasa yang paling sering muncul adalah "limbah organik" (n=22), diikuti oleh "kerja sama" (n=13) yang menyoroti aspek kolaboratif. Selain itu, frekuensi tinggi pada frasa "menjaga kebersihan" (n=13), "kebersihan lingkungan" (n=10), dan "kelestarian lingkungan" (n=6) membuktikan bahwa peserta berhasil menghubungkan tindakan praktis (kebersihan) dengan tujuan ekologis (kelestarian). Pemahaman fungsional peserta juga terkonfirmasi melalui frasa "pestisida alami" (n=6) dan "pengendali hama" (n=4), serta apresiasi terhadap metode "secara langsung" (n=6) dan "memberikan pengalaman" (n=5).

Hasil analisis refleksi dari peserta kegiatan ini digunakan untuk memperkuat kesimpulan data kuantitatif. Sebagian besar peserta kegiatan menyebutkan bahwa pengalaman yang paling berkesan adalah interaksi langsung dengan koloni lebah dan aplikasi *eco-enzyme* sebagai solusi pengelolaan limbah organik. Peserta juga menunjukkan komitmen untuk mengolah limbah organik rumah tangga menjadi eco-enzyme, menyebarkan praktik ramah lingkungan ke komunitas, dan mengembangkan inovasi berbasis bioteknologi sederhana. Secara keseluruhan, kegiatan ini telah mendorong transformasi literasi ekologi menjadi tindakan nyata (*ecological literacy to eco-action*). Pengalaman ini menjadikan mahasiswa Gen Z sebagai agen perubahan (*eco-change agents*) dalam mewujudkan ekonomi hijau berbasis biodiversitas lokal di lahan basah Kalimantan Selatan.

Terkait dengan peningkatan kompetensi peserta, hasilnya diukur dengan menggunakan perbandingan estimatif *pre-test* dan *post-test* (Tabel 1) Hasil *pre-test* dan *post-test* menunjukkan peningkatan signifikan pada semua indikator, dengan rata-rata skor keseluruhan meningkat dari 3,1 (cukup) menjadi 4,6 (baik–sangat baik), atau mengalami kemajuan sekitar 46%. Kenaikan tertinggi terjadi pada pemahaman konsep *eco-enzyme* dan ekonomi hijau (+64%), diikuti keterampilan teknis dan pengetahuan budidaya (+45% hingga +70%).

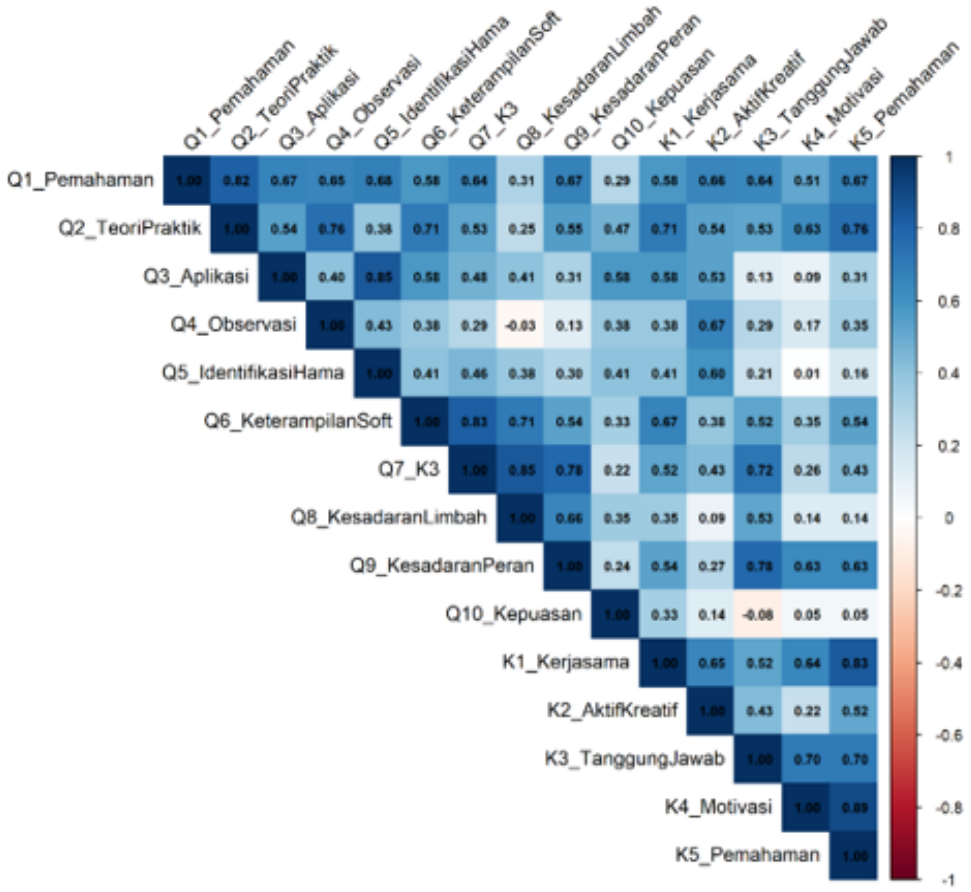
Tabel 1. Peningkatan Pemahaman Gen Z dalam Program Aplikasi eco-enzyme

No.	Aspek	Pre-test	Post-test	Peningkatan
1.	Pemahaman konsep ekonomi hijau	45%	85%	40%
2.	Keterampilan pembuatan eco-enzyme	20%	90%	70%
3.	Pengetahuan budidaya lebah kelulut	35%	80%	45%

Hasil evaluasi pre-test dan post-test menunjukkan bahwa program aplikasi eco-enzyme berhasil meningkatkan kompetensi peserta secara signifikan, dengan rata-rata skor meningkat dari 3,1 (kategori cukup) menjadi 4,6 (kategori baik–sangat baik) atau mengalami peningkatan sekitar 46%. Peningkatan tertinggi terjadi pada keterampilan

pembuatan eco-enzyme (70%), diikuti pemahaman konsep ekonomi hijau (40%) dan pengetahuan budidaya lebah kelulut (45%). Meskipun demikian, capaian yang belum mencapai 100% mengindikasikan perlunya penguatan pada aspek pendalaman konseptual, konsistensi keterampilan teknis lanjutan, serta integrasi pemahaman antara aplikasi eco-enzyme, pengelolaan lingkungan, dan manajemen koloni kelulut agar kompetensi peserta tidak hanya bersifat kognitif, tetapi juga aplikatif dan berkelanjutan.

Analisis korelasi pada Gambar 4 menunjukkan hubungan positif yang kuat antara aspek Kesadaran dan Kepedulian (r = 0,63), serta hubungan positif moderat antara Kolaborasi dan Pemahaman (r = 0,83). Temuan ini mengindikasikan bahwa metode pembelajaran berbasis tim (team-based learning) yang diterapkan sangat efektif. Peserta yang melaporkan kemampuan kolaborasi (Q6, K1) yang lebih baik juga cenderung menunjukkan tingkat kepedulian lingkungan (Q8, Q9, K3) dan pemahaman konsep (Q1, Q2) yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa diskusi dan kerja sama tim selama praktik lapangan berperan penting dalam memperkuat penyerapan pengetahuan dan pembentukan sikap afektif peserta.



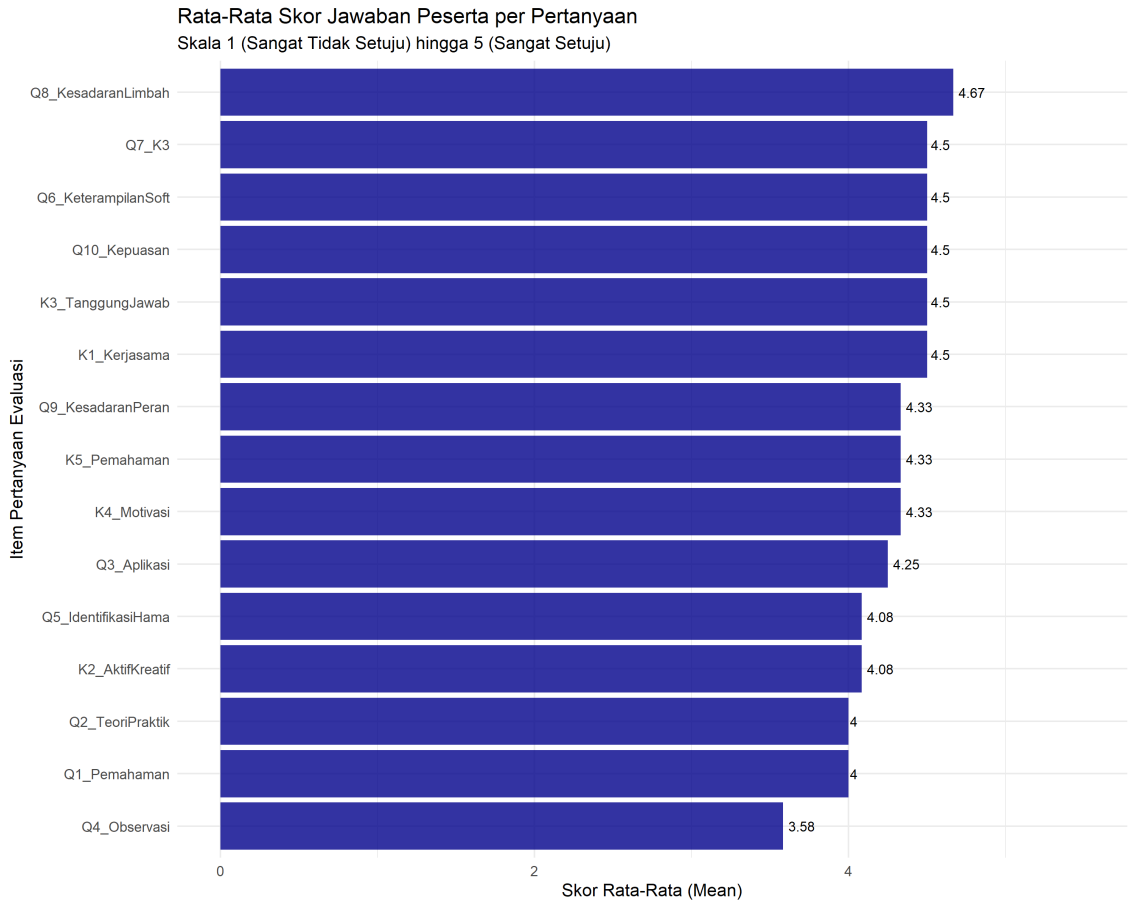
Gambar 4. Matriks korelasi Spearman antar pertanyaan

c. Implikasi terhadap Ekonomi Hijau

Perbandingan kemajuan (pre-test vs post-test estimatif) menunjukkan terjadi peningkatan signifikan pada semua indikator yang diukur. Rata-rata skor keseluruhan meningkat dari 3,1 (cukup) menjadi 4,6 (baik–sangat baik), dengan tingkat kemajuan sekitar 46%. Kenaikan tertinggi terjadi pada indikator pemahaman konsep eco-enzyme

DOI: https://doi.org/10.20527/ilung.v5i3

(+64%), setelah peserta mengikuti praktik fermentasi dan aplikasi langsung; kepedulian lingkungan (+41%), yang menandakan peningkatan kesadaran ekologis; serta kolaborasi dan komunikasi tim (+39%), berkat pendekatan kerja kelompok antar individu saat pengamatan lapangan.



Gambar 5. Perbandingan Skor Rata-rata Capaian Peserta (Sebelum vs. Sesudah Kegiatan).

Implikasi kegiatan aplikasi eco-enzyme oleh gen z untuk mendukung ekonomi hijau pada budidaya kelulut di Desa Padang Panjang, Kabupaten Banjar menunjukkan kontribusi nyata terhadap penguatan konsep ekonomi hijau di tingkat lokal. Hasil evaluasi kegiatan memperlihatkan peningkatan signifikan pada seluruh indikator pembelajaran, dengan rata-rata skor naik dari 3,1 menjadi 4,6 atau kemajuan sekitar 46%. Peningkatan terbesar terdapat pada pemahaman konsep eco-enzyme sebesar 64%, yang mencerminkan keberhasilan transfer pengetahuan terkait pengelolaan limbah organik menjadi produk bernilai guna bagi keberlanjutan lingkungan dan produksi madu kelulut. Selain itu, meningkatnya kepedulian lingkungan sebesar 41% menandakan bahwa peserta semakin memahami hubungan antara ekosistem sehat, produktivitas lebah kelulut, dan ketahanan pangan. Peningkatan kemampuan kolaborasi dan komunikasi tim sebesar 39% memperkuat aspek sosial ekonomi hijau, dan menjadi fondasi penting bagi inovasi berkelanjutan. Kegiatan ini tidak hanya berimplikasi pada peningkatan kapasitas generasi muda dalam menerapkan prinsip *reduce, reuse, recycle* melalui eco-enzyme, tetapi juga

memperkuat ekosistem ekonomi hijau berbasis masyarakat yang ramah lingkungan dan berdaya saing **(Prodyanatasari et al., 2024)**.

4. KESIMPULAN

Program pengabdian ini berhasil meningkatkan pemahaman, keterampilan, dan kesadaran ekologis mahasiswa Generasi Z melalui aplikasi eco-enzyme pada budidaya lebah kelulut. Kegiatan ini memperkuat literasi ekologi, membentuk mahasiswa sebagai agen perubahan (*eco-change agents*), dan memperlihatkan potensi aplikasi bioteknologi sederhana untuk mendukung ekonomi hijau. Ke depan, pengembangan riset kolaboratif antara universitas dan masyarakat diperlukan untuk menilai dampak jangka panjang eco-enzyme terhadap kualitas madu, kesehatan koloni, serta keberlanjutan ekosistem lahan basah Kalimantan Selatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada: 1) Direktorat Pembelajaran dan Kemahasiswaan (Belmawa), Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia melalui program PKM BIMA 2025 atas dukungan pendanaan dan fasilitasi kegiatan. 2) Universitas Lambung Mangkurat melalui Jurusan Biologi FMIPA atas dukungan akademik dan sarana penelitian. 3) Masyarakat Desa Padang Panjang, Kecamatan Karang Intan, Kabupaten Banjar, yang telah memberikan izin dan partisipasi aktif dalam kegiatan aplikasi eco-enzyme dan budidaya lebah kelulut. 4) Seluruh mahasiswa peserta kegiatan yang dengan semangat dan kepedulian tinggi telah menjadi bagian penting dalam mewujudkan inovasi ekonomi hijau berbasis biodiversitas lokal. Kegiatan ini diharapkan menjadi langkah awal dalam mengembangkan ekoliterasi generasi muda dan memperkuat peran perguruan tinggi sebagai motor inovasi ekologi dan sosial di tingkat masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

Abdipersadafm. (2023, December 12). *SMAN 2 Karang Intan jadi pilot project penerapan Kurikulum Geopark Meratus di Kalsel*. https://abdipersadafm.co.id/2023/12/11/sman-2-karang-intan-jadi-pilot-project-penerapan-kurikulum-geopark-meratus-di-kalsel/

Badan Riset dan Inovasi Nasional. (2024, July 24). *11,3 juta ton sampah di Indonesia tidak terkelola dengan baik*. https://brin.go.id/drid/posts/kabar/113-juta-ton-sampah-di-indonesia-tidak-terkelola-dengan-baik

Chandra, S., Khan, O., Hoque, A., Rahman, A., Bedoura, S., Abbas, M., & Islam, S. (2024). Evaluating the biocatalytic potential of fruit peel-derived eco-enzymes for sustainable textile wastewater treatment. *Results in Engineering, 21*, 101898. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.101898

Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim – Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2025). *Program Kampung Iklim (ProKlim): Solusi aksi nyata untuk menghadapi perubahan iklim*. https://kemenlh.go.id/contents/16/Program-Kampung-Iklim-Proklim

Maryanti, A., Hastuti, D., & Hardi, N. (2024). Effectiveness test of onion peel eco enzyme as bioinsecticide for armyworm pest (Spodoptera litura). *Jurnal Agronomi Tanaman Tropika (JUATIKA) 6*(2), 312-323.

Prodyanatasari, A., Jayanti, K. D., Purnadianti, M., Putri, M. P., & Fernanda, J. W. (2024). Community-based eco-enzymes production: A step toward a clean and sustainable environment. *Darmabakti Cendekia: Journal of Community Service and Engagements, 6*(2), 193–201. https://e-journal.unair.ac.id/DC/article/view/62813/30761

Science, E. (2025). Effect of eco-enzyme on communal domestic wastewater treatment plant effluents. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1489*(1), 012022. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1489/1/012022

Wikaningrum, T., & Resda, C. D. (2024). Study of Eco-Enzyme Application in Reducing Nitrite Concentration and Ph Value in Water Sample. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, *24*(2), 1383. https://doi.org/10.33087/jiubj.v24i2.5138