

## *Bioconversion of Rice Snails into Liquid Organic Fertilizer in Tanjung Perangat*

### Biokonversi Siput Sawah menjadi Pupuk Organik Cair di Tanjung Perangat

Hamdi Mayulu\*, Andika Ramadhan Nur Airlangga, Violetta Karen Kahulubi, Muarifathuz Zak'ana, La Ode Riswan Hatika Brian Pratama, Reno, Nia Ramadhani, Feby Eghla Panambunan, Muhammad Wisnu Adi Nugroho, Amelia Meiditya Sari, Achmad Zacky Asy-Syawal Muhammad

Universitas Mulawarman, Samarinda, 75119 Kalimantan Timur, Indonesia.

\* Alamat Koresponding. E-mail: [hamdi\\_mayulu@faperta.unmul.ac.id](mailto:hamdi_mayulu@faperta.unmul.ac.id)

**ABSTRACT:** The Community Service Program in Tanjung Perangat Village developed a liquid organic fertilizer (LOF) prototype through the bioconversion of rice-snail biomass and locally available organic residues. This community-engagement article analyzes the technical rationale of the formulation, the implementation sequence, the quality of evidence generated by the program, and the requirements for transforming a demonstration product into a reproducible community-scale practice. Activities were conducted from July 5 to 29, 2026, and culminated in a socialization and demonstration session attended by 32 residents representing village authorities, neighborhood leaders, farmer groups, the farmers' group association, and landholders. The pilot formulation combined rice-snail biomass, banana peel, rice-washing water, water, and EM4, with a reported 14-day fermentation target and a 1:10 LOF-to-water dilution for trial application. Program documentation confirms knowledge transfer, product demonstration, trial application, and sample distribution. Scientific appraisal indicates that *Pomacea canaliculata* is an invasive rice pest and that organic residues can be recycled as nutrient sources; however, fertilizer quality depends on feedstock composition, microbial transformation, maturity, nutrient balance, contaminant control, and crop-specific dosage. The program did not include laboratory analysis of pH, electrical conductivity, organic carbon, N, P, K, microbiological safety, storage stability, or controlled agronomic trials. Consequently, this article does not claim agronomic efficacy or compliance with fertilizer quality standards. Further development requires standardized batch records, laboratory verification, safety assessment, controlled dose-response trials, and participatory adoption evaluation with farmer groups.

**KEYWORDS:** circular agriculture; golden apple snail; liquid organic fertilizer; organic waste; sustainable agriculture

**ABSTRAK:** Program Kuliah Kerja Nyata di Kampung Tanjung Perangat mengembangkan prototipe pupuk organik cair (POC) melalui biokonversi biomassa siput sawah dan residu organik lokal. Artikel pengabdian ini menganalisis rasional teknis formulasi, tahapan implementasi, kualitas bukti yang dihasilkan program, serta kebutuhan pengembangan agar produk demonstratif dapat berkembang menjadi praktik komunitas yang dapat direplikasi. Rangkaian kegiatan berlangsung pada 5-29 Juli 2026 dan diakhiri melalui sosialisasi serta demonstrasi yang diikuti 32 warga dari unsur pemerintah kampung, ketua RT, kelompok tani, Gapoktan, dan pemilik lahan. Formulasi percontohan memadukan biomassa siput sawah, kulit pisang, air cucian beras, air, dan EM4 dengan target fermentasi 14 hari serta pengenceran POC dan air sebesar 1:10 untuk aplikasi percontohan. Dokumentasi program menunjukkan transfer pengetahuan, demonstrasi produk, aplikasi awal, dan pembagian sampel. Telaah ilmiah menunjukkan bahwa *Pomacea canaliculata* merupakan organisme pengganggu penting pada budidaya padi, sedangkan residu organik berpotensi dipulihkan sebagai sumber hara. Mutu pupuk tetap ditentukan oleh komposisi bahan, transformasi mikroba, tingkat kematangan, keseimbangan unsur hara, pengendalian kontaminan, dan dosis spesifik tanaman. Program belum mencakup analisis pH, konduktivitas listrik, C-organik, N, P, K, keamanan mikrobiologis, stabilitas penyimpanan, maupun percobaan agronomis terkendali. Artikel tidak mengklaim efektivitas agronomis atau kesesuaian dengan standar mutu pupuk. Pengembangan berikutnya memerlukan standarisasi catatan produksi, verifikasi laboratorium, penilaian keamanan, uji dosis-respons terkendali, dan evaluasi adopsi partisipatif bersama kelompok tani.

**Kata Kunci:** ekonomi sirkular; keong mas; pupuk organik cair; residu organik; pertanian berkelanjutan

## 1. PENDAHULUAN

Pertanian berkelanjutan membutuhkan pengelolaan hara yang menjaga produktivitas, mempertahankan kesehatan tanah, dan mengurangi kehilangan sumber daya. Pemanfaatan residu organik sebagai sumber hara

**Cara mensitasi artikel ini:** Mayulu H, Airlangga ARN, Kahulubi VK, Zak'ana M, Pratama LARHB, Reno, Ramadhani N, Panambunan FE, Nugroho MWA, Sari AM, Muhammad AZA. Bioconversion of Rice Snails into Liquid Organic Fertilizer in Tanjung Perangat (Biokonversi Siput Sawah menjadi Pupuk Organik Cair di Tanjung Perangat). DESAMU Pros Disem KKN UNMUL. 2026; 2: 238-248.

Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat,  
Universitas Mulawarman  
ISSN: 3124-520X

DESAMU Pros Disem KKN UNMUL

dapat membantu menutup siklus nutrisi apabila kualitas bahan baku, proses pengolahan, dosis, serta risiko lingkungannya dikendalikan secara terukur. Literatur terbaru menempatkan pengolahan limbah organik sebagai salah satu jalur pemulihan unsur hara sekaligus pengurangan beban pencemaran, terutama ketika produk akhir diuji pada kondisi lapangan yang relevan (Brichi et al., 2023; Bhatia & Sindhu, 2024). Kerangka ekonomi sirkular memperluas tujuan tersebut melalui pemulihan nitrogen, fosfor, kalium, dan bahan organik, tetapi keberhasilan pemanfaatannya tetap bergantung pada kecocokan komposisi pupuk dengan kebutuhan tanaman serta kondisi tanah (Álvarez Salas et al., 2024; Schmidt et al., 2025).

Istilah siput sawah digunakan oleh program untuk menyebut *Pomacea canaliculata* yang lebih luas dikenal sebagai keong mas atau golden apple snail. Spesies tersebut bersifat invasif pada ekosistem persawahan dan dapat merusak bibit padi muda, terutama pada fase awal pertumbuhan. Pemantauan mutakhir menunjukkan bahwa populasi *P. canaliculata* tetap menjadi persoalan penting bagi sistem budidaya padi di wilayah beriklim hangat, sedangkan kajian sosial-ekonomi memperlihatkan bahwa infestasi berat dapat meningkatkan biaya pengendalian dan menekan pendapatan petani (Guan et al., 2024; Constantine et al., 2023). Pemanfaatan biomassa hasil pengumpulan sebagai bahan POC dapat dipandang sebagai strategi valorisasi setelah pengendalian, bukan sebagai pengganti praktik pengendalian hama terpadu.

Biokonversi residu pertanian dan pangan menjadi pupuk memiliki relevansi langsung dengan pertanian sirkular karena proses tersebut mengalihkan biomassa dari jalur pembuangan menuju pemulihan nutrisi dan pembentukan produk bernilai guna. Teknologi berbasis mikroba dapat mempercepat penguraian bahan organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana, sedangkan pemanfaatan pupuk berbasis biomassa berpotensi memperbaiki kandungan bahan organik tanah apabila mutu produk konsisten dan aman (Upadhyay et al., 2024; Zhou et al., 2024). Perspektif keberlanjutan menempatkan pupuk berbasis biomassa bukan sekadar substitusi pupuk mineral, melainkan bagian dari transisi sistem pangan yang harus mempertimbangkan ketersediaan bahan, energi proses, kualitas hara, biaya, penerimaan pengguna, dan dampak lingkungan (Abitabile et al., 2024; Álvarez Salas et al., 2024).

Formulasi POC pada kegiatan Tanjung Perangat menggabungkan biomassa siput sawah, kulit pisang, air cucian beras, air, dan EM4. Bahan pendamping menyediakan sumber karbon serta senyawa organik yang dapat mendukung proses fermentasi, sedangkan EM4 berfungsi sebagai inokulan mikroba untuk mempercepat dekomposisi. Kajian penggunaan EM4 pada limbah cair dan bahan organik menunjukkan bahwa konsentrasi aktivator, komposisi substrat, dan lama fermentasi memengaruhi pH, karakteristik kimia, serta kandungan hara produk (Kurniawan et al., 2024; Wafiqah et al., 2024; Nada et al., 2025). Variasi tersebut menunjukkan bahwa formula program harus diperlakukan sebagai prototipe yang memerlukan standarisasi massa atau volume bahan, kondisi proses, lama fermentasi, dan kriteria kematangan sebelum direkomendasikan secara lebih luas.

Kampung Tanjung Perangat memiliki masyarakat yang mengelola lahan pertanian dan menghadapi kebutuhan pengendalian hama sekaligus pemanfaatan sumber daya lokal. Program KKN Universitas Mulawarman merespons kebutuhan tersebut melalui gagasan “hama menjadi manfaat” yang menghubungkan pengumpulan biomassa siput sawah dengan pembuatan POC, demonstrasi, dan aplikasi percontohan. Pendekatan edukatif memberi ruang bagi masyarakat untuk memahami urutan produksi, mengenali keterbatasan mutu produk demonstratif, dan menilai kemungkinan penerapan pada skala rumah tangga maupun kelompok tani. Nilai program terletak pada proses pembelajaran dan pengenalan konsep sirkular, sedangkan keberhasilan teknologinya tetap memerlukan verifikasi ilmiah yang terpisah.

Kebaruan artikel terletak pada integrasi pengendalian biomassa hama, pemanfaatan residu rumah tangga, fermentasi sederhana, demonstrasi partisipatif, dan aplikasi lapangan awal dalam satu rangkaian pengabdian. Kerangka analisis membedakan tiga tingkat bukti, yaitu bukti implementasi kegiatan, plausibilitas ilmiah berdasarkan literatur, dan bukti efektivitas yang harus diperoleh melalui pengujian laboratorium serta eksperimen terkontrol. Pemisahan tingkat bukti mencegah klaim agronomis yang melampaui data program. Artikel bertujuan menganalisis implementasi pemanfaatan siput sawah menjadi POC, menelaah dasar ilmiah bahan dan proses, mengevaluasi mutu bukti kegiatan, serta merumuskan tahapan pengembangan menuju praktik pertanian sirkular yang aman, terukur, dan dapat direplikasi di Kampung Tanjung Perangat.

## 2. METODE DAN PELAKSANAAN KEGIATAN

### 2.1 Desain, Lokasi, dan Sasaran Kegiatan

Artikel menggunakan desain deskriptif-analitis berbasis evaluasi dokumenter terhadap kegiatan pengabdian kepada masyarakat. Program dilaksanakan oleh mahasiswa KKN Universitas Mulawarman di Kampung Tanjung Perangat, Kecamatan Sambaliung, Kabupaten Berau. Bahan analisis mencakup jadwal kegiatan, formulasi yang dilaporkan, kronologi fermentasi, dokumentasi sosialisasi, demonstrasi, aplikasi percontohan, jumlah peserta, serta literatur ilmiah yang relevan. Analisis tidak mengubah data program dan tidak

menambahkan nilai komposisi, hasil laboratorium, maupun respons tanaman yang tidak tersedia pada dokumen sumber.

Sosialisasi utama berlangsung pada 29 Juli 2026 dan diikuti 32 warga. Peserta mencakup Kepala Kampung, ketua RT, kelompok tani, Gabungan Kelompok Tani (Gapoktan), serta masyarakat yang memiliki kebun atau lahan pertanian. Materi kegiatan meliputi status siput sawah sebagai organisme pengganggu, konsep POC, fungsi bahan, tahapan fermentasi, indikator fisik hasil proses, cara pengenceran, prinsip aplikasi, serta keterbatasan penilaian mutu tanpa pengujian laboratorium. Kegiatan menggunakan penyampaian materi, demonstrasi, diskusi, dan pembagian sampel sebagai sarana transfer pengetahuan.

Rangkaian program membentuk empat tahap yang mencakup riset awal, aplikasi percontohan, produksi sampel, dan sosialisasi. Hubungan waktu, aktivitas, dan luaran program disajikan secara ringkas untuk mempertahankan kronologi yang tercantum pada dokumen kegiatan (Tabel 1).

**Tabel 1.** Tahapan pelaksanaan program

| Tahap dan waktu                            | Kegiatan utama                                                                      | Bukti/luaran                         | Catatan analitis                                                                                     |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Riset awal<br>5-19 Juli 2026               | Pengumpulan siput, persiapan bahan dan alat, pembuatan POC skala 500 mL, fermentasi | Batch percontohan dan catatan proses | Rentang 14 hari konsisten dengan target fermentasi yang disebut dalam dokumen.                       |
| Aplikasi dan pengamatan<br>20-25 Juli 2026 | Pengenceran POC dan air 1:10, kemudian aplikasi pada tanaman di sekitar posko       | Aplikasi lapangan awal               | Kegiatan bersifat demonstratif; tidak terdapat kontrol, ulangan, atau parameter pertumbuhan terukur. |
| Pembuatan sampel<br>21 Juli 2026           | Pembuatan produk skala 1.500 mL untuk bahan sosialisasi dan pembagian               | Sampel produk                        | Status kematangan batch sebelum 29 Juli tidak dijelaskan secara rinci pada dokumen.                  |
| Sosialisasi<br>29 Juli 2026                | Penyampaian materi, demonstrasi, diskusi, dan pembagian produk                      | Kegiatan diikuti 32 warga            | Bukti program menunjukkan transfer pengetahuan dan partisipasi, bukan efektivitas agronomis produk.  |

Sumber: Dokumen kegiatan KKN 52 Universitas Mulawarman Kampung Tanjung Perangat (2026).

## 2.2 Bahan dan Proses Pembuatan POC

Protokol program menggunakan biomassa siput sawah sebagai bahan utama, sedangkan kulit pisang dan air cucian beras berfungsi sebagai bahan organik pendukung. Air membentuk medium cair, sementara EM4 digunakan sebagai bioaktivator fermentasi. Dokumen sumber tidak merinci massa atau volume setiap bahan pada masing-masing formula, sehingga artikel tidak menambahkan komposisi yang tidak tersedia. Peran operasional setiap bahan dirangkum berdasarkan fungsi yang dilaporkan dan literatur terkait (Tabel 2).

**Tabel 2.** Komponen bahan pembuatan POC

| Bahan            | Peran dalam program                | Dasar interpretasi                                                                                                                                                 |
|------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Siput sawah      | Bahan organik utama                | Biomassa keong mas dapat digunakan sebagai bahan POC; karakter kimia dipengaruhi komposisi dan dekomposer (Istiqomah et al., 2023).                                |
| Kulit pisang     | Bahan organik pendukung            | POC kulit pisang telah diteliti pada beberapa tanaman dan mengandung unsur hara terukur (Adelia & Azrita, 2023; Natania et al., 2024).                             |
| Air cucian beras | Bahan cair pendukung               | Bahan ini berpotensi membawa senyawa organik dan unsur terlarut yang dapat dimanfaatkan kembali (Zega, 2026).                                                      |
| Air              | Medium pencampuran dan pengenceran | Volume air menentukan konsentrasi formula dan dosis aplikasi; komposisi rinci perlu distandardisasi.                                                               |
| EM4              | Bioaktivator/dekomposer            | Fermentasi limbah organik menggunakan EM4 dapat memengaruhi karakteristik POC dan mempercepat penguraian bahan (Widyabudiningsih et al., 2021; Nada et al., 2025). |

Sumber: Sintesis dokumen program dan pustaka ilmiah terverifikasi.

## 2.3 Analisis Data dan Batas Interpretasi

Analisis artikel menggunakan deskripsi proses, triangulasi dokumentasi, dan sintesis literatur ilmiah periode 2021-2026 yang memiliki DOI dapat ditelusuri, dengan penekanan pada sumber 2023-2025. Penilaian diarahkan pada enam dimensi, yaitu relevansi biologis bahan baku, keterulangan proses produksi, mutu kimia produk, keamanan, efektivitas agronomis, serta potensi adopsi pada tingkat kelompok tani. Indikator hasil program dibatasi pada jumlah peserta, tahapan kegiatan, bahan yang digunakan, durasi fermentasi yang dilaporkan, rasio pengenceran, serta dokumentasi pelaksanaan. Artikel tidak menghitung peningkatan

pengetahuan karena program tidak menyediakan pre-test dan post-test, serta tidak menilai efektivitas tanaman karena aplikasi percontohan tidak menggunakan kontrol, ulangan, atau parameter pertumbuhan terukur.

Dokumen program menyebut target fermentasi selama 14 hari, sedangkan pembuatan batch sampel tercatat pada 21 Juli dan sosialisasi berlangsung pada 29 Juli 2026. Kronologi tersebut menghasilkan selang delapan hari untuk batch pembagian dan tidak dapat disamakan secara otomatis dengan batch riset awal. Artikel memperlakukan 14 hari sebagai protokol batch awal serta menempatkan status kematangan batch pembagian sebagai ketidakpastian dokumenter. Penilaian ilmiah memisahkan bukti pelaksanaan dari bukti mutu produk agar keterbatasan kronologi tidak menghasilkan klaim yang tidak didukung data.

## 2.4 Kerangka Penilaian Ilmiah Program

Kerangka penilaian menggunakan prinsip hierarki bukti. Dokumentasi kegiatan diperlakukan sebagai bukti bahwa proses edukasi, produksi, aplikasi, dan partisipasi benar-benar dilaksanakan. Literatur ilmiah digunakan untuk menilai plausibilitas bahan serta proses, sedangkan klaim mutu dan efektivitas hanya dapat dibangun melalui pengujian produk atau percobaan agronomis yang memenuhi rancangan ilmiah. Pendekatan tersebut mencegah dokumentasi visual atau perubahan fisik produk ditafsirkan sebagai bukti kandungan hara maupun keberhasilan pertumbuhan tanaman.

Kriteria pengembangan mencakup keterulangan formula per batch, pengendalian lama fermentasi, pengukuran pH dan parameter hara, pemeriksaan keamanan biologis serta kimia, penilaian stabilitas penyimpanan, uji dosis-respons pada tanaman sasaran, dan evaluasi adopsi. Literatur pupuk berbasis biomassa menegaskan bahwa kinerja produk ditentukan oleh mutu bahan, proses transformasi, kecukupan hara, kemudahan aplikasi, dan penerimaan pengguna (Álvarez Salas et al., 2024; Bhatia & Sindhu, 2024).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Basis Ilmiah Pemanfaatan Siput Sawah

Pemanfaatan siput sawah mengubah biomassa organisme pengganggu menjadi bahan baku organik yang berpotensi mempunyai nilai guna. Status *P. canaliculata* sebagai hama invasif memberi dasar ekologis bagi pengumpulan biomassa, sedangkan pemanfaatan pascapengumpulan dapat mengurangi pembuangan bahan organik yang tidak dimanfaatkan. Sistem pengelolaan tetap perlu menempatkan pengumpulan biomassa sebagai bagian dari pengendalian hama terpadu karena kemampuan merusak bibit padi dan dampak ekonominya telah dilaporkan pada berbagai sistem sawah (Constantine et al., 2023; Guan et al., 2024). Program Tanjung Perangat belum mengukur kepadatan populasi, tingkat serangan, atau volume biomassa yang dikumpulkan sehingga artikel tidak menilai pengaruh kegiatan terhadap tekanan hama di lahan.

Karakteristik kimia POC keong mas dipengaruhi oleh jenis dekomposer dan komposisi bahan, sehingga kualitas produk tidak dapat diprediksi hanya dari keberadaan biomassa siput. Kajian eksperimental menunjukkan adanya variasi unsur N, P, Fe, dan Mn pada formulasi berbeda, sedangkan percobaan pada semai cendana memperlihatkan respons pertumbuhan yang bergantung pada konsentrasi aplikasi (Istiqomah et al., 2023; Teku et al., 2025). Bukti tersebut mendukung kelayakan biomassa keong mas untuk diuji sebagai bahan POC, tetapi tidak membenarkan generalisasi dosis. Rasio pengenceran 1:10 pada program Tanjung Perangat harus diperlakukan sebagai dosis demonstratif sampai tersedia pengujian spesifik tanaman, tanah, dan produk.

Komposisi bahan hewani berpotensi meningkatkan keragaman senyawa nitrogen dan mineral pada substrat fermentasi, tetapi nilai aktualnya hanya dapat diketahui melalui analisis laboratorium. Proses dekomposisi mikroba dapat mengubah bentuk kimia unsur, menghasilkan asam organik, serta memengaruhi pH dan ketersediaan hara. Sistem fermentasi karena itu memerlukan pencatatan bahan, volume, kondisi wadah, waktu, dan tanda stabilitas produk agar setiap batch dapat dibandingkan secara objektif (Upadhyay et al., 2024; Zhou et al., 2024).

### 3.2. Sosialisasi dan Transfer Pengetahuan

Sosialisasi memperkenalkan hubungan antara masalah siput sawah dan peluang pemanfaatan biomassa sebagai bahan POC. Penyampaian materi menggunakan penjelasan langsung mengenai bahan, fermentasi, ciri fisik, dan prinsip aplikasi. Dokumentasi memperlihatkan proses penyampaian materi kepada warga dan menjadi bukti pelaksanaan transfer pengetahuan pada tingkat komunitas (Gambar 1).



**Gambar 1.** Penyampaian materi pemanfaatan siput sawah menjadi POC. Sumber: Dokumentasi KKN 52 Universitas Mulawarman Kampung Tanjung Perangat (2026).

Kegiatan edukatif relevan dengan pengelolaan residu organik berbasis komunitas karena teknologi sederhana tetap membutuhkan pemahaman mengenai fungsi bahan, proses, dosis, mutu, dan keselamatan. Proses adopsi tidak cukup mengandalkan keberhasilan demonstrasi; pengguna membutuhkan produk yang mudah dibuat, memiliki mutu relatif konsisten, biaya yang dapat diterima, dan manfaat yang dapat diamati. Kajian pupuk berbasis biomassa menunjukkan bahwa kebutuhan pengguna, kemudahan penanganan, ketersediaan nutrisi yang andal, serta harga kompetitif merupakan faktor penting bagi adopsi (Álvarez Salas et al., 2024). Pendekatan partisipatif yang menggabungkan penjelasan, praktik langsung, dan evaluasi pengguna dapat memperkuat kapasitas kelompok tani untuk mengolah residu menjadi POC secara bertahap (Syamsuwirman et al., 2025).

### 3.3 Demonstrasi Pembuatan dan Fermentasi

Demonstrasi mengubah materi konseptual menjadi urutan kerja yang dapat diamati langsung oleh peserta. Tim memperlihatkan persiapan bahan, pencampuran biomassa siput sawah dengan bahan pendukung, penambahan EM4, serta penempatan campuran ke wadah fermentasi. Tahap praktik tersebut membantu peserta memahami urutan proses tanpa harus mengandalkan penjelasan verbal semata (Gambar 2).



**Gambar 2.** Demonstrasi pembuatan POC berbahan siput sawah. Sumber: Dokumentasi KKN 52 Universitas Mulawarman Kampung Tanjung Perangat (2026).

Fermentasi merupakan tahap kritis karena perubahan kimia dan biologis berlangsung selama penguraian bahan organik. Mikroorganisme memecah protein, karbohidrat, serta senyawa organik lain menjadi bentuk yang lebih sederhana, sementara komposisi komunitas mikroba dan kondisi proses memengaruhi laju transformasi serta karakter produk. Kajian EM4 menunjukkan bahwa konsentrasi inokulan, komposisi substrat, dan durasi fermentasi dapat mengubah pH, C-organik, serta kandungan hara POC (Kurniawan et al., 2024; Wafiqah et al., 2024; Nada et al., 2025). Pengembangan konsorsium mikroba untuk valorisasi biomassa turut menegaskan

pentingnya stabilitas komunitas mikroba dan pengendalian kondisi proses agar degradasi bahan berlangsung lebih konsisten (Zhou et al., 2024). Program Tanjung Perangat perlu memisahkan indikator sensori, seperti warna dan aroma, dari indikator mutu kimia yang hanya dapat ditentukan melalui pengukuran laboratorium.

Kulit pisang dan air cucian beras memperluas sumber substrat organik pada formulasi karena kedua bahan tersedia dari aktivitas rumah tangga serta memiliki komponen organik yang dapat dimanfaatkan selama fermentasi. Hasil penelitian pada cabai rawit, bayam merah, dan okra menunjukkan bahwa POC berbahan kulit pisang dapat memengaruhi pertumbuhan atau hasil, tetapi respons terbaik berbeda menurut konsentrasi, tanaman, dan kondisi percobaan (Adelia & Azrita, 2023; Natania et al., 2024; Elfarisna et al., 2024). Penggunaan air cucian beras bersama EM4 turut dilaporkan pada optimasi POC berbasis limbah cair, sehingga bahan tersebut dapat diperlakukan sebagai komponen pendukung yang harus distandardisasi volumenya (Maryudi et al., 2024). Keragaman bahan memperkuat kebutuhan formula baku agar perubahan komposisi tidak menghasilkan variasi mutu antarbatch.

### 3.4 Kerangka Verifikasi Mutu dan Efektivitas POC

Mutu prototipe POC perlu diverifikasi melalui parameter proses, kimia, keamanan, stabilitas, dan respons tanaman. Penilaian tersebut tidak bertujuan menganggap POC harus menyerupai pupuk mineral, tetapi memastikan bahwa produk mempunyai komposisi yang dapat dijelaskan, aman digunakan, dan menghasilkan respons yang konsisten. Literatur mengenai pupuk berbasis biomassa menekankan pentingnya konsentrasi hara yang andal, pemantauan kontaminan, dan evaluasi agronomis sebelum produk direkomendasikan secara luas (Álvarez Salas et al., 2024; Albert & Bloem, 2025). Kerangka parameter yang dapat digunakan pada tahap pengembangan dirangkum pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Parameter verifikasi mutu POC

| Dimensi               | Parameter yang diperiksa                                                              | Tujuan verifikasi                                               | Makna bagi program                                                                        |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Keterulangan proses   | Massa/volume bahan, EM4, air, lama fermentasi, kondisi wadah                          | Menjamin setiap batch diproduksi dengan prosedur yang sama      | Formula baku dan lembar produksi menjadi dasar perbandingan antarbatch.                   |
| Mutu kimia            | pH, konduktivitas listrik, C-organik, N total, P, K, dan parameter relevan lain       | Menentukan karakter hara dan tingkat kematangan produk          | Nilai laboratorium menjadi dasar penetapan dosis dan interpretasi mutu.                   |
| Keamanan              | Indikator mikrobiologis, logam berat, residu atau kontaminan yang relevan             | Mengurangi risiko bagi pengguna, tanaman, tanah, dan lingkungan | Bahan hewani dan bahan daur ulang memerlukan prosedur sanitasi serta verifikasi keamanan. |
| Stabilitas            | Perubahan pH, gas, aroma, endapan, kemasan, dan mutu selama penyimpanan               | Menentukan masa simpan dan kestabilan produk                    | Produk yang belum stabil dapat berubah komposisi setelah dibagikan.                       |
| Efektivitas agronomis | Kontrol, beberapa dosis, ulangan, parameter pertumbuhan/hasil, dan analisis statistik | Menguji hubungan dosis dengan respons tanaman                   | Hasil uji memungkinkan rekomendasi spesifik tanaman dan menilai ukuran efek.              |
| Adopsi pengguna       | Kemudahan, biaya, waktu kerja, penerimaan, dan niat menggunakan kembali               | Menilai kelayakan penerapan pada tingkat kelompok tani          | Kinerja teknis perlu dipadukan dengan kelayakan sosial dan ekonomi.                       |

Sumber: Sintesis penulis berdasarkan literatur pupuk berbasis biomassa dan kebutuhan verifikasi program.

Kerangka verifikasi tersebut mengubah pendekatan evaluasi dari sekadar pengamatan fisik menuju pengukuran yang dapat diuji ulang. Parameter kimia menjelaskan komposisi produk, parameter keamanan mengurangi risiko bahan daur ulang, sedangkan percobaan dosis-respons menghubungkan mutu produk dengan kinerja tanaman. Pendekatan tersebut sejalan dengan kebutuhan pengembangan bio-based fertilizer yang menuntut reliabilitas nutrisi, kelayakan pengguna, dan evaluasi dampak pada kondisi lokal (Abitabile et al., 2024; Bhatia & Sindhu, 2024).

### 3.5 Aplikasi Percontohan dan Batas Bukti Agronomis

Aplikasi percontohan menggunakan pengenceran POC dan air sebesar 1:10 pada tanaman di sekitar posko KKN. Dokumentasi memperlihatkan praktik penyiraman pada tanaman sebagai bagian dari simulasi penggunaan produk, bukan percobaan agronomis terkendali (Gambar 3).



**Gambar 3.** Aplikasi percontohan POC pada tanaman di sekitar posko KKN. Sumber: Dokumentasi KKN 52 Universitas Mulawarman Kampung Tanjung Perangat (2026).

Aplikasi percontohan belum menyediakan kelompok kontrol, ulangan, pengukuran awal, parameter pertumbuhan, ataupun analisis statistik. Pengamatan visual tidak dapat digunakan sebagai bukti peningkatan pertumbuhan karena perubahan tanaman dapat dipengaruhi oleh kondisi awal, penyiraman, tanah, cuaca, serta faktor pemeliharaan lain. Percobaan berikutnya perlu menggunakan rancangan terkontrol dengan beberapa dosis, ulangan yang memadai, dan parameter pertumbuhan atau hasil yang ditetapkan sebelum aplikasi. Prinsip pemupukan berkelanjutan menuntut kecocokan produk, dosis, waktu, dan kondisi tanah agar manfaat hara tidak berubah menjadi kehilangan nutrisi atau risiko lingkungan (Brichi et al., 2023; Haryanta & Widya, 2024).

### 3.6 Partisipasi Masyarakat dan Pertanian Sirkular

Kegiatan sosialisasi diikuti 32 warga yang mewakili unsur pemerintah kampung, kelompok tani, Gapoktan, dan pemilik lahan. Komposisi peserta memberi peluang bagi proses pembelajaran kolektif karena keputusan adopsi teknologi tidak hanya bergantung pada pemahaman individu, tetapi berkaitan dengan ketersediaan bahan, tenaga, biaya, kebutuhan tanaman, dan tata kelola kelompok. Dokumentasi akhir menunjukkan keterlibatan warga dan tim KKN dalam rangkaian kegiatan (Gambar 4).



**Gambar 4.** Partisipasi warga pada sosialisasi pemanfaatan siput sawah menjadi POC. Sumber: Dokumentasi KKN 52 Universitas Mulawarman Kampung Tanjung Perangat (2026).

Konsep “hama menjadi manfaat” mempunyai nilai edukatif karena menghubungkan pengendalian organisme pengganggu dengan pemulihan bahan organik. Nilai sirkular muncul ketika biomassa yang telah dikumpulkan diproses menjadi produk yang aman, terukur, dan sesuai kebutuhan pengguna. Pendekatan tersebut dapat mengurangi pembuangan residu sekaligus memperkenalkan pemulihan nutrisi kepada masyarakat, tetapi kualitas produk harus menjadi bagian dari pesan edukasi agar istilah “organik” tidak dipersepsikan otomatis sebagai “aman” atau “efektif”. Kajian transformasi bio-waste menekankan bahwa proses mikroba dapat

menghasilkan produk bernilai tambah, namun pengendalian bahan baku dan proses tetap menentukan mutu akhir (Upadhyay et al., 2024).

Penerapan pada tingkat komunitas memerlukan pendekatan yang realistis dan berbasis kebutuhan pengguna. Pupuk berbasis biomassa dapat mempunyai konsentrasi hara yang lebih bervariasi dibandingkan pupuk mineral, sedangkan waktu produksi, kebutuhan wadah, bau, penyimpanan, dan ketidakpastian mutu dapat memengaruhi penerimaan petani. Kajian adopsi bio-based fertilizer menunjukkan bahwa pengguna mempertimbangkan keandalan kandungan hara, kemudahan penanganan, harga, kompatibilitas dengan praktik budidaya, dan manfaat tanah sebelum bersedia menggunakan produk secara berulang (Álvarez Salas et al., 2024). Program Tanjung Perangat telah membangun tahap edukasi awal; fase berikutnya perlu menilai biaya produksi per liter, kemudahan replikasi formula, kesediaan kelompok tani melakukan pengujian, dan niat penggunaan ulang setelah hasil uji tersedia.

### 3.7 Keterbatasan dan Rencana Pengembangan

Bukti program belum mencakup analisis pH, konduktivitas listrik, C-organik, N, P, K, logam berat, parameter mikrobiologis, stabilitas penyimpanan, maupun efektivitas agronomis terkendali. Keterbatasan tersebut penting karena pupuk berbasis bahan daur ulang dapat membawa variasi nutrisi dan kontaminan yang tidak dapat dikenali melalui warna atau aroma. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa produk organik dan bio-based fertilizer memerlukan perhatian terhadap keamanan bahan, termasuk kemungkinan cemaran yang terbawa dari sumber limbah (Albert & Bloem, 2025). Kesenjangan antara target fermentasi 14 hari dan jadwal batch sampel turut memerlukan dokumentasi produksi yang lebih konsisten. Prioritas pengembangan untuk mengubah kegiatan demonstratif menjadi model yang dapat dievaluasi secara ilmiah dirangkum pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Prioritas pengembangan program

| Aspek       | Kondisi saat ini                              | Tindak lanjut                                                                   | Indikator                                                  |
|-------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Formulasi   | Komposisi bahan belum dinyatakan secara rinci | Tetapkan bobot/volume bahan, volume EM4, air, dan lama fermentasi per batch     | Formula baku dan lembar produksi tersedia                  |
| Mutu produk | Indikator fisik digunakan sebagai acuan awal  | Uji pH, C-organik, N, P, K dan parameter keamanan yang relevan                  | Hasil uji laboratorium per batch tersedia                  |
| Efektivitas | Aplikasi 1:10 bersifat percontohan            | Lakukan uji kontrol, beberapa dosis, ulangan, dan parameter pertumbuhan         | Data respons tanaman dan ukuran efek tersedia              |
| Keamanan    | Prosedur penanganan biomassa belum dirinci    | Susun sanitasi bahan, APD, wadah, penyimpanan, dan pengelolaan residu           | SOP keselamatan diterapkan                                 |
| Adopsi      | Partisipasi 32 warga tercatat                 | Lakukan evaluasi pengetahuan, minat adopsi, kemudahan, biaya, dan keberlanjutan | Umpan balik dan tindak lanjut kelompok tani terdokumentasi |

Sumber: Sintesis hasil kegiatan dan literatur pupuk berbasis biomassa 2021-2026.

## 4. KESIMPULAN

Program KKN di Kampung Tanjung Perangat berhasil melaksanakan rangkaian edukasi dan demonstrasi biokonversi biomassa siput sawah menjadi POC melalui penggunaan bahan lokal dan fermentasi. Tahap kegiatan mencakup pembuatan batch percontohan, aplikasi awal dengan pengenceran 1:10, produksi sampel, sosialisasi, demonstrasi, serta partisipasi 32 warga. Model kegiatan memperlihatkan peluang menghubungkan pengelolaan biomassa hama dengan pemanfaatan residu organik melalui prinsip pertanian sirkular. Kekuatan program terletak pada integrasi masalah lokal, demonstrasi teknis, dan keterlibatan kelompok tani, sedangkan kontribusi ilmiahnya terletak pada pemetaan batas bukti serta kebutuhan verifikasi sebelum produk direkomendasikan.

Bukti kegiatan belum cukup untuk menyimpulkan mutu, keamanan, maupun efektivitas agronomis POC. Ketiadaan analisis laboratorium, percobaan terkontrol, data stabilitas, dan dokumentasi rinci formulasi membatasi generalisasi hasil. Pengembangan berikutnya perlu memprioritaskan identifikasi dan pencatatan bahan, standarisasi formula, verifikasi lama fermentasi, pengujian pH serta unsur hara, pemeriksaan parameter keamanan, uji dosis-respons spesifik tanaman, analisis biaya sederhana, dan evaluasi adopsi bersama kelompok tani. Tahapan tersebut diperlukan agar program berkembang dari demonstrasi edukatif menjadi praktik pertanian berkelanjutan yang dapat direplikasi, dievaluasi, dan dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

## 5. REKOMENDASI

1. Kelompok tani perlu menggunakan formula baku yang mencatat jumlah setiap bahan, volume EM4, volume air, tanggal awal fermentasi, dan tanggal panen POC.
2. Tim pendamping perlu menguji pH, C-organik, N, P, K, serta parameter keamanan yang relevan sebelum menyusun klaim mutu produk.
3. Percobaan lapangan berikutnya perlu menggunakan kontrol, beberapa dosis, ulangan, dan parameter pertumbuhan agar efektivitas POC dapat dinilai secara sah.
4. Pemerintah kampung dan perguruan tinggi perlu menyusun SOP pengumpulan siput, sanitasi, fermentasi, penyimpanan, serta aplikasi untuk mengurangi risiko kesehatan dan variasi produk.
5. Evaluasi masyarakat perlu mengukur pengetahuan, kemudahan pembuatan, biaya, minat adopsi, dan keberlanjutan penggunaan agar dampak program dapat dinilai secara lebih komprehensif.
6. Pengembangan skala kelompok tani perlu dilengkapi pencatatan biaya produksi per liter, kebutuhan tenaga kerja, stabilitas penyimpanan, dan kesediaan penggunaan ulang agar kelayakan teknis dapat dibandingkan dengan kelayakan ekonomi serta sosial.

**Ucapan Terima Kasih:** Tim penulis menyampaikan terima kasih kepada Universitas Mulawarman, Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Mulawarman, Pemerintah Kampung Tanjung Perangat, tokoh masyarakat, kelompok tani, Gapoktan, serta seluruh warga yang mendukung pelaksanaan kegiatan KKN dan program pemanfaatan siput sawah menjadi POC.

**Kontribusi Penulis:** Seluruh penulis berkontribusi pada perencanaan kegiatan, pelaksanaan pengabdian, dokumentasi, pengolahan informasi, dan penyusunan artikel sesuai peran masing-masing.

**Sumber Pendanaan:** Kegiatan didukung oleh sumber pendanaan para penulis dan sumber kegiatan KKN sesuai ketentuan pelaksanaan program.

**Konflik Kepentingan:** Penulis menyatakan tidak memiliki konflik kepentingan yang memengaruhi pelaksanaan kegiatan maupun interpretasi artikel.

**Ketersediaan Data:** Data artikel berasal dari dokumen program, catatan tahapan kegiatan, jumlah peserta, serta dokumentasi foto KKN 52 Kampung Tanjung Perangat. Data analisis laboratorium dan data percobaan agronomis terkendali tidak tersedia pada dokumen sumber.

## REFERENSI

- Abitabile, C., Arzeni, A., Cisilino, F., & Orlando, M. (2024). Building sustainable futures: the bio-based fertilizer case-study. *Bio-Based and Applied Economics*, 14 (1), 3-17. <https://doi.org/10.36253/bae-15786>
- Adelia, S., & Azrita. (2023). Pengaruh pemberian kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca* L.) sebagai pupuk organik cair pada pertumbuhan cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.). *Agrisaintifika: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 7 (2), 212-217. <https://doi.org/10.32585/ags.v7i2.4467>
- Aini, N., Hermanto, D., & Winarko, P. (2023). Management of organic waste into liquid fertilizer and compost welcoming the blue economy of Rancabungur. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 13 (2), 327-331. <https://doi.org/10.29244/jpsl.13.2.327-331>
- Albert, S., & Bloem, E. (2025). Antibiotic contamination of fresh organic fertilizers and processed bio-based fertilizer products. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 8, e70059. <https://doi.org/10.1002/agg2.70059>
- Álvarez Salas, M., Sica, P., Rydgård, M., Sitzmann, T. J., Nyang'au, J. O., El Mahdi, J., Moshkin, E., de Castro e Silva, H. L., Chrysanthopoulos, S., Kopp, C., Wali, K., Zireeni, Y., Ural-Janssen, A., El Hajj Hassan, S., Kebalo, L. F., Chadwick, D., & Jensen, L. S. (2024). Current challenges on the widespread adoption of new bio-based fertilizers: Insights to move forward toward more circular food systems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1386680. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1386680>
- Bhatia, T., & Sindhu, S. S. (2024). Sustainable management of organic agricultural wastes: contributions in nutrients availability, pollution mitigation and crop production. *Discover Agriculture*, 2, 130. <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00147-7>
- Brichi, L., Fernandes, J. V. M., Silva, B. M., Vizú, J. d. F., Junior, J. N. G., & Cherubin, M. R. (2023). Organic residues and their impact on soil health, crop production and sustainable agriculture: A review including bibliographic analysis. *Soil Use and Management*, 39 (2), 686-706. <https://doi.org/10.1111/sum.12892>
- Chojnacka, K., Moustakas, K., & Mikulewicz, M. (2022). Valorisation of agri-food waste to fertilisers is a challenge in implementing the circular economy concept in practice. *Environmental Pollution*, 312, 119906. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119906>
- Constantine, K. L., Makale, F., Mugambi, I., Chacha, D., Rware, H., Muvea, A., Kipnetich, V. K., Tambo, J., Ogunmodede, A., Djeddour, D., Pratt, C. F., Rwomushana, I., & Williams, F. (2023). Assessment of the socio-economic impacts associated with the arrival of apple snail (*Pomacea canaliculata*) in Mwea irrigation scheme, Kenya. *Pest Management Science*, 79 (11), 4343-4356. <https://doi.org/10.1002/ps.7638>

- Elfarisna, Rachman, A., & Rahmayuni, E. (2024). Pengaruh pupuk organik cair kulit pisang kepok pada pertumbuhan dan produksi okra (*Abelmoschus esculentus*). *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 29(3), 447–453. <https://doi.org/10.18343/jipi.29.3.447>
- Guan, S., Takahashi, K., Watanabe, S., & Tanaka, K. (2024). Unmanned aerial vehicle-based techniques for monitoring and prevention of invasive apple snails (*Pomacea canaliculata*) in rice paddy fields. *Agriculture*, 14 (2), 299. <https://doi.org/10.3390/agriculture14020299>
- Haryanta, D., & Widya, S. A. (2024). Liquid organic fertilizer (LOF) as a waste processing strategy to support increasing crop production: A review. *Journal of Applied Plant Technology*, 3 (2), 106–119. <https://doi.org/10.30742/65vpgp22>
- Istiqomah, N., Mahdianoor, & Zaliha, S. (2023). Karakteristik kimia pupuk organik cair keong mas dengan dua dekomposer dan komposisi bahan berbeda. *Ziraa'ah: Majalah Ilmiah Pertanian*, 48 (1), 44–49. <https://doi.org/10.31602/zmip.v48i1.9204>
- Krasilnikov, P., Taboada, M. A., & Amanullah. (2022). Fertilizer use, soil health and agricultural sustainability. *Agriculture*, 12 (4), 462. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040462>
- Kurniawan, L., Maryudi, & Astuti, E. (2024). Utilization of tofu liquid waste as liquid organic fertilizer using the fermentation method with activator Effective Microorganisms 4 (EM-4): A review. *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, 8 (1), 100–112. <https://doi.org/10.20961/equilibrium.v8i1.84056>
- Kurniawati, A., Toth, G., Ylivainio, K., & Toth, Z. (2023). Opportunities and challenges of bio-based fertilizers utilization for improving soil health. *Organic Agriculture*, 13, 335–350. <https://doi.org/10.1007/s13165-023-00432-7>
- Lestari, D. T., Aminah, M., & Munandar, J. M. (2024). Circular economy business strategy of organic fertilizer in Parikesit Farmer Group. *Indonesian Journal of Business and Entrepreneurship*, 10 (2), 400–410. <https://doi.org/10.17358/IJBE.10.2.400>
- Maryudi, Kurniawan, L., Astuti, E., & Yahya, A. (2024). Optimization of liquid organic fertilizer production from tofu liquid waste using EM-4 activator and additional ingredients of rice washing water and goat urine. *Indonesian Journal of Chemical Engineering*, 2 (2), 45–55. <https://doi.org/10.26555/ijce.v2i2.707>
- Nada, D. H., Abi, F. D. Y. P., & Nadut, A. (2025). Pengaruh waktu dan metode fermentasi terhadap kandungan C, N, P, K dalam pupuk organik cair dari limbah air kelapa tua, limbah buah-buahan dan molase. *Agroteknika*, 8 (1), 54–64. <https://doi.org/10.55043/agroteknika.v8i1.498>
- Natania, I. O., Pradnyawathi, N. L. M., & Astawa, I. N. G. (2024). Pengaruh konsentrasi pupuk organik cair kulit pisang kepok terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman bayam merah (*Amaranthus tricolor* L.). *Agrotrop: Journal on Agriculture Science*, 14 (1), 115–125. <https://doi.org/10.24843/AJoAS.2024.v14.i01.p13>
- Nisa, K., Rizkyani, A., Ivana, C. F., Puspita, A. D., & Kristiningsih, A. (2024). Pemanfaatan limbah kulit pisang dan kulit nanas sebagai bahan baku pembuatan pupuk organik cair (POC). *Journal of SURIMI (Sustainable Research in Management of Agroindustry)*, 4 (1), 8–13. <https://doi.org/10.35970/surimi.v4i1.2266>
- Schmidt, S., Krishnan, V., Gamage, H., Walsh, M., Huelsen, T., Wolf, J., Wadewitz, P., Jensen, P., Das, B., & Robinson, N. (2025). Enabling the circular nitrogen economy with organic and organo-mineral fertilisers. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 130 (1), 33–48. <https://doi.org/10.1007/s10705-024-10380-7>
- Sormin, H. J., Daniel, D., & Tandirogang, N. (2025). Potensi pemanfaatan limbah organik rumah tangga menjadi pupuk organik cair melalui proses fermentasi menggunakan bioaktivator EM4. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 22 (2). <https://doi.org/10.30872/jkm.v22i2.1212>
- Syamsuwirman, Taher, Y. A., Afrida, Desi, Y., Badal, B., Sari, H. P., Syukra, R. A., Murnita, Rinaldo, J., Sutradjo, A., & Angelia, R. O. (2025). Transforming agricultural waste into liquid organic fertilizer through a participatory approach. *Journal of Community Service*, 7 (1), 167–175. <https://doi.org/10.56670/jcs.v7i1.351>
- Teku, I. M. I., Mau, A. E., Riwu Kaho, N. P. L. B., & Soimin, M. (2025). The effect of applying liquid organic fertilizer (LOF) from golden apple snail (*Pomacea canaliculata* L.) on the growth of sandalwood seedlings (*Santalum album* L.). *Wana Lestari*, 7 (1). <https://doi.org/10.35508/wanalestari.v7i01.20409>
- Upadhyay, S. K., Singh, G., Rani, N., Rajput, V. D., Seth, C. S., Dwivedi, P., Minkina, T., Wong, M. H., Show, P. L., & Khoo, K. S. (2024). Transforming bio-waste into value-added products mediated microbes for enhancing soil health and crop production: Perspective views on circular economy. *Environmental Technology & Innovation*, 34, 103573. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103573>
- Vargas Cuy, A. M., Moreno, L. A., Páez Guevara, L. A., & Molano García, J. F. (2024). Leachate fermentation from composting organic mineral liquid fertilizer: Effects on the behavior of phosphorus, potassium and organic acids. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 13(5). <https://doi.org/10.57647/ijrowa-s7et-tx97>
- Wafiqah, A., Retnaningtyas, E., Wahyuni, D. S. C., Andini, A., Anjarsari, Y., Khotimah, R. A. N., Abdulaziz, U., Ansari, A. S., & Rochman, N. T. (2024). Jamu waste as liquid organic fertilizer (LOF) and its quality analysis. *Materials Today: Proceedings*, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2024.03.057>
- Widyabudiningsih, D., Troskialina, L., Fauziah, S., Shalihattunnisa, Riniati, Djenar, N. S., Hulupi, M., Indrawati, L., Fauzan, A., & Abdilah, F. (2021). Pembuatan dan pengujian pupuk organik cair dari limbah kulit buah-buahan dengan penambahan bioaktivator EM4 dan variasi waktu fermentasi. *Indonesian Journal of Chemical Analysis*, 4 (1), 30–39. <https://doi.org/10.20885/ijca.vol4.iss1.art4>
- Zega, P. R. Y. (2026). Pemanfaatan air cucian beras sebagai pupuk organik cair dan pengaruhnya terhadap kesuburan tanah: Tinjauan literatur. *Jurnal Ilmu Pertanian dan Perikanan*, 3 (1), 13–18. <https://doi.org/10.70134/penarik.v3i1.479>

Zhou, S.-P., Ke, X., Jin, L.-Q., Xue, Y.-P., & Zheng, Y.-G. (2024). Sustainable management and valorization of biomass wastes using synthetic microbial consortia. *Bioresource Technology*, 395, 130391.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2024.130391>

This is an open access article which is publicly available on our journal's website under Institutional Repository at  
<https://e-journals2.unmul.ac.id/index.php/pdkum/index>