

Pemanfaatan Limbah Praktikum Laboratorium Mikrobiologi Menjadi Pupuk Cair dan Ecoenzim

Renardi Erwinsyah^a, Mutaufiq^b, Ratih Nirmala Dewi^c

^aFakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung

^bProgram Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Pendidikan Teknologi Industri
Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung

^cDinas Pendidikan Kabupaten Bandung Barat

Corresponding Author: renardierwinsyah@upi.edu

Received: 29th August 2025; Revised: 03th June 2026; Accepted: 04th June 2026;

Available online: 04th June 2026; Published regularly: July 2026

Abstract

Microbiology laboratory waste such as residual growth media (Nutrient Agar, Nutrient Broth, Azotobacter and Rhizobium growth media) has the potential to be processed into products of economic value. This study aims to analyze the utilization of microbiology practice waste into Liquid Organic Fertilizer (POC) and ecoenzymes. The research method includes collecting, grouping, and product manufacturing trials using 9.4 kg of solid waste and 11.56 liters of liquid waste. Liquid waste is processed into POC, POC Rhizobium, Azotobacter using a mixture of molasses and EM4 (1:1), with an incubation period of 7–30 days. Solid waste is processed into ecoenzymes with a molasses:substrate:water ratio (1:3:10) for 90 days, as well as fermentation of maggot feed. The results of the study demonstrated the effectiveness of laboratory waste utilization, yielding 36.17 liters of general fertilizer (POC), 1.2 liters of Rhizobium fertilizer (POC), 2.3 liters of Azotobacter fertilizer (POC), 12 liters of ecoenzyme, and 1 kg of maggot feed. This research demonstrates that proper laboratory waste management can produce products applicable to agriculture.

Keywords : *ecoenzyme, laboratory, laboratory waste, microbiology, POC*

Abstrak

Limbah laboratorium mikrobiologi seperti sisa medium pertumbuhan (Nutrient Agar, Nutrient Broth, medium tumbuh Azotobacter dan Rhizobium) berpotensi diolah menjadi produk bernilai ekonomi. Penelitian ini bertujuan menganalisis pemanfaatan limbah praktik mikrobiologi menjadi Pupuk Organik Cair (POC) dan ekoenzim. Metode penelitian meliputi pengumpulan, pengelompokan, dan uji coba pembuatan produk menggunakan 9,4 kg limbah padat serta 11,56 liter limbah cair. Limbah cair diolah menjadi POC, POC Rhizobium, Azotobacter menggunakan campuran molase dan EM4 (1:1), dengan masa inkubasi 7–30 hari. Limbah padat diolah menjadi ekoenzim dengan perbandingan molase:substrat:air (1:3:10) selama 90 hari, serta fermentasi pakan maggot. Hasil penelitian menunjukkan efektivitas pemanfaatan limbah praktikum dengan perolehan produk berupa 36,17 liter POC umum, 1,2 liter POC Rhizobium, 2,3 liter POC Azotobacter, 12 liter ekoenzim, dan 1 kg pakan maggot. Penelitian ini membuktikan bahwa pengelolaan limbah laboratorium secara tepat dapat menghasilkan produk aplikatif bagi pertanian.

Kata Kunci: *ekoenzim, laboratorium, limbah praktikum, mikrobiologi, POC*

PENDAHULUAN

Instansi pendidikan merupakan salah satu kontributor utama dalam penghasilan limbah setelah sektor industri dan pasar (Kinasih & Aries, 2020). Sebagai salah satu unit pendidikan yang aktif melaksanakan kegiatan praktikum dan riset, Laboratorium Mikrobiologi FPMIPA Universitas Pendidikan

Indonesia (UPI) terpantau menghasilkan puluhan kilogram limbah organik setiap tahunnya. Karakteristik aktivitas di laboratorium ini selalu memproduksi limbah dalam bentuk padat maupun cair pada setiap siklus praktikum. Limbah padat yang dihasilkan meliputi sisa bahan alami seperti tauge, serasah, tempe, daun kering, serta sisa media nutrient agar (NA) yang digunakan sebagai sampel atau tempat pertumbuhan mikroba. Sementara itu, limbah cair yang diproduksi mencakup sisa media kaya nutrisi seperti *nutrient broth (NB)*, *yeast mannitol broth (YMB)*, *nitrogen free mannitol broth*, media agar pisang ragi, serta gula (APRG) yang digunakan untuk kultivasi lalat buah (*Drosophila melanogaster*).

Sejauh ini, penanganan limbah padat dan cair tersebut umumnya langsung dihancurkan dan dibuang melalui fasilitas pengolahan limbah konvensional yang tersedia di lingkungan kampus. Padahal, limbah-limbah tersebut memiliki potensi besar untuk didistribusi menjadi produk yang bernilai guna tinggi, seperti Pupuk Organik Cair (POC), bioenzim, dan ecoenzim. Pemanfaatan limbah laboratorium menjadi produk organik tidak hanya menjadi solusi reduksi sampah, tetapi juga dapat memperluas wawasan akademis mengenai diversifikasi limbah serta memberikan pengalaman aplikatif dalam bidang pertanian berkelanjutan (Leana dkk., 2022).

Pupuk Organik Cair (POC) merupakan larutan hasil fermentasi dan ekstraksi bahan-bahan alami yang mengandung lebih dari satu unsur hara esensial bagi tanaman. POC dapat didegradasi dari berbagai material organik, termasuk limbah dedaunan maupun sisa makanan (Herlina dkk., 2022). Penggunaan POC secara berkelanjutan terbukti mampu mempertahankan kesuburan tanah, memperbaiki struktur fisik dan porositas tanah, serta meningkatkan produktivitas lahan secara jangka panjang (Firdiani dkk., 2022; Kasmawan, 2018). Selain itu, keunggulan POC terletak pada proses pembuatannya yang relatif mudah, berbasis teknologi sederhana, dan memerlukan biaya operasional yang ekonomis (Abidin & Rohman, 2020). Namun, aplikasi pupuk organik di tingkat masyarakat masih menghadapi kendala. Sanosra dkk. (2023) mengungkapkan adanya keraguan masyarakat karena pupuk organik dianggap tidak memberikan dampak signifikan secara instan terhadap kualitas maupun kuantitas hasil panen. Hal ini diperparah oleh keterbatasan pengetahuan masyarakat mengenai metodologi dan simplifikasi teknologi pengolahan limbah menjadi pupuk fungsional.

Selain POC, alternatif pengelolaan limbah organik yang efektif adalah pembuatan ecoenzim. Ecoenzim diproduksi melalui proses fermentasi substrat organik (seperti ampas buah dan sayuran), gula (tebu, merah, atau cokelat), dan air dengan durasi inkubasi selama minimal 90 hari (Rustanta et al., 2022). Produk ecoenzim memiliki nilai ekonomi dan preferensi yang tinggi di masyarakat, salah satunya dalam bentuk cairan semprot aromaterapi berbasis kulit jeruk yang menghasilkan aroma citrus yang menyegarkan (Sepriyanto, 2024).

Penelitian mengenai konversi limbah organik menjadi POC dan ecoenzim telah banyak dipublikasikan. Mayoritas penelitian terdahulu berfokus pada pemanfaatan limbah homogen skala domestik, seperti limbah dapur rumah tangga (Rustanta et al., 2022), sisa sayuran pasar tradisional (Herlina dkk., 2022), atau optimalisasi jenis bakteri pengurai komersial (*Effective Microorganisms*) untuk mempercepat pematangan pupuk (Abidin & Rohman, 2020). Di sisi lain, pemanfaatan konsorsium bakteri penambat nitrogen atau *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) dari akar legum umumnya diteliti sebagai agen hayati yang diaplikasikan langsung pada tanah, bukan diintegrasikan sejak proses fermentasi limbah (Setyawan dkk., 2022).

Sampai saat ini, belum ada penelitian yang secara spesifik mengeksplorasi pemanfaatan limbah heterogen kompleks dari laboratorium mikrobiologi (kombinasi sisa media kaya nutrisi seperti *nutrient broth*, *yeast mannitol broth*, dan agar) sebagai bahan baku pembuatan POC dan ecoenzim. Terdapat kekosongan penelitian (*gap analysis*) terkait bagaimana karakteristik nutrisi instan dari sisa media laboratorium ini berinteraksi dengan bakteri fungsional (*Azotobacter* dan *Rhizobium*) ketika diformulasikan menjadi pupuk hayati cair.

Kebaharuan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada formulasi bahan baku (substrat) dan integrasi agen biostimulan endogenus laboratorium. Penelitian ini tidak hanya mengolah limbah sayuran biasa (sisa tauge), melainkan memanfaatkan limbah sisa media kultur laboratorium yang kaya akan asam amino,

peptone, ekstrak khamir, dan karbohidrat kompleks. Selain itu, kebaruan lainnya adalah pemanfaatan isolat bakteri fungsional penambat nitrogen (*Azotobacter sp.* dan *Rhizobium sp.*/PGPR) yang didapatkan langsung dari hasil isolasi praktikum mahasiswa di laboratorium mikrobiologi, kemudian disinergikan dengan bakteri pengurai komersial (*Effective Microorganisms*). Kombinasi ini menghasilkan produk POC yang tidak hanya bertindak sebagai penyedia hara (pupuk), tetapi juga sebagai biofertilizer aktif yang kaya akan mikroba penambat nitrogen bebas, pelarut fosfat, dan pemacu pertumbuhan tanaman melalui sintesis hormon alami.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis potensi dan efektifitas pemanfaatan limbah padat dan cair dari aktivitas praktik di laboratorium mikrobiologi FPMIPA UPI sebagai bahan baku pembuatan pupuk organik cair (MOL) dan ecoenzim. Limbah praktik yang digunakan termasuk bahan organik seperti sisa sayuran, serta mikroorganisme *Azotobacter*, *Rhizobium*, dan bakteri pengurai (*Effective Microorganism*). Sumber limbah sayuran diambil dari sisa pembuatan tauge, sementara *Azotobacter* dan *Rhizobium* didapatkan melalui isolasi bakteri penangkap nitrogen dari hasil praktik di laboratorium mikrobiologi. Limbah tauge dan bahan organik lainnya dihancurkan dan diolah menjadi pupuk cair (MOL). Sisa akar tanaman legum dari praktik ini mengandung bakteri yang disebut *Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)* yang memiliki kemampuan untuk mengikat nitrogen bebas dari atmosfer (fikasi nitrogen bebas). Nitrogen bebas tersebut kemudian diubah menjadi amonia dan disalurkan ke tanaman. Bakteri yang ada di akar ini juga berfungsi untuk menyediakan berbagai mineral yang diperlukan oleh tanaman, seperti besi, fosfor, dan belerang. Selain itu, *Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)* sangat berperan dalam meningkatkan hormon tanaman, yang secara langsung mendukung pertumbuhan tanaman. Di samping itu, PGPR juga dapat menambah populasi bakteri dan mengendalikan hama serta penyakit yang menyerang tanaman (Setyawan, A., Jumadi, R., & Redjeki, E. S., 2022). Melalui studi ini, diharapkan dapat memberikan solusi alternatif penanganan limbah organik di instansi pendidikan (laboratorium) guna mendukung implementasi kampus hijau (green campus) yang bernilai ekonomis.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan dengan cara R&D (*Research dan Development*) melalui pendekatan eksperimen (uji coba). Tahapan penelitian di mulai dengan melakukan pengumpulan limbah organik, pengelompokan limbah organik, penimbangan, pencatatan/perhitungan, serta diakhiri eksperimen pembuatan POC dan ecoenzim. Limbah organik sebagai bahan pembuatan POC dan ecoenzim, dikumpulkan secara bertahap mulai bulan maret sampai bulan Juli 2025. Selama periode waktu tersebut diperoleh 9,4 kg limbah organik padat dan 11,56 liter limbah organik cair limbah praktik. Limbah bahan organik yang telah terkumpul antara lain sisa pembuatan medium, *lactose brooth*, *nutrien agar*, *nutrien brooth*, medium pertumbuhan *Azotobacter*, dan *Rhizobium*.

1. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian hampir semua mudah didapatkan dengan teknologi yang sederhana. Terdapat beberapa alat khusus yang hanya dapat digunakan didalam laboratorium. Alat yang dimaksud adalah *autoclave*. *Autoclave* tidak langsung berhubungan dalam pembuatan POC, *autoclave* digunakan dalam proses pengolahan limbah organik dan sisa medium praktik. Limbah yang dihasilkan wajib di destruksi (penghancuran mikroorganisme) sebelum dapat digunakan dan diolah menjadi pupuk.

1.1 Alat

Tabel 1. Alat Penelitian

No	Alat	Spesifikasi	Jumlah
1	Galon Air Mineral	Ukuran 15 Liter	1 untuk setiap pengolahan
2	Botol Kemasan Air Mineral	Ukuran 1 Liter	10 untuk setiap galon yang dihasilkan
3	Timbangan	Ukuran 5kg	1
4	Corong	Diameter 40 cm	1
5	Pisau	-	1
6	Talenan	-	1
7	<i>Autoclave</i>	Hirayama 100 Liter	1
8	<i>Sprayer</i>	Ukuran 500 ml	20
9	Kertas Label	-	20
10	Beaker Glass	Ukuran 2000 ml	2

1.2 Bahan

Tabel 2. Bahan Penelitian

No	Bahan Tambahan	Jumlah
1	Molase	10 Kg
2	Aquadest	40 Liter
3	EM 4 (<i>Effective Microorganism</i>)	5 Botol Kemasan
4	Limbah Sisa pembuatan medium	5 kg
5	<i>Lactose Brooth</i>	
6	<i>Nutrien Agar</i>	
7	<i>Nutrien Brooth</i>	
8	Medium Pertumbuhan <i>Azotobacter</i>	
9	Medium Pertumbuhan <i>Rhizobium</i>	

2. Metode Pengolahan Limbah

2.1. Pengumpulan dan pencatatan dan perhitungan limbah organik

Limbah praktikum mikrobiologi diperoleh dari sisa hasil destruksi media pertumbuhan bakteri. Destruksi dilakukan menggunakan *Autoclave* Hirayama berkapasitas 80 liter pada suhu 121 °C dan tekanan 1,5 atm selama 15 menit. Pengumpulan limbah organik dikumpulkan mulai tanggal 10 maret 2025 sampai dengan 3 juli 2025. Alur pengolahan limbah dideskripsikan seperti pada gambar 1, 2, dan 3 dibawah ini.



Gambar 1
Destruksi medium pertumbuhan bakteri



Gambar 2
Memilah bahan padat



Gambar 3
Memilah bahan cair

Setelah proses destruksi menggunakan *autoclave*, tahapan selanjutnya adalah memilah limbah organik padat dan cair ke tempat yang berbeda. Limbah organik tersebut berasal dari bahan praktik mikrobiologi terapan, mikrobiologi dan genetika. Limbah organik dikelompokkan menjadi bahan padat dan bahan cair. Pengumpulan dan perhitungan bahan uji coba pembuatan POC dan ecoenzim disajikan dalam tabel 3.

Tabel 3. Pengumpulan dan Perhitungan bahan

No	Tanggal	Produk yang dihasilkan	Nama Bahan Limbah	Jumlah Bahan
1	10 Maret 2025	Pupuk Organik Cair	KNA, KN, TA, Kaldu Nutrisi	1. Limbah : 1980 ml 2. Molase : 100 ml 3. EM 4 : 100 m 4. Aquadest : 4000 ml
2	21 Maret 2025	Ecoenzim	Kulit Pisang	1. Kulit pisang 2000 gram 2. Air 6000 ml 3. Gula merah 600 gram
3	11 April 2025	Pupuk Organik Cair	Kaldu Nutrisi, Kaldu Laktosa kelas A dan B	1. Limbah : 3200 ml 2. Air 6400 ml 3. Molase 200 ml 4. EM4 = 200 ml
4	20-04-2024	Pupuk Organik Cair	Sisa Santan	1. Limbah : 1000 ml 2. Air : 2500 ml 3. Molase : 50 ml 4. EM4 : 50 ml
5	20-040-2025	Fermentasi ampas kelapa untuk pakan maggot	Ampas Kelapa	1. Limbah : 1000 ml 2. Molase :50 ml 3. EM4 : 50 ml
6	22-04-2025	Ecoenzim	Ampas Pisang	1. Kulit pisang 1500 gram 2. Air : 5000 ml 3. Molase : 50 ml
7	22-04-2025	Pupuk Organik Cair	Kaldu Nutrisi kelas C dan D	1. Kaldu 1500 ml 2. Air : 3000 ml 3. Molase 120 ml 4. EM 4 : 120 ml
8	02-05-2005	Pupuk Organik Cair	Kaldu Nutrisi Kelas A dan B	1. Kaldu : 1300 ml 2. Air 2600

9	5-06-2025	Pupuk Organik Cair Biakkan <i>Rhizobium</i>	YMB	3. Molase : 78 ml 4. EM 4 : 78 ml YMB 690 MI 1 resep (30 ml Starter+ 70 ml) molase
10	26 – 06-2025	Pupuk Organik Cair	Kaldu Laktosa	1. Kaldu Laktosa 800 ml 2. EM4 : 200 ml 3. Molase : 200 ml 4. Air : 10000 ml
11	26-06-2025	Pupuk Organik Cair	Nutrien Agar	1. Nutrien Agar 2000 gram 2. EM4 : 200 ml 3. Molase : 200 ml 4. Air : 10000 ml
12	3-07-2025	Pupuk Organik Cair biakkan <i>Azotobacter</i>	<i>Azotobacter</i> dalam NFMB	<i>Azotobacter</i> 380 ml + Molase 887 ml
13	3 – 07- 2025	Pupuk Organik Cair biakkan <i>Rhizobium</i>	<i>Rhizobium</i> dalam YMB	<i>Rhizobium</i> dalam YMB 690 ml + Molase 1610 ml
14	3-07-2025	Pupuk Organik Cair campuran <i>Azotobacter</i> dan <i>Rhizobium</i>	Campuran <i>RhizobiumAzotobacter</i> EM4+Molase Air	1. Air 10 liter 2. Molase 3. EM4
15	3-07-2025	Pupuk Organik Cair	Kaldu agar	1. Kaldu agar 1,9 kg 2. EM4 Molase 3. 50 ml + 50 ml 4. Air 10 Liter

3. Uji Coba Pembuatan Pupuk Organik Cair dan Ecoenzim

3.1 Pembuatan POC

Bahan baku pembuatan POC berasal dari limbah *lactose brooth*, *nutrien brooth*, *nutrien* agar dengan menambahkan EM4 (*Effective Microorganisme*) dan molase dengan perbandingan molase dan EM4 sebanyak 50 ml: 50 ml pada 2,5 liter wadah galon fermentor. Alternatif lainnya dapat diganti dengan gula merah 800 gram dan ragi 22 gram untuk kapasitas ember atau drum 2,5 Liter (Putra, 2019). Perbandingan dan perhitungan komposisi limbah organik, molase, air dan EM4 disajikan dalam tabel. bahan tersebut dicampur dan di masukan kedalam botol galon fermentor. Durasi fermentasi dirancang selama 30 hari menggunakan botol galon kemasan 15 liter dengan tutup yang dimodifikasi.

3.2 Pembuatan POC *Rhizobium* dan *Azotobacter*

Pembuatan POC *Rhizobium* dan *Azotobacter* diperoleh dari isolasi mikroorganisme *Azotobacter* dan *Rhizobium*. Inokulan *Rhizobium* diperoleh dengan menumbuhkan akar tanaman legum ke dalam medium *Yeast Manitol Brooth* (YMB). Inokulan *Azotobacter* diperoleh dari isolasi tanah berkapur di daerah Padalarang ditumbuhkan dalam medium *Nitrogen Free Manitol Brooth* (NFMB) yang diperoleh dari sisa praktikum isolasi bakteri penambat nitrogen dalam praktik mikrobiologi.

Surtiningsih (2009) menyatakan bahwa ada beberapa metode untuk meningkatkan jumlah inokulan *Rhizobium* yang dapat dilakukan dengan memanfaatkan *Nutrient Agar* (NA), di mana media awal bakteri *Rhizobium* menggunakan *Nutrient Broth* (NB) ditambahkan glukosa sebanyak 1%, dan media untuk produksi biofertilisasi menggunakan Molase sebanyak 2% dengan konsentrasi bakteri 30%. Proses pembuatan budaya bakteri dimulai dengan menyusun kultur bakteri dalam media broth yang terdiri dari NB dan glukosa 1% dalam volume 100 ml yang dimasukkan ke dalam tabung Erlenmeyer. Kultur *Rhizobium* murni ditumbuhkan dengan mengambil dua ose dari agar miring, kemudian dimasukkan ke dalam media broth yang dilakukan secara steril dan diinkubasi pada suhu kamar selama 2 hari.

Pembuatan biofertilisasi atau pupuk hayati dari satu jenis bakteri *Rhizobium* dilakukan dengan cara menginokulasi 30 ml starter bakteri satu spesies *Rhizobium* ke dalam 70 ml media molase secara aseptik, dan dilakukan inkubasi selama beberapa hari. Rincian komposisi untuk pembuatan POC *Rhizobium* dan *Azotobacter* dapat dilihat di bawah ini.

Tabel 4. Pengumpulan dan Perhitungan bahan POC *Rhizobium* dan *Azotobacter*

No	Tanggal	Produk yang dihasilkan	Nama Bahan Limbah	Jumlah Bahan
1	3-07-2025	Pupuk Organik Cair biakkan <i>Azotobacter</i>	<i>Azotobacter</i> dalam NFMB	<i>Azotobacter</i> 380 ml + Molase 887 ml
2	3-07-2025	Pupuk Organik Cair biakkan <i>Rhizobium</i>	<i>Rhizobium</i> dalam YMB	<i>Rhizobium</i> dalam YMB 690 ml + Molase 1610 ml
3	3-07-2025	Pupuk Organik Cair campuran <i>Azotobacter</i> dan <i>Rhizobium</i>	Campuran <i>RhizobiumAzotobacter</i> EM4+Molase Air	1. Air 10 liter 2. Molase 3. EM4

Lamanya proses inkubasi dirancang selama 7 hari dan pemanenan produk dilakukan di hari ke 8 dengan memasukan bahan kedalam botol kemasan yang telah diberi label keterangan.

3.3 Pembuatan Ecoenzim

Ecoenzim dibuat dari sampah organik sisa praktik dengan perbandingan antara air : sampah organik: dan gula molase yaitu 10 : 3 : 1. Limbah yang dihasilkan dalam penelitian ini berasal dari sisa pembuatan medium pertumbuhan *Drosophila* (lalat buah) yang digunakan dalam perkuliahan genetika.

Tabel 5. Pengumpulan dan Perhitungan bahan Ecoenzim

Tanggal	Produk yang dihasilkan	Nama Bahan Limbah	Jumlah Bahan
21-03-2025	Ecoenzim	Kulit Pisang	1. Kulit pisang 2000 gram 2. Air 6000 ml 3. Gula merah 600 gram
22-04-2025	Ecoenzim	Ampas Pisang	1. Kulit pisang 1500 gram 2. Air : 5000 ml 3. Molase : 50 ml

Sisa kulit pisang dipotong menjadi bagian kecil tambahkan kulit nanas, atau sisa buah buahan dan sisa sayur sekitar laboratorium. Timbangan sisa buah-buahan dan sayur sebanyak 3 bagian. Tambahkan Gula merah sebanyak 1 bagian (Molase), tambahkan 10 bagian air (10 Liter). Campurkan dan aduk rata sisa kulit buah, gula dan air dengan perbandingan Air : Sisa buah sayuran : gula dengan perbandingan 10:3:1. Masukkan kedalam botol botol kemasan untuk proses inkubasi. Durasi inkubasi dirancang selama 3 bulan. Setelah 3 bulan, Ecoenzim dapat diambil dan dimasukan kedalam kemasan 500 ml dan beri label serta keterangan cara menggunakan.

3.4 Pengemasan dan Pembuatan Label

Setelah produk POC dan Ecoenzim selesai dihasilkan tahapan selanjutnya adalah pengemasan dalam wadah tertutup dan pelabelan agar kemasan terlihat menarik. Kemasan Pupuk Organik Cair yang digunakan adalah botol tertutup seperti dibawah ini.



Gambar 4. Kemasan botol spray dan kemasan botol biasa

Botol kemasan ini dirancang menggunakan plastik dengan ukuran 500 ml yang ditampilkan pada gambar 4, kemasan botol spray dan kemasan botol biasa. Agar kemasan lebih menarik maka kami akan menambahkan label keterangan penggunaan, identitas produk, nama produk sehingga produk ini memiliki daya guna dan daya jual. Label kemasan ditunjukkan pada gambar 5, desain label POC dan gambar 6, desain tukar botol.



Gambar 5.
Desain label POC



Gambar 6.
Desain Tukar Botol

Untuk pengemasan Ecoenzim dapat menggunakan beberapa botol kemasan antara lain botol spray dengan volume 500 ml atau botol kemasan seperti yang digunakan untuk kemasan pupuk organik cair.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji coba konversi limbah Laboratorium Mikrobiologi FPMIPA UPI menjadi Pupuk Organik Cair (POC) umum, POC *Azotobacter*, POC *Rhizobium*, dan ecoenzim menunjukkan tingkat keberhasilan yang signifikan. Secara makroskopis, efektivitas proses fermentasi anaerob ini diindikasikan oleh perubahan organoleptik yang konsisten pada seluruh produk. Transformasi fisik tersebut meliputi perubahan warna substrat menjadi cokelat tua, terbentuknya emisi gas karbondioksida (CO₂), serta kemunculan aroma asam segar khas fermentasi, yang menandakan tidak terjadinya proses pembusukan (*spoilage*). Data kuantitatif volume produk yang dihasilkan serta karakteristik parameter fisikokimia akhir disajikan pada Tabel 6.

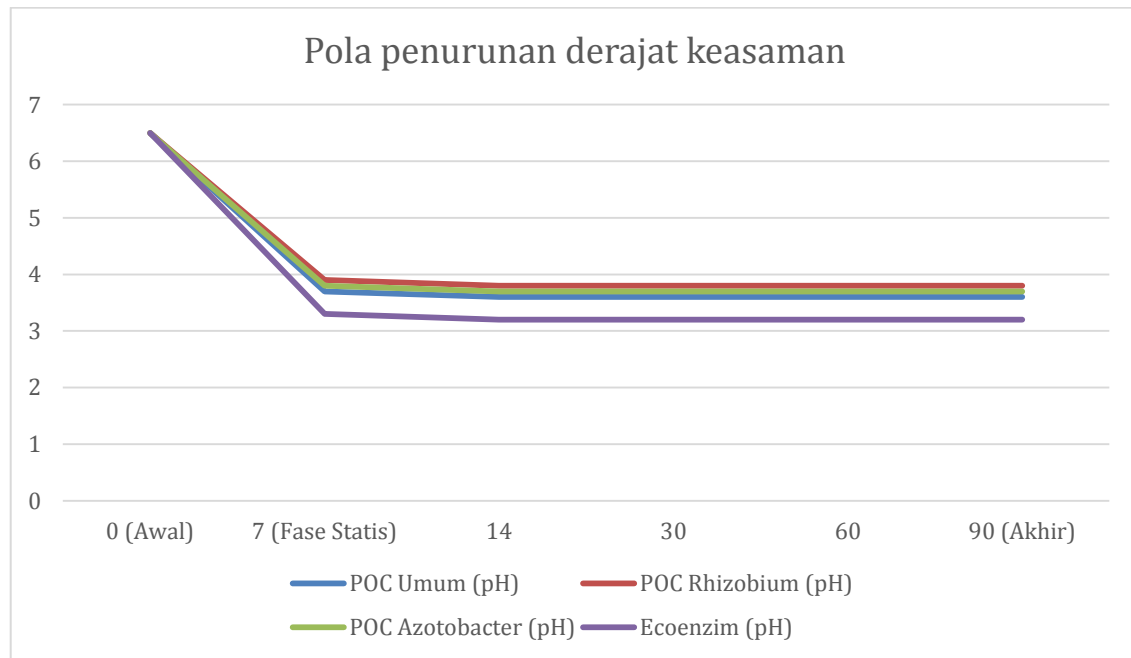
Tabel 6. Akumulasi Volume Produk dan Karakteristik Fisikokimia Akhir

Jenis Produk	Volume Akhir	Warna Produk	Aroma	Nilai pH Akhir
POC Umum	36,17 Liter	Cokelat Tua	Asam Segar	3,6
POC <i>Rhizobium</i>	1,20 Liter	Cokelat Keruh	Asam Khas Tape	3,8
POC <i>Azotobacter</i>	2,30 Liter	Cokelat Kekuningan	Asam Segar	3,7
Ecoenzim	12,00 Liter	Cokelat Jernih	Asam Segar Citrus	3,2

Pola penurunan derajat keasaman (pH) sebagai salah satu parameter utama kestabilan produk selama masa inkubasi (7 hingga 90 hari) digambarkan pada tabel 7.

Tabel 7. Pola penurunan derajat keasaman selama 90 hari

Masa Inkubasi (Hari)	POC Umum (pH)	POC <i>Rhizobium</i> (pH)	POC <i>Azotobacter</i> (pH)	Ecoenzim (pH)
0 (Awal)	6.5	6.5	6.5	6.5
7 (Fase Statis)	3.7	3.9	3.8	3.3
14	3.6	3.8	3.7	3.2
30	3.6	3.8	3.7	3.2
60	3.6	3.8	3.7	3.2
90 (Akhir)	3.6	3.8	3.7	3.2



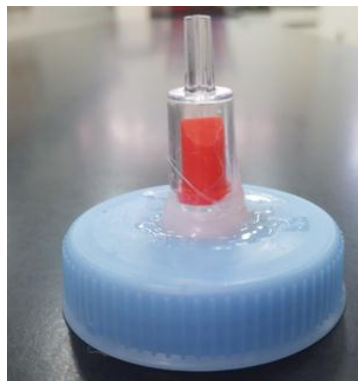
Gambar 7. Grafik penurunan derajat keasaman selama 90 hari

Hasil pengukuran menunjukkan terjadinya penurunan nilai pH secara drastis hingga di bawah 4,0 pada seluruh varian produk, disertai dengan pelepasan gas CO₂ yang masif, terutama pada fase awal

inkubasi (hari ke-1 hingga hari ke-7). Penurunan pH dan produksi gas tersebut distimulasi oleh aktivitas metabolisme mikroorganisme indigenus maupun isolat fungsional yang ditambahkan (*Azotobacter* sp., *Rhizobium* sp., dan EM4) melalui jalur fermentasi anaerob. Mikroorganisme tersebut menyekresikan enzim ekstraseluler untuk menghidrolisis rantai karbon kompleks (karbohidrat, protein dari sisa media, dan lemak) menjadi molekul sederhana. Gula sederhana hasil hidrolisis kemudian masuk ke dalam jalur glikolisis untuk menghasilkan energi bagi pertumbuhan mikroba. Aktivitas metabolisme ini menghasilkan produk sampingan (*by-product*) berupa asam-asam organik (seperti asam laktat dan asam asetat) serta sedikit alkohol. Akumulasi asam organik inilah yang secara drastis menurunkan pH lingkungan. Kondisi asam ekstrem ($\text{pH} < 4$) ini berfungsi sebagai pengawet alami yang secara efektif menghambat proliferasi bakteri pembusuk. Bersamaan dengan proses tersebut, reaksi dekarboksilasi dalam siklus metabolisme menyebabkan pelepasan gas CO_2 . Setelah fase aktif fermentasi melambat dan mencapai titik konstan, produk mulai stabil. Pada produk ecoenzim, fase ini memicu pelepasan enzim fungsional ekstraseluler seperti amilase, protease, dan lipase yang terakumulasi di dalam cairan.

Nilai pH akhir produk yang berada di bawah angka 4,0 telah memenuhi standar kualitas ecoenzim dan POC yang ditetapkan dalam berbagai literatur (Putra & Surya, 2022; Rochyani et al., 2020; Widiani & Novita, 2023). Penurunan pH yang signifikan berbanding lurus dengan akumulasi asam organik yang terbentuk selama fermentasi (Rasit et al., 2019). Kebaharuan (*novelty*) dari penelitian ini dibandingkan dengan referensi terdahulu adalah *laju efisiensi penurunan pH yang relatif lebih cepat dan konstan (mencapai fase statis pada hari ke-7)*. Hal ini disebabkan oleh penggunaan limbah cair laboratorium (*Nutrient Broth* dan *Yeast Mannitol Broth*) yang secara kimiawi sudah mengandung nutrisi siap urai (*readily available nutrients*) seperti peptone dan ekstrak khamir. Karakteristik bahan baku ini memperpendek fase adaptasi (*lag phase*) mikroba pengurai jika dibandingkan dengan penggunaan substrat limbah domestik mentah.

Dalam penelitian ini dilakukan rekonstruksi dan modifikasi komponen penutup galon fermentor. Sistem pelepasan gas manual berkembang menjadi sistem *water seal* konvensional, hingga rancangan akhir diaplikasikan menggunakan katup searah mekanis (*Check Valve* atau *One-Way Non-Return Valve*). Katup ini diintegrasikan pada penutup galon melalui pembuatan lubang dengan solder panas dan direkatkan menggunakan lem silin (*glue stick*).



Gambar 6. Tutup galon yang telah dimodifikasi

Modifikasi penutup wadah ini bersifat krusial untuk mengantisipasi akumulasi gas CO_2 hasil samping fermentasi. Tekanan gas yang terperangkap dalam wadah tertutup berpotensi menimbulkan ledakan akibat tekanan internal yang meningkat secara eksponensial. Pelepasan gas secara manual dengan melonggarkan tutup botol secara berkala memiliki kelemahan fatal, yaitu tingginya risiko kontaminasi silang. Masuknya oksigen (O_2) dari udara luar dapat menggeser kondisi anoksik menjadi aerobik, sehingga menggagalkan proses fermentasi. Paparan oksigen tersebut memicu pertumbuhan jamur

kontaminan (seperti jamur hitam) serta menyebabkan pembusukan protein yang menimbulkan aroma busuk (H_2S dan amonia). Penggunaan sistem *water seal* (selang yang dicelupkan ke botol kedua berisi air) mampu mengalirkan gas keluar, namun memiliki risiko kegagalan apabila posisi botol tidak stabil atau air pengunci menguap. Oleh karena itu, penggunaan *check valve* dipilih karena mekanismenya yang berbasis perbedaan tekanan. Katup akan terbuka secara otomatis untuk membuang gas CO_2 hanya ketika tekanan internal melebihi ambang batas pegas katup, dan akan segera menutup rapat saat tekanan seimbang. Mekanisme ini memastikan kondisi anoksik di dalam reaktor tetap terjaga secara konsisten tanpa memerlukan intervensi manusia.

Sebagian besar penelitian pengolahan limbah skala edukasi atau komunitas masih menerapkan sistem *water seal* tradisional karena faktor biaya yang murah (Abidin & Rohman, 2020). Meskipun penggunaan *check valve* memerlukan biaya awal untuk pengadaan komponen mekanis, teknologi ini memberikan nilai kebaruan yang signifikan dari aspek efisiensi dan tekno-ekonomi jangka panjang. Implementasi katup searah ini mampu menekan tingkat kegagalan produksi (akibat kontaminasi udara atau kerusakan wadah) hingga mendekati 0%. Dampak positifnya adalah stabilitas kultur bakteri *Azotobacter* sp. dan *Rhizobium* sp. dapat dipertahankan secara optimal, mempermudah mobilitas wadah selama inkubasi, serta menurunkan biaya operasional produksi per liter secara kumulatif.

Hasil akhir dari penelitian ini berhasil memproduksi 36,17 liter POC umum, 1,2 liter POC *Rhizobium*, 2,3 liter POC *Azotobacter*, 12 liter ecoenzim, serta produk sampingan berupa 1 kg pakan maggot fungsional. Seluruh produk dikemas secara sistematis, dilengkapi dengan label instruksi aplikasi, dipamerkan pada kegiatan *Open Laboratory* Fakultas, serta didistribusikan kepada masyarakat melalui skema sirkular "program penukaran botol bekas menjadi pupuk".



Gambar 8. Ecoenzim (produk yang dihasilkan setelah 90 hari)

Keunggulan produk yang dihasilkan terletak pada formulasinya yang tidak hanya berperan sebagai penyedia unsur hara pasif (pupuk), melainkan sebagai agen hayati aktif (*biofertilizer*). Keberadaan bakteri penambat nitrogen dari isolat *Azotobacter* sp. dan *Rhizobium* sp. (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria/PGPR*) di dalam POC memiliki kemampuan untuk memfiksasi nitrogen bebas dari atmosfer menjadi amonia yang siap diasimilasi oleh tanaman. Selain itu, konsorsium mikroba ini berfungsi menyintesis hormon pertumbuhan tanaman (seperti auksin), menyediakan mineral esensial (besi, fosfor, belerang), meningkatkan populasi mikroba tanah yang menguntungkan, serta mengendalikan serangan patogen tular tanah (Setyawan dkk., 2022). Di sisi lain, kandungan enzim fungsional (amilase,

protease, dan lipase) pada produk ecoenzim memiliki aktivitas katalitik yang tinggi untuk mendegradasi senyawa organik kompleks.

Berdasarkan studi literatur, aplikasi ecoenzim memiliki efektivitas yang tinggi dalam menurunkan kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solids* (TSS) pada pengolahan limbah cair organik hingga sebesar 10% dalam waktu 20 hari (Widyastuti et al., 2023). Selain itu, cairan ecoenzim efektif digunakan sebagai media perendaman benih (*seed treatment*) untuk mempercepat pembibitan padi serta memacu pertumbuhan vegetatif tanaman hortikultura seperti sawi pakcoy (Kamila & Winarsih, 2023; Novriani, 2019). Integrasi mikroba fungsional hasil isolasi praktikum dalam penelitian ini memberikan dampak "*What Else*" yang lebih komprehensif dibandingkan pupuk organik konvensional. Produk ini terbukti mampu berperan ganda sebagai biostimulan, perombak bahan organik, dan pengendali penyakit tanaman (Susilowati et al., 2021), sekaligus mereklamasi kesuburan fisik serta biologi tanah (Lumbanraja et al., 2021; Wiryono et al., 2021). Temuan ini sekaligus mengeliminasi skeptisisme masyarakat yang dilaporkan oleh Sanosra dkk. (2023) mengenai lambatnya dampak pupuk organik; melalui pendekatan mikrobiologi terapan, limbah laboratorium terbukti dapat dikonversi menjadi produk pertanian dengan performa dan efektivitas yang tinggi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan limbah padat dan cair dari aktivitas laboratorium mikrobiologi FPMIPA UPI memiliki potensi dan efektivitas yang sangat besar untuk dikonversi menjadi produk penunjang pertanian yang bernilai ekonomi. Melalui metode fermentasi, integrasi sisa bahan organik dengan bakteri fungsional (*Azotobacter* dan *Rhizobium*) terbukti sukses ditransformasikan menjadi produk aplikatif berupa Pupuk Organik Cair (POC) fungsional, ecoenzim, dan pakan maggot. Secara keseluruhan, sistem tata kelola berbasis *zero waste* ini tidak hanya efektif mereduksi volume emisi limbah di instansi pendidikan, tetapi juga memberikan solusi nyata yang mendukung implementasi konsep kampus hijau (*green campus*).

DAFTAR PUSTAKA/REFERENCES

- Abidin, Z., & Rohman, M. (2020). Pemberdayaan kelompok tani dalam pembuatan pupuk organik berbahan baku limbah rumah tangga. *Community Development Journal: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(2), 89–94. <https://doi.org/10.31004/cdj.v1i2.709>
- Firdiani, D., Astari, R., & Muhammadiyah Enrekang, U. (2022). Pemanfaatan limbah daun pisang dan kulit bawang merah sebagai pupuk organik cair untuk kesuburan tanah di Desa Bambapuung. *Journal of Community Empowerment*, 4(1), 96–102.
- Herlina, M., Syahfitri, J., Lubis, R., Fitriani, A., & Nopriyeni, N. (2022). Sosialisasi dan praktek teknik pengolahan sampah rumah tangga menjadi pupuk organik cair (POC). *Surya Abdimas*, 6(2), 209–217.
- Kamila, R. S., & Winarsih. (2023). Efektivitas pemberian ekoenzim kulit buah sebagai pupuk organik cair terhadap pertumbuhan tanaman sawi pakcoy (*Brassica rapa L.*). *LenteraBio*, 12(1), 50–59.
- Kasmawan, I. G. A., Sutapa, G. N., & Yuliara, I. M. (2018). Pembuatan pupuk organik cair menggunakan teknologi komposting sederhana. *Buletin Udayana Mengabdikan*, 17(2), 68-71.
- Kinasih, S. S. K., & Aries, Y. (2020). Perencanaan infrastruktur persampahan terkait masifikasi industri kreatif dan industri daur ulang skala kota di Kecamatan Seberang Ulu 2, Palembang. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 27(2), 60-75.
- Leana, N. W. A., Sulistyanto, P., Oktaviani, E., & Ulinnuha, Z. (2022). Optimalisasi pengolahan sampah rumah tangga menjadi pupuk organik dan budidaya sayuran di PP Al-Jamil, Purwokerto. *Panrita Abdi-Jurnal Pengabdian pada Masyarakat*, 6(1), 8-17.

- Lumbanraja, S. N., Budianta, D., & Rohim, A. M. (2021). Pengaruh ecoenzym dan SP-36 terhadap beberapa sifat kimia tanah dan pertumbuhan tanaman sawi (*Brassica juncea* L.) pada Ultisol. *Agri Peat*, 23(1), 1-11.
- Novriani. (2019). Pemanfaatan daun gamal sebagai pupuk organik cair untuk meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman pakcoy (*Brassica rapa* L.). *Klorofil*, 14(1), 7–11.
- Putra, I. G. N. B. S. D., & Suyasa, I. N. G. (2022). Perbedaan kualitas cairan eco enzyme berbahan dasar kulit jeruk, kulit mangga dan kulit apel. *Jurnal Skala Husada: The Journal of Health*, 19(1), 1–4.
- Rasit, N., Hwe Fern, L., & Ab Karim Ghani, W. A. W. (2019). Production and characterization of eco enzyme produced from tomato and orange wastes and its influence on the aquaculture sludge. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 10(3), 967–981.
- Rochyani, N., Utpalasari, R. L., & Dahliana, I. (2020). Analisis hasil konversi eco enzyme menggunakan nenas (*Ananas comosus*) dan pepaya (*Carica papaya* L.). *Jurnal Redoks*, 5(2), 135-140. <https://doi.org/10.31851/redoks.v5i2.5060>
- Rustanta, A., Jaya, A. S., & Graciella, M. (2022). Pemberdayaan masyarakat melalui budidaya eco-enzym di Bekasi Selatan. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 6(4), 3360-3369.
- Sanosra, A., Umarie, I., Abadi, T., Satoto, E. B., Rizal, N. S., Rahmawati, E. I., ... & Gunasti, A. (2023). Peningkatan kemampuan masyarakat mengolah sampah menjadi pupuk organik dengan teknologi takakura. *SELAPARANG: Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*, 7(3), 1590-1598.
- Seprianto, S., Saraswati, H., Novianti, T., & Handayani, P. (2024). Pemanfaatan produk ekoenzim sebagai cairan serbaguna ramah lingkungan dalam aktivitas rumah tangga. *J-ABDI: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 4(3), 343-354.
- Setyawan, A., Jumadi, R., & Redjeki, E. S. (2022). Perbedaan dosis plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) asal akar bambu terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kacang bambara (*Vigna subterranea* (L.) Verdcourt). *TROPICROPS (Indonesian Journal of Tropical Crops)*, 5(1), 55-66.
- Surtiningsih, T., & Nurhariyati, T. (2009). Biofertilisasi bakteri rhizobium pada tanaman kedelai (*Glycine max* (L.) Merr.). *Berkala Penelitian Hayati*, 15(1), 31-35.
- Susilowati, L. E., Mansur, M., & Zaenal, A. (2021). Pembelajaran tentang pemanfaatan sampah organik rumah tangga sebagai bahan baku ekoenzim. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 4(4), 416-422.
- Widiani, N., & Novitasari, A. (2023). Produksi dan karakterisasi eco-enzim dari limbah organik dapur. *BIOEDUKASI: Jurnal Pendidikan Biologi*, 14(1), 110-117.
- Widyastuti, S., Sutrisno, J., Wiyarno, Y., Gunawan, W., & Nurhayati, I. (2023). Eco enzim untuk pengolahan air limbah tahu. *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA*, 21(02), 48-55.
- Wiryo, B., Sugiarta, Muliatiningsih, & Suhairin. (2021). Efektivitas pemanfaatan eco enzyme untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman sawi dengan sistem hidroponik DFT. *Prosiding Kongres Ke III APTS-IPi & Seminar Nasional 2021*, 2(1), 63–68.