

## INOVASI PUPUK CAIR ORGANIK LIMBAH AMPAS TAHU DENGAN BIOAKTIVATOR EM4 SEBAGAI SOLUSI PERTANIAN BERKELANJUTAN

Lian Rahmawati<sup>1</sup>, Eli Trisnowati<sup>2</sup>  
Pendidikan IPA, Universitas Tidar, Magelang  
E-mail: \*elitrisnowati@untidar.ac.id<sup>2</sup>

### ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji inovasi pembuatan pupuk cair organik (POC) berbahan dasar limbah ampas tahu dengan penambahan molase, kulit pisang, dan bioaktivator EM4 sebagai solusi pertanian berkelanjutan. Ketergantungan petani terhadap pupuk kimia telah menurunkan kesuburan tanah serta menimbulkan pencemaran lingkungan, sementara limbah ampas tahu berpotensi besar dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk organik karena kandungan proteinnya yang tinggi. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif, melalui proses fermentasi bahan organik dengan variasi komposisi dan lama fermentasi (7–14 hari). Komposisi bahan yang digunakan meliputi 15% ampas tahu, 9% molase, 10% kulit pisang, 63% air, dan 3% EM4 sebagai bioaktivator. Pengamatan dilakukan terhadap perubahan warna, bau, pH, serta waktu kematangan pupuk untuk menilai tingkat fermentasi yang optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi bahan tersebut menghasilkan pupuk cair dengan karakteristik fisik dan kimia yang sesuai dengan standar SNI 19-7030-2004 dan Peraturan Menteri Pertanian No. 261/2019. POC yang dihasilkan berwarna coklat kekuningan dengan aroma manis tidak menyengat serta pH mendekati netral, menandakan proses fermentasi berjalan baik. Lama fermentasi kurang dari 10 hari sudah menghasilkan pupuk matang secara fisik, namun fermentasi hingga 21 hari diperlukan untuk kestabilan unsur hara makro (N, P, K). Uji aplikasi menunjukkan bahwa tanaman yang diberi POC hasil fermentasi 14 hari mengalami pertumbuhan paling tinggi dibandingkan perlakuan lain. Dengan demikian, formulasi pupuk cair organik dari limbah ampas tahu dengan bioaktivator EM4 terbukti efektif, ekonomis, dan ramah lingkungan. Inovasi ini memberikan alternatif pengganti pupuk kimia sekaligus solusi pengelolaan limbah organik yang mendukung sistem pertanian berkelanjutan.

### Kata kunci

**Pupuk Cair Organik, Ampas Tahu, EM4, Fermentasi, Pertanian Berkelanjutan**

### ABSTRACT

*This research examines the innovation of producing liquid organic fertilizer (POC) made from tofu dregs waste combined with molasses, banana peel, and the bioactivator EM4 as a solution for sustainable agriculture. Farmers' dependence on chemical fertilizers has reduced soil fertility and caused environmental pollution, whereas tofu waste has great potential as an organic fertilizer material due to its high protein content. The study employed an experimental method with a quantitative approach through the fermentation process of organic materials with variations in composition and fermentation duration (7–14 days). The composition used consisted of 15% tofu dregs, 9% molasses, 10% banana peel, 63% water, and 3% EM4 as a bioactivator. Observations were conducted on changes in color, odor, pH, and the ripening time of the fertilizer to determine the optimal fermentation stage. The results indicated that this combination produced liquid fertilizer with physical and chemical characteristics that met the standards of SNI 19-7030-2004 and the Indonesian Ministry of Agriculture Regulation No. 261/2019. The resulting POC was brownish-yellow in color, had a mild sweet odor, and a near-neutral pH, indicating a successful fermentation process. A fermentation period of less than 10 days produced physically mature fertilizer, while up to 21 days of fermentation was required to stabilize the macronutrient content (N, P, K). Application tests revealed that plants treated with POC fermented for 14 days showed the highest growth compared to other treatments. In conclusion, the formulation of liquid organic fertilizer from tofu dregs waste with EM4 bioactivator*

*proved to be effective, economical, and environmentally friendly. This innovation provides an alternative to chemical fertilizers and offers a sustainable solution for organic waste management in agriculture.*

**Keywords**

***Liquid organic fertilizer, Tofu dregs, EM4, Fermentation, Sustainable Agricultur***

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai negara agraris dengan wilayah yang subur dan iklim tropis yang mendukung kegiatan pertanian sepanjang tahun. Potensi agraris ini tercermin dari luasnya lahan pertanian serta kontribusi sektor pertanian terhadap perekonomian nasional. Data Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat bahwa sektor pertanian, kehutanan, dan perikanan berkontribusi sebesar 12,4% terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) Indonesia pada tahun 2023. Lebih dari 29% penduduk Indonesia bekerja di sektor ini, terutama di daerah pedesaan yang menggantungkan mata pencaharian pada budidaya tanaman pangan, hortikultura, dan perkebunan. Kondisi ini menegaskan bahwa pertanian bukan hanya bagian dari tradisi, tetapi juga pondasi penting dalam menjaga ketahanan pangan nasional dan kesejahteraan masyarakat.

Di samping potensi tersebut, pertanian Indonesia masih menghadapi tantangan besar terkait ketergantungan pada pupuk kimia. Pemakaian pupuk anorganik secara berlebihan terbukti menurunkan kandungan bahan organik tanah, merusak struktur tanah, dan mengurangi aktivitas mikroba yang berperan penting dalam kesuburan tanah. Penelitian di Kabupaten Malang menunjukkan bahwa penggunaan pupuk organik dan hayati mampu memperbaiki sifat kimia tanah, seperti pH dan ketersediaan fosfor, dibandingkan penggunaan pupuk anorganik secara tunggal (Herawati & Sulistyansih, 2018). Hal ini sejalan dengan temuan Sulistyorini dkk. (2021) di Sleman yang menegaskan bahwa pemberian pupuk organik secara berkelanjutan meningkatkan kandungan bahan organik tanah pada lahan sawah. Namun, keterbatasan pasokan pupuk organik dan harga pupuk kimia yang semakin tinggi tetap menjadi kendala serius bagi petani dalam menjaga produktivitas pertanian (Mulyaningsih, 2017).

Di sisi lain, permasalahan lingkungan akibat limbah organik dari industri pangan juga menjadi sorotan. Salah satu yang paling banyak dihasilkan adalah limbah ampas tahu. Industri tahu, yang tersebar luas dari skala rumah tangga hingga industri besar di berbagai daerah, setiap harinya menghasilkan ampas dalam jumlah besar. Limbah ini seringkali hanya dibuang ke lingkungan terbuka atau ke aliran sungai sehingga menimbulkan bau tidak sedap, pencemaran air, serta menurunkan estetika lingkungan sekitar. Padahal, berdasarkan kajian kimia, ampas tahu mengandung komponen organik yang sangat potensial seperti protein, karbohidrat, dan lemak yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber nutrisi bagi tanaman. Proses produksi tahu akan menghasilkan limbah berupa ampas tahu yang apabila tidak segera dikelola dapat menimbulkan bau tidak sedap. Ampas tahu memiliki kandungan gizi tinggi meliputi protein 26,6%, lemak 18,3%, karbohidrat 41,3 %, fosfor 0,29 %, kalsium 0,19 %, besi 0,04 %, dan air 0,09 %. Ampas tahu masih memungkinkan diolah sebagai bahan dasar atau campuran pada pembuatan produk tertentu (Sulistiani, 2004). Jika tidak diolah dengan baik, potensi ini akan hilang begitu saja, bahkan menimbulkan masalah lingkungan yang kronis.

Berbagai penelitian telah mencoba menjawab tantangan tersebut melalui inovasi pemanfaatan limbah organik sebagai pupuk cair organik (POC). POC merupakan larutan hasil dekomposisi bahan organik seperti sisa tanaman, kotoran hewan, atau limbah industri pangan yang kaya akan unsur hara. Dibandingkan pupuk kimia, pupuk cair organik memiliki sejumlah keunggulan, antara lain memperbaiki struktur tanah, meningkatkan ketersediaan unsur hara, memperbaiki mikrobiologi tanah, serta

meningkatkan daya tahan tanaman terhadap cekaman biotik maupun abiotik. Selain itu, penggunaan pupuk cair organik dapat mengurangi ketergantungan petani pada pupuk kimia yang mahal, sehingga membantu menekan biaya produksi dan meningkatkan keberlanjutan sistem pertanian.

Proses dekomposisi bahan organik menjadi pupuk cair berlangsung lebih cepat apabila ditambahkan bioaktivator berupa mikroorganisme efektif. *Effective Microorganisms 4* (EM4) merupakan salah satu bioaktivator yang terbukti efektif dalam mempercepat fermentasi bahan organik. EM4 terdiri atas mikroba menguntungkan seperti *Lactobacillus sp.*, *Saccharomyces sp.*, *Streptomyces sp.*, dan bakteri fotosintetik yang berperan dalam mengurai bahan organik kompleks menjadi senyawa sederhana yang mudah diserap tanaman. Selain itu, EM4 juga berfungsi menekan aktivitas mikroorganisme patogen dalam tanah, sehingga meningkatkan kualitas pupuk yang dihasilkan. Molase yang secara umum dikenal sebagai tetes tebu, adalah produk residu berbentuk cairan kental berwarna coklat gelap yang dihasilkan setelah proses kristalisasi gula di pabrik gula, baik yang bersumber dari tebu maupun bit gula. Secara esensial, molase merupakan bagian sirup yang tersisa setelah gula sukrosa maksimal diekstrak, menjadikannya kaya akan gula non-kristalisasi, seperti glukosa dan fruktosa, serta memiliki konsentrasi mineral yang cukup signifikan, termasuk kalium, kalsium, dan zat besi. Karena profil nutrisinya yang padat gula sederhana, molase memegang peranan krusial sebagai sumber energi yang paling disukai dan mudah diakses oleh berbagai jenis mikroorganisme dalam aplikasi bioteknologi dan pertanian.

Dalam konteks pembuatan pupuk organik cair, fungsinya adalah sebagai bahan aktivator vital yang menyediakan substrat karbon yang mudah dicerna oleh kultur mikroba seperti *Effective Microorganisms* (EM4). Penambahan molase memastikan bahwa bakteri dan ragi dekomposer dapat berkembang biak dengan cepat dan efisien, sehingga secara drastis mempercepat laju fermentasi dan dekomposisi limbah organik. Efek dari stimulasi ini tidak hanya memperpendek waktu produksi, tetapi juga secara langsung meningkatkan kualitas produk akhir melalui pembentukan senyawa metabolit yang bermanfaat dan menghasilkan aroma fermentasi yang lebih stabil, menjadikan molase sebagai komponen penting yang menjembatani limbah organik menjadi produk pupuk bernilai guna tinggi.

Menurut Nisa dkk. (2025) menunjukkan bahwa kombinasi limbah tahu cair dengan kulit pisang yang difermentasi menggunakan EM4 menghasilkan pupuk cair organik dengan kandungan hara makro yang memenuhi standar Peraturan Menteri Pertanian No. 261/KPTS/SR.310/M/4/2019. Hasil terbaik diperoleh pada fermentasi selama 8 hari dengan penambahan 50 ml EM4, yang menghasilkan kandungan nitrogen 0,99% dan fosfor 0,0258%. Kandungan ini cukup untuk mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman, terutama daun dan batang. Hasil penelitian Manuputty dkk. (2012) juga menegaskan bahwa penggunaan EM4 dapat mempercepat laju dekomposisi hingga 28 hari dengan nisbah C/N 11,56 serta kandungan nitrogen 2,91% dan kalium 553,67 mg/100 g yang telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) pupuk organik No. 19-7030-2004.

Dengan demikian, pengolahan limbah ampas tahu menjadi pupuk cair organik menggunakan bioaktivator EM4 bukan hanya menjadi solusi dalam mengurangi pencemaran lingkungan, tetapi juga merupakan inovasi tepat guna dalam menghadapi permasalahan pertanian nasional. Inovasi ini sejalan dengan prinsip pertanian berkelanjutan, yaitu sistem pertanian yang tidak hanya berorientasi pada peningkatan hasil panen, tetapi juga menjaga keseimbangan lingkungan dan memperhatikan aspek sosial-ekonomi masyarakat. Efektivitas pupuk cair organik dipengaruhi oleh faktor

perbandingan EM4, molase, limbah dan juga dipengaruhi oleh lama waktu fermentasi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan setiap bahan yang tepat digunakan untuk pembuatan pupuk organik dari limbah ampas tahu dengan EM4 dan molase serta penentu lama waktu fermentasi yang optimal, sehingga didapatkan hasil pupuk cair organik dengan kualitas yang baik untuk pertumbuhan tanaman.

Penelitian ini diarahkan untuk mengkaji potensi perpaduan limbah ampas tahu dan kulit pisang dengan penambahan bioaktivator EM4 dan molase dalam menghasilkan pupuk cair organik yang memenuhi standar kualitas SNI pupuk organik cair. Penelitian ini juga bertujuan untuk menjelaskan peran molase sebagai sumber energi mikroorganisme serta fungsi EM4 dalam mempercepat proses fermentasi bahan organik. Selain itu, penelitian ini mengkaji pengaruh variasi waktu fermentasi terhadap kestabilan kandungan nutrisi pupuk cair organik serta dampaknya terhadap laju pertumbuhan tanaman. Dengan demikian, diharapkan penelitian ini dapat menentukan komposisi bahan dan lama fermentasi yang optimal untuk menghasilkan pupuk cair organik berkualitas tinggi, ramah lingkungan, dan aplikatif dalam mendukung sistem pertanian berkelanjutan.

## **2. METODE PENELITIAN**

Penelitian ini termasuk dalam penelitian eksperimen (experimental research) dengan pendekatan kuantitatif-deskriptif. Penelitian eksperimen dipilih karena penelitian ini tidak hanya bertujuan mendeskripsikan fenomena, tetapi juga menghasilkan produk nyata berupa pupuk cair organik (POC) serta menguji pengaruh perlakuan tertentu terhadap kualitas produk dan respon tanaman.

### **2.1 Pendekatan Kuantitatif**

Pendekatan kuantitatif digunakan dalam penelitian ini karena data yang diperoleh berupa hasil pengukuran dan pengamatan yang dapat dinyatakan dalam bentuk angka. Data kuantitatif tersebut meliputi nilai pH larutan pupuk cair organik (POC) yang diukur pada setiap variasi waktu fermentasi, serta tinggi tanaman yang diamati secara berkala setelah aplikasi POC. Selain itu, penelitian ini juga melakukan perbandingan hasil pengukuran antar perlakuan waktu fermentasi, sehingga memungkinkan analisis yang lebih objektif terhadap pengaruh lama fermentasi terhadap kualitas POC dan respon pertumbuhan tanaman. Dengan menggunakan pendekatan kuantitatif, hasil penelitian dapat dianalisis secara sistematis dan terukur sehingga memberikan gambaran yang jelas mengenai efektivitas pupuk cair organik yang dihasilkan.

### **2.2 Analisis Deskriptif**

Analisis deskriptif digunakan untuk menggambarkan secara rinci perubahan fisik dan biologis yang terjadi selama proses fermentasi pupuk cair organik. Perubahan tersebut meliputi warna larutan yang awalnya keruh menjadi lebih homogen, aroma yang berubah dari bau bahan mentah menjadi aroma fermentasi yang khas, serta tingkat kematangan pupuk cair yang ditunjukkan oleh stabilnya pH dan tidak adanya bau busuk. Aspek-aspek tersebut tidak seluruhnya dapat dinyatakan dalam bentuk angka, namun memiliki peran penting dalam menentukan mutu dan kelayakan pupuk organik cair. Oleh karena itu, analisis deskriptif diperlukan untuk memberikan penjelasan yang utuh dan komprehensif mengenai kualitas pupuk cair yang dihasilkan selama proses fermentasi.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada inovasi ini konsentrasi pupuk cair organik ditentukan oleh proporsi persentase bahan organik yang digunakan, yang dalam formula ini mencapai total 34% dan terdiri dari ampas tahu (15%), molase (9%), dan kulit pisang (10%) (Sari & Wulandari, 2022). Komposisi persentase ini bukanlah tanpa alasan, melainkan dirancang secara spesifik untuk menjamin keseimbangan nutrisi makro. Ampas tahu dengan konsentrasi 15% dipilih karena kontribusinya yang tinggi sebagai sumber utama nitrogen (N). Ampas tahu (okara) merupakan limbah padat hasil samping proses pembuatan tahu yang masih menyimpan kandungan gizi cukup tinggi. Menurut Purbaningrum (2019), tepung ampas tahu per 100 g bahan kering mengandung protein 26,9%, lemak 9,9%, karbohidrat 40,3%, abu 7,6%, serta serat pangan total 34,45% yang terdiri atas serat tidak larut 26,9% dan serat larut 7,56%. Tingginya kadar serat ini menjadi faktor penting dalam ketersediaan bahan organik untuk fermentasi pupuk cair. Kandungan protein yang relatif tinggi dapat memperkaya kadar nitrogen (N) dalam pupuk cair organik.

Kulit pisang merupakan bahan organik yang mengandung unsur hara penting seperti magnesium, natrium, fosfor, dan sulfur. Berdasarkan penelitian Nasution (2013) di Laboratorium Riset dan Teknologi Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara, analisis pupuk organik dari kulit pisang kepok menunjukkan bahwa pupuk padat mengandung C-organik sebesar 6,19%, N-total 1,34%,  $P_2O_5$  0,05%,  $K_2O$  1,478%, rasio C/N 4,62%, serta pH 4,8. Sementara itu, pada bentuk cair, kandungan unsur haranya meliputi C-organik 0,55%, N-total 0,18%,  $P_2O_5$  0,043%,  $K_2O$  1,137%, rasio C/N 3,06%, dan pH 4,5 (Akbari et al., 2015). Kulit pisang mengandung unsur hara penting bagi tanaman, terutama nitrogen. Unsur nitrogen berperan besar dalam proses sintesis protein, merangsang pertumbuhan batang, cabang, serta daun, dan berfungsi dalam pembentukan klorofil.

Sementara itu, molase sebesar 9% tidak hanya berfungsi sebagai sumber energi karbohidrat bagi mikroba fermentasi, tetapi juga menyumbangkan sejumlah penting mineral seperti kalsium dan fosfor (P). Melengkapi kebutuhan nutrisi, kulit pisang pada konsentrasi 10% dioptimalkan untuk menyediakan asupan kalium (K) yang vital bagi tanaman. Keseimbangan antara ketiga komponen limbah ini sangat esensial untuk menghindari ketidakseimbangan hara, memastikan bahwa produk pupuk cair yang dihasilkan memenuhi standar nutrisi yang seimbang dan efektif untuk mendukung pertumbuhan tanaman secara menyeluruh (Dewi, 2021).

Peran bioaktivator EM4, meskipun hanya digunakan dalam konsentrasi minimal 3% dari keseluruhan formula, sangat penting dalam mengendalikan dan mempercepat proses dekomposisi organik. Konsentrasi 3% ini dianggap sebagai takaran yang paling efisien, yang mampu mengaktifkan konsorsium mikroorganisme (Effective Microorganisms) untuk mendominasi lingkungan fermentasi (Yunita, 2022). Dengan dosis yang tepat ini, EM4 secara efektif mempercepat pemecahan 34% bahan organik kompleks menjadi bentuk hara yang sederhana, dapat diserap oleh tanaman, dan mengurangi waktu tunggu proses pematangan pupuk (Prasetyo, 2019). Lebih dari sekadar mempercepat proses, konsentrasi 3% EM4 juga berperan sebagai agen kontrol kualitas, menekan pertumbuhan mikroba merugikan dan meminimalkan produksi senyawa berbau menyengat terutama amonia yang berasal dari ampas tahu sehingga memastikan pupuk cair yang matang memiliki ciri fisik yang diinginkan, yaitu warna coklat gelap dan aroma yang tidak tajam, mencerminkan keberhasilan proses fermentasi aerob-anaerob.

Air dengan konsentrasi terbesar yaitu 63%, memegang peranan krusial sebagai media pelarut dan penentu konsistensi akhir pupuk cair organik (Hidayat & Nurhayati, 2020). Konsentrasi yang dominan ini sangat diperlukan untuk menciptakan lingkungan akuatik yang memadai bagi aktivitas mikroorganisme EM4 dan memastikan bahwa seluruh nutrisi yang dilepaskan selama dekomposisi terlarut sempurna. Kemampuan air sebagai pelarut menjamin bahwa unsur hara seperti N, P, dan K berada dalam bentuk yang siap diserap tanaman (bioavailable) ketika pupuk diaplikasikan. Selain itu, rasio antara 63% air dengan 34% bahan padat/kental juga bertujuan untuk mencapai tingkat kekentalan atau viskositas yang ideal. Konsistensi ini memudahkan proses homogenisasi, penanganan, pengenceran, dan aplikasi pupuk cair di lapangan (Wibowo, 2023). Dengan adanya proporsi air yang terukur, kualitas pupuk cair dapat dijaga agar tetap stabil, homogen, dan memenuhi standar SNI, menjadikannya solusi yang praktis dan efektif dalam mendukung program pertanian berkelanjutan (Sudarmono, 2024).

Kualitas nutrisi akhir dari pupuk cair hasil fermentasi sangat bergantung pada variasi proporsi dari setiap bahan baku organik yang digunakan dalam formulasi. Sebuah formula standar seringkali menganjurkan penggunaan ampas tahu sebanyak 15 persen, molase sembilan persen, dan kulit pisang sepuluh persen untuk menciptakan sebuah pondasi nutrisi yang komprehensif. Perubahan pada proporsi ampas tahu, sebagai contoh, akan secara langsung mempengaruhi kadar nitrogen yang merupakan unsur kunci untuk mendorong pertumbuhan daun dan batang tanaman. Sementara itu, pengurangan jumlah molase dalam campuran dapat berakibat pada menurunnya pasokan karbon serta mineral penting seperti kalsium dan fosfor yang vital bagi perkuatan sistem perakaran. Di lain pihak, peningkatan persentase kulit pisang di beyond sepuluh persen berpotensi meningkatkan konsentrasi kalium yang sangat bermanfaat untuk proses pembungaan dan kualitas buah. Setiap penyesuaian dalam komposisi bahan organik ini tidak hanya mengubah profil hara makro tetapi juga mempengaruhi dinamika populasi mikroba dekomposer yang aktif bekerja.

Kualitas nutrisi akhir dari pupuk cair hasil fermentasi sangat bergantung pada variasi proporsi dari setiap bahan baku organik yang digunakan dalam formulasi. Sebuah formula standar seringkali menganjurkan penggunaan ampas tahu sebanyak 15 persen, molase sembilan persen, dan kulit pisang sepuluh persen untuk menciptakan sebuah pondasi nutrisi yang komprehensif. Perubahan pada proporsi ampas tahu, sebagai contoh, akan secara langsung mempengaruhi kadar nitrogen yang merupakan unsur kunci untuk mendorong pertumbuhan daun dan batang tanaman. Sementara itu, pengurangan jumlah molase dalam campuran dapat berakibat pada menurunnya pasokan karbon serta mineral penting seperti kalsium dan fosfor yang vital bagi perkuatan sistem perakaran. Di lain pihak, peningkatan persentase kulit pisang di beyond sepuluh persen berpotensi meningkatkan konsentrasi kalium yang sangat bermanfaat untuk proses pembungaan dan kualitas buah. Setiap penyesuaian dalam komposisi bahan organik ini tidak hanya mengubah profil hara makro tetapi juga mempengaruhi dinamika populasi mikroba dekomposer yang aktif bekerja.

Menurut Suryanto (2021), keberhasilan proses dekomposisi anaerob sangat ditentukan oleh keseimbangan yang tepat antara material sumber nitrogen dan material sumber karbon. Sebuah ketidakseimbangan, misalnya dengan menambahkan ampas tahu secara berlebihan, dapat menyebabkan proses fermentasi terhambat dan memunculkan bau busuk yang tidak diinginkan. Formulasi yang kaya akan kulit pisang, yang secara alami berserat, memerlukan tambahan molase yang memadai untuk menyediakan energi yang dibutuhkan mikroba dalam mengurai bahan keras. Oleh karena itu, eksperimen dalam memvariasikan komposisi harus selalu diselaraskan dengan tujuan pemupukan

akhir, apakah itu ditujukan untuk tanaman daun, tanaman buah, atau berbagai jenis sayuran.

Indikator praktis seperti tercapainya warna coklat tua dan tidak adanya bau menyengat dapat dijadikan tolok ukur kematangan pupuk pada berbagai macam variasi komposisi yang dicoba. Warna coklat tua tersebut menandakan bahwa senyawa-senyawa organik kompleks telah berhasil diurai menjadi senyawa yang lebih sederhana dan siap serap. Sementara itu, aroma yang netral atau seperti tape mengindikasikan bahwa proses fermentasi berjalan dengan baik tanpa menghasilkan senyawa asam yang berlebihan. Dengan demikian, mengeksplorasi berbagai variasi proporsi bahan baku memungkinkan para produsen untuk membuat pupuk cair yang sangat spesifik dan sesuai dengan kebutuhan tanaman. Namun, fleksibilitas dalam berinovasi ini harus tetap berlandaskan pada prinsip-prinsip dasar kesetimbangan unsur hara dan kondisi lingkungan fermentasi yang mendukung.

Penambahan Effective Microorganisms 4 (EM4) dengan dosis tiga persen dari total campuran bahan berperan sebagai katalisator biologis yang sangat penting dalam mempercepat proses penguraian material organik selama fermentasi. Konsentrasi EM4 yang telah ditetapkan ini bertujuan untuk menyediakan populasi awal mikroba fermentatif, termasuk bakteri fotosintetik dan lactobacillus, dalam jumlah yang cukup untuk memulai proses dekomposisi dengan efektif. Variasi yang diterapkan pada komposisi bahan baku, seperti mengubah porsi ampas tahu atau kulit pisang, akan mempengaruhi tingkat efektivitas dari konsorsium mikroba yang terdapat di dalam EM4 tersebut. Sebagai ilustrasi, apabila persentase molase dikurangi secara signifikan, maka suplai karbon yang mudah dicerna oleh mikroba akan menipis, sehingga berisiko memperlambat laju metabolisme dan memperpanjang durasi fermentasi yang diperlukan.

Sebuah penelitian yang dilakukan oleh Handayani dan Prasetyo (2020) menyimpulkan bahwa aktivitas metabolik mikroba dalam EM4 sangat dipengaruhi oleh ketersediaan substrat yang seimbang, baik sebagai sumber energi maupun sebagai bahan baku untuk sintesis sel. Penggunaan inokulan EM4 dengan konsentrasi yang lebih rendah dari tiga persen dapat mengakibatkan dekomposisi yang tidak merata dan berpotensi memunculkan organisme patogen yang dapat mengganggu proses. Sebaliknya, penambahan EM4 secara berlebihan di beyond tiga persen tidak serta merta menghasilkan produk yang lebih unggul dan justru dapat menimbulkan ketidak-efisienan dari segi biaya produksi. Dalam sebuah skenario variasi komposisi dimana kulit pisang digunakan dalam porsi besar, diperlukan stabilitas populasi mikroba selulolitik dari EM4 untuk mendegradasi senyawa kompleks seperti selulosa dan pektin.

Sementara itu, pada campuran yang didominasi oleh ampas tahu, peran bakteri asam laktat dari EM4 menjadi krusial untuk menstabilkan derajat keasaman (pH) dan mencegah terjadinya pembusukan bahan. Menurut temuan Widyastuti dkk. (2019), keberhasilan fermentasi pupuk cair tidak hanya ditentukan oleh komposisi bahan organiknya, tetapi juga oleh kepadatan dan diversitas inokulan mikroba yang diperkenalkan ke dalam sistem. Oleh karena itu, dalam merancang berbagai variasi komposisi, faktor-faktor seperti rasio C/N dari campuran dan kompatibilitasnya dengan kebutuhan konsorsium EM4 harus menjadi bahan pertimbangan yang mendalam. Pemantauan parameter kunci seperti suhu lingkungan dan perubahan pH selama masa fermentasi pada setiap variasi formula dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai kinerja mikroba EM4. Hasil akhir yang dituju dari setiap percobaan variasi adalah terciptanya pupuk yang benar-benar matang, yang dicirikan dengan warna coklat tua yang pekat, aroma fermentatif yang khas, serta kandungan nutrisi yang telah terurai

dengan sempurna dan siap untuk dimanfaatkan oleh tanaman. Dengan pemahaman mendalam mengenai interaksi sinergis antara komposisi bahan dan dosis inokulan EM4, produsen dapat menyempurnakan proses fermentasi untuk secara konsisten menghasilkan pupuk cair yang berkualitas tinggi.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, variasi dosis EM4 merupakan faktor penting dalam menentukan keberhasilan fermentasi pupuk cair organik berbahan limbah ampas tahu. EM4 sendiri mengandung mikroorganisme efektif seperti *Lactobacillus sp.*, *Saccharomyces sp.*, *Streptomyces sp.*, serta bakteri fotosintetik yang bekerja secara sinergis dalam mempercepat proses dekomposisi bahan organik menjadi senyawa sederhana yang mudah diserap tanaman. Dalam karya tulis ini, digunakan dosis 3% EM4 dari total keseluruhan bahan (ampas tahu, kulit pisang, molase, dan air). Dosis ini dipilih karena terbukti mampu mempercepat proses fermentasi sekaligus menjaga stabilitas pH, sehingga pupuk cair yang dihasilkan memiliki ciri-ciri kualitas baik, yakni berwarna coklat tua, tidak berbau menyengat, serta memiliki kandungan unsur hara makro (N, P, K) yang seimbang.

Studi literatur mendukung bahwa dosis EM4 yang optimal memang berkisar pada 2-5% dari total bahan fermentasi. Menurut Meriatna et al. (2018), peningkatan dosis EM4 dalam jumlah moderat mampu meningkatkan kandungan nitrogen, fosfor, dan kalium, serta menstabilkan nilai pH pupuk organik cair. Namun, apabila dosis yang diberikan terlalu tinggi, aktivitas mikroba menjadi tidak terkendali sehingga fermentasi berjalan terlalu cepat dan menghasilkan kondisi anaerob yang memicu bau busuk serta penurunan mutu pupuk. Nisa et al. (2025) juga menemukan bahwa pemberian EM4 setara 50 ml dalam skala kecil (sekitar 3% dari total bahan) selama 8 hari fermentasi menghasilkan pupuk cair dengan kandungan nitrogen 0,99% dan fosfor 0,0258%, sesuai dengan standar Peraturan Menteri Pertanian No. 261/KPTS/SR.310/M/4/2019. Sementara itu, Manuputty et al. (2012) menegaskan bahwa penggunaan EM4 efektif mempercepat laju dekomposisi bahan organik hingga 28 hari, dengan nisbah C/N 11,56 serta kandungan nitrogen 2,91% dan kalium 553,67 mg/100 g yang memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) pupuk organik No. 19-7030-2004.

Dengan mempertimbangkan hasil penelitian dan referensi literatur tersebut, dapat disimpulkan bahwa dosis 3% EM4 merupakan dosis yang paling ideal dalam pembuatan pupuk cair organik dari ampas tahu. Dosis ini cukup untuk mengaktifkan populasi mikroba dekomposer tanpa menyebabkan kelebihan aktivitas yang justru merugikan proses fermentasi. Pupuk cair yang dihasilkan dengan dosis ini memenuhi kriteria kualitas yang baik, yakni memiliki kadar unsur hara makro sesuai standar, pH relatif netral, dan bau yang lebih netral. Dengan demikian, pemilihan dosis EM4 sebesar 3% tidak hanya efektif dalam menghasilkan pupuk cair berkualitas tinggi, tetapi juga efisien secara biaya karena tidak menggunakan bioaktivator dalam jumlah berlebihan. Hal ini menjadikan inovasi pupuk cair organik berbasis limbah ampas tahu dan EM4 sebagai solusi tepat guna bagi pertanian berkelanjutan

Waktu yang diperlukan untuk fermentasi adalah hal yang sangat penting untuk menentukan apakah Pupuk Organik Cair (POC) sudah matang, stabil, dan memiliki nutrisi yang baik. Berdasarkan data yang ada, POC dari penelitian ini cepat matang, hanya butuh waktu 14 hari untuk mencapai ciri-ciri fisik yang ideal, seperti warna Coklat Kekuningan dan bau Manis. Standar resmi dari Permentan Nomor 261/2019 memberikan batas waktu yang antara 7 sampai 21 hari, dengan saran untuk mengoptimalkan hingga hari ke-21. Waktu fermentasi yang sangat cepat 7-14 hari dalam percobaan ini adalah bukti kuat bahwa kombinasi bahan baku yang sangat bergizi limbah ampas tahu, kulit pisang, ditambah EM4 sebagai starter, dan molase sebagai makanan mikroba benar-benar efektif

dalam mempercepat proses pembusukan. Molase menyediakan gula yang mudah dimakan, membuat bakteri EM4 bekerja jauh lebih cepat daripada proses pembusukan alami (Sari et al., 2020). Ampas tahu yang kaya protein dan kulit pisang yang kaya kalium menjadi bahan bakar yang melimpah, sehingga mikroba tidak perlu waktu lama untuk beradaptasi dan langsung bekerja.

Fermentasi adalah proses di mana mikroba baik dari EM4 memecah materi organik kompleks (seperti protein dalam ampas tahu dan serat dalam kulit pisang) menjadi zat sederhana yang bisa langsung diserap tanaman. Waktu fermentasi yang tepat (7 hingga 21 hari menurut Permentan) sangat krusial agar semua nutrisi penting bisa terlepas dari bahan baku dan tersedia bagi tanaman. Jika terlalu singkat (misalnya kurang dari 7 hari), materi belum terurai sempurna, dan pupuk bisa tidak stabil, bahkan beracun bagi tanaman (fitotoksik). Namun, jika fermentasi terlalu lama (lebih dari 21 hari), nutrisi penting seperti nitrogen bisa hilang menguap atau justru dimakan lagi oleh mikroba, menyebabkan kandungan nutrisi menurun (Hidayat & Sumarni, 2017). Menemukan waktu yang pas adalah kunci untuk memastikan POC memiliki nutrisi yang maksimal dan tidak terbuang sia-sia.

Meskipun POC ini sudah menunjukkan kematangan fisik dalam waktu kurang dari 10 hari ditandai dengan bau manis yang muncul karena aktivitas ragi dan bakteri asam laktat dari EM4 (Taufiq et al., 2019) kematangan sejati harus diuji dari sisi kimia. Indikator paling penting adalah Rasio C/N (Karbon per Nitrogen). POC yang benar-benar matang harus memiliki Rasio C/N yang rendah (sebaiknya di bawah 15). Jika C/N masih tinggi, nitrogen yang kita harapkan jadi nutrisi tanaman justru akan ditahan oleh mikroba saat diaplikasikan ke tanah (immobilization) (Suhartono & Budiyanto, 2018). Oleh karena itu, perpanjangan waktu fermentasi hingga 21 hari (seperti yang dilakukan pada tahap optimalisasi) sangat mungkin diperlukan. Tujuannya adalah memberi waktu ekstra kepada EM4 untuk menuntaskan penurunan Rasio C/N, memastikan bahwa senyawa yang berpotensi menghambat pertumbuhan sudah hilang, dan POC benar-benar aman dan efektif.

Ketetapan Permentan Nomor 261/2019 yang menetapkan batas waktu maturasi 7-21 hari adalah standar keamanan dan mutu. Adanya perbedaan antara hasil awal penelitian (kurang dari 10 hari) dan target optimalisasi (21 hari) menunjukkan bahwa peneliti mengutamakan stabilitas biokimia jangka panjang, bukan hanya tampilan fisik yang cepat. Fermentasi yang diperpanjang hingga 21 hari memberikan kesempatan bagi mikroba EM4 untuk menstabilkan kandungannya. Proses ini sangat penting untuk menstabilkan derajat keasaman (pH) POC mendekati netral, yang krusial agar tanaman bisa menyerap nutrisi dengan efisien saat pupuk diaplikasikan (Wibowo et al., 2021). Dengan mematuhi batas maksimal Permentan, peneliti memastikan bahwa POC sudah bebas dari senyawa berbahaya (fitotoksin) dan siap memberikan manfaat maksimal tanpa merusak tanaman.

Sebagai kesimpulan, inovasi POC dari ampas tahu dan EM4 ini berhasil membuktikan bahwa proses produksi bisa dilakukan dengan cepat (kurang dari 10 hari) berkat sinergi bahan yang digunakan. Kecepatan ini menjadikannya teknologi yang efisien. Namun, untuk memastikan kualitas nutrisi yang stabil dan memenuhi semua standar Permentan terutama untuk Rasio C/N dan pH yang aman tahap optimalisasi dengan waktu hingga 21 hari adalah langkah yang bijaksana dan berbasis ilmu pengetahuan. Strategi ini memastikan bahwa POC tidak hanya dibuat cepat, tetapi juga efektif dalam jangka panjang untuk mendukung pertanian yang berkelanjutan (Sutanto, 2016). Dengan demikian, POC ini menawarkan solusi yang ramah lingkungan sekaligus menjamin peningkatan produktivitas tanaman

**Tabel 1 : Perbedaan Indikator SNI Hasil Experimen dan Studi Literatur**

<b>Parameter</b>	<b>Hasil Pupuk Cair EM4 dan Ampas Tahu</b>	<b>Standar SNI Menurut SNI 19-7030-2004 / Permentan No. 261/2019</b>	<b>Keterangan</b>
<b>Warna</b>	Coklat Tua Kekuningan	Coklat Tua Kekuningan	Sesuai Kriteria SNI
<b>Bau</b>	Tidak Berbau Busuk, namun Berbau Manis	Tidak Berbau Busuk	Sesuai Kriteria SNI
<b>Lama Fermentasi</b>	Kurang dari 10 Hari	7-21 Hari	Sesuai Kriteria SNI Dengan Optimalisasi 21 Hari



Berdasarkan hasil eksperimen, pupuk cair organik dari limbah ampas tahu dengan bioaktivator EM4 menunjukkan kualitas yang sudah sejalan dengan parameter mutu pupuk organik cair menurut SNI 19-7030-2004 maupun Peraturan Menteri Pertanian No. 261/KPTS/SR.310/M/4/2019. Dari aspek fisik, warna pupuk cair yang diperoleh adalah coklat kekuningan. Standar SNI mensyaratkan pupuk cair memiliki warna coklat, yang menunjukkan proses dekomposisi bahan organik sudah berjalan sempurna. Perbedaan warna hasil penelitian yang lebih muda (coklat kekuningan) masih dapat diterima karena menunjukkan fermentasi berlangsung baik, meski belum sepenuhnya menghasilkan senyawa humat yang memberikan warna coklat pekat. Menurut Manuputty et al. (2012), perubahan warna menjadi coklat tua biasanya terjadi pada fase fermentasi lanjutan, ketika lignoselulosa dan protein terdegradasi sempurna. Dengan demikian, hasil ini tetap sesuai kriteria meskipun masih dapat dioptimalkan dengan memperpanjang waktu fermentasi.

Dari aspek aroma, pupuk cair hasil penelitian memiliki bau manis dan tidak menyengat. Hal ini sesuai dengan ketentuan SNI bahwa pupuk organik cair tidak boleh berbau busuk atau menyengat karena bau busuk menandakan adanya proses pembusukan anaerob yang tidak diinginkan. Bau manis menunjukkan adanya aktivitas mikroorganisme fermentatif dari EM4, seperti *Lactobacillus* dan *Saccharomyces*, yang mengubah gula dari molase menjadi asam organik dan alkohol sederhana. Temuan ini sejalan dengan pendapat Pradiksa (2022) yang menyatakan bahwa aroma asam segar atau manis merupakan tanda fermentasi aerobik yang sehat, berbeda dengan bau busuk yang identik dengan dominasi mikroba patogen dan produksi amonia berlebihan. Dengan demikian, indikator bau dari penelitian ini sudah sepenuhnya sesuai dengan standar mutu.

Parameter lama fermentasi, penelitian menunjukkan bahwa pupuk cair sudah terbentuk dalam waktu kurang dari 10 hari, sedangkan SNI merekomendasikan rentang waktu 7–21 hari. Artinya, penggunaan bioaktivator EM4 dalam penelitian ini mempercepat proses fermentasi, karena konsorsium mikroorganisme efektif di dalamnya mampu segera mendegradasi bahan organik kompleks menjadi senyawa sederhana yang larut air. Meriatna et al. (2018) juga membuktikan bahwa volume EM4 yang tepat dapat mempercepat dekomposisi sehingga pupuk cair siap digunakan lebih cepat dibanding fermentasi alami tanpa bioaktivator. Meski begitu, untuk mencapai kestabilan unsur hara makro (N, P, K), disarankan proses fermentasi tetap dilakukan hingga mendekati 21 hari agar pupuk benar-benar matang dan konsisten kualitasnya.

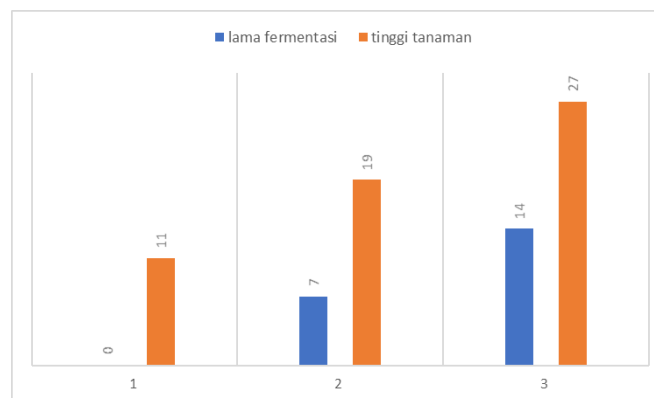
Secara keseluruhan, hasil eksperimen menunjukkan bahwa pupuk cair ampas tahu dengan bioaktivator EM4 sudah sesuai dengan standar SNI dan Permentan 2019 dari segi fisiknya. Warna, bau, dan lama fermentasi berada dalam kisaran yang diterima. Hal ini membuktikan bahwa inovasi pupuk cair ini berhasil secara praktis.

**Tabel 2 : Perbandingan pertumbuhan tinggi tanaman terhadap waktu fermentasi**

Lama waktu fermentasi (hari)	Tinggi tanaman hari ke-1	Tinggi tanaman hari ke-10	Keterangan
0 hari (tidak diberi pupuk cair)	8 cm	11 cm	Pertumbuhan tinggi lambat 
7 hari	9 cm	19 cm	Pertumbuhan tinggi cepat 
14 hari	8 cm	27 cm	Pertumbuhan tinggi paling cepat



**Gambar 1. : Perbandingan pertumbuhan tinggi tanaman**



**Gambar 2. : Diagram perbandingan tinggi tanaman terhadap lama fermentasi**

Uji kualitas pupuk organik cair (POC) dilakukan dengan menggunakan tiga tanaman dengan satu tanaman tidak ditambahkan pupuk organik cair dan dua tanaman diberikan pupuk organik cair dengan lama waktu fermentasi yang berbeda. Berdasarkan hasil eksperimen menunjukkan bahwa kualitas pupuk organik cair tidak hanya dipengaruhi oleh perbandingan bahan yang tepat, tetapi juga lama waktu fermentasi. Perlakuan tanaman tanpa diberikan pupuk organik cair akan memiliki pertumbuhan yang lambat dibandingkan dengan dua tanaman lain yang diberi tambahan pupuk cair. Pada tanaman yang diberikan penambahan pupuk organik cair dengan waktu fermentasi selama 6 hari memiliki hasil pertumbuhan tinggi tanaman yang lebih cepat dari pada tanaman tanpa tambahan POC. Hasil berbeda didapatkan pada tanaman yang diberikan

POC dengan lama waktu fermentasi 14 hari yaitu pertumbuhan tinggi tanaman lebih cepat dibandingkan dengan dua tanaman lainnya.

Hasil eksperimen tersebut menunjukkan bahwa lama waktu fermentasi memiliki pengaruh penting terhadap kualitas pupuk organik dan pertumbuhan tanaman, tidak hanya dipengaruhi oleh perbandingan komposisi yang tepat pada bahan. Proses fermentasi terlalu singkat menyebabkan bahan organik belum sepenuhnya terdekomposisi atau terurai menjadi senyawa yang lebih sederhana. Proses dekomposisi yang tidak sempurna menyebabkan pupuk masih mengandung senyawa kompleks seperti protein kasar dan lemak yang diserap oleh akar. Kandungan unsur hara makro (N, P, K) menjadi rendah pada kondisi tersebut, sehingga pertumbuhan terhambat (Sutanto, 2002). Fermentasi pupuk yang optimal dapat menghasilkan kandungan makro pada pupuk menjadi tinggi serta terdapat mikroorganisme aktif yang menguntungkan. Kandungan nitrogen pada pupuk hasil fermentasi berperan penting dalam pembentukan klorofil dan pertumbuhan batang, sehingga pengaruhnya langsung terhadap tinggi tanaman (Lingga & Marsono, 2008).

Berdasarkan hasil uji pertumbuhan tanaman, terlihat bahwa pupuk cair organik hasil fermentasi selama 14 hari memberikan pertumbuhan terbaik dibandingkan waktu fermentasi lainnya. Hal ini dapat dijelaskan karena pada masa fermentasi tersebut, aktivitas mikroorganisme dalam EM4 berada pada fase puncak. Mikroba seperti *Lactobacillus* sp., *Saccharomyces* sp., dan bakteri fotosintetik sedang aktif menguraikan bahan organik kompleks seperti protein dan karbohidrat dari ampas tahu serta serat dari kulit pisang menjadi senyawa sederhana yang mudah diserap tanaman. Pada fase ini juga terjadi peningkatan kadar nitrogen dan kalium dalam larutan, yang sangat berperan dalam pembentukan klorofil serta pertumbuhan vegetatif tanaman. Namun, apabila fermentasi dilakukan terlalu lama, misalnya lebih dari 21 hari, aktivitas mikroba akan menurun karena ketersediaan substrat berkurang, sehingga kandungan unsur hara dapat menurun akibat digunakan kembali oleh mikroorganisme. Kondisi ini sesuai dengan teori fase pertumbuhan mikroba, di mana fase stasioner ditandai dengan berkurangnya laju produksi metabolit (Fahrudin & Sulfahri, 2019). Oleh karena itu, hasil terbaik pada fermentasi 14 hari menunjukkan keseimbangan optimal antara aktivitas mikroba dan kestabilan unsur hara yang dihasilkan.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dalam karya tulis ilmiah berjudul Inovasi Pupuk Cair Organik Limbah Ampas Tahu dengan Bioaktivator EM4 sebagai Solusi Pertanian Berkelanjutan, dapat disimpulkan bahwa:

- a. Pemanfaatan limbah ampas tahu sebagai bahan baku pupuk cair organik (POC) terbukti efektif karena memiliki kandungan protein, karbohidrat, dan mineral tinggi yang berperan penting dalam penyediaan unsur hara makro (N, P, K) bagi tanaman.
- b. Penambahan bioaktivator EM4 dengan dosis optimal sebesar 3% dari total bahan campuran (ampas tahu, kulit pisang, molase, dan air) mampu mempercepat proses fermentasi, menstabilkan pH, dan meningkatkan kandungan unsur hara tanpa menimbulkan bau busuk.
- c. Pupuk cair yang dihasilkan memenuhi standar mutu SNI 19-7030-2004 dan Permentan No. 261/KPTS/SR.310/M/4/2019, ditandai dengan warna coklat kekuningan, aroma manis tidak menyengat, serta waktu fermentasi kurang dari 10 hari.

- d. Inovasi ini memberikan solusi berkelanjutan terhadap dua masalah utama: pengelolaan limbah organik industri tahu dan ketergantungan petani terhadap pupuk kimia yang mahal. Dengan demikian, pupuk cair berbasis ampas tahu dan EM4 dapat menjadi alternatif pupuk ramah lingkungan yang ekonomis, efisien, serta mendukung prinsip circular economy dalam pertanian berkelanjutan.
- e. Inovasi ini layak dikembangkan dalam skala lebih luas sebagai model pengelolaan limbah organik berbasis masyarakat.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Akbari, R., Siregar, M., & Lubis, A. (2015). Analisis kandungan unsur hara pupuk organik cair dari kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca* L.). *Jurnal Agroekoteknologi*, 4(2), 112–119.
- Badan Pusat Statistik (BPS). (2023) *Produk Domestik Bruto Indonesia Menurut Lapangan Usaha 2019–2023*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2019) *Peraturan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 tentang Persyaratan Teknis Minimal Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenh Tanah*. Jakarta: Kementerian Pertanian RI.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2004) *SNI 19-7030-2004: Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik*. Jakarta: BSN.
- Hidayat, S., & Sumarni, W. (2017). Pengaruh Lama Fermentasi dan Konsentrasi EM4 terhadap Kualitas Pupuk Organik Cair (POC) dari Limbah Sayuran. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 6(1), 1-8.
- Lingga, P., & Marsono. (2008). *Petunjuk Penggunaan Pupuk*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Nasution, T. (2013). Analisis pupuk organik dari kulit pisang kepok di Laboratorium Riset dan Teknologi Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara. *Jurnal Pertanian Tropika*, 1(1), 45–51.
- Nurhayati. (2021). Peningkatan kualitas ampas tahu melalui fermentasi menggunakan *Trichoderma viride* dan *Saccharomyces cerevisiae*. *Jurnal Teknologi dan Industri Hasil Pertanian*, 16(2), 75–82.
- Peraturan Menteri Pertanian Nomor 261 Tahun 2019 tentang Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenh Tanah. Jakarta: Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Purbaningrum, R. (2019). Pemanfaatan ampas tahu sebagai bahan pangan dan pakan ternak. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 30(2), 85–92.
- Putri, N., Wulandari, R., & Prasetyo, H. (2022). Pemanfaatan limbah kulit pisang sebagai bahan baku pupuk organik cair untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman hortikultura. *Jurnal Inovasi Pertanian Berkelanjutan*, 7(3), 78–86.
- Sari, F. P., Hartanto, D., & Prasetyo, A. (2020). Pemanfaatan Ampas Tahu dan Kulit Pisang sebagai Pupuk Organik Cair dengan Bioaktivator Effective Microorganisms 4 (EM4). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 14(2), 123-130.
- Suhartono, E., & Budiyanto, M. S. (2018). Kajian Kualitas Pupuk Organik Cair Limbah Tahu Ditinjau dari Rasio C/N dan pH. *Jurnal Ilmu Pertanian*, 23(1), 50-57.
- Supriyono, H. (2021). Kajian kandungan nutrisi ampas tahu sebagai bahan baku pakan dan pupuk organik. *Jurnal Agroteknologi*, 12(1), 45–53.
- Sutanto, R. (2002). *Pertanian Organik: Menuju Pertanian Alternatif dan Berkelanjutan*. Jakarta: Kanisius.
- Sutanto, R. (2016). *Pertanian Organik: Menuju Pertanian Berkelanjutan*. Edisi Revisi. Yogyakarta: Kanisius.

- Taufiq, A., Widiastuti, R., & Suhartini, S. (2019). Pengaruh Konsentrasi Molase dan Waktu Fermentasi Terhadap Kandungan Hara Pupuk Organik Cair dari Limbah Sayuran Pasar. *Jurnal Agroteknologi*, 13(2), 101-108.
- Triyanto, A., & Pratama, D. (2020). Pupuk organik cair sebagai alternatif ramah lingkungan dalam meningkatkan produktivitas tanaman pangan. *Jurnal Agroteknologi Tropika*, 9(1), 33-40.
- Wibowo, A., Setyorini, E., & Kurniawan, A. (2021). Optimasi Dosis EM4 dan Lama Fermentasi pada Pembuatan Pupuk Organik Cair dari Limbah Ikan dan Sayuran terhadap Stabilitas pH. *Jurnal Rekayasa Proses*, 15(1), 35-42.
- Yudono, P., & Priyono, B. (2015). Efektivitas Bioaktivator Lokal dan EM4 dalam Mempercepat Proses Dekomposisi Limbah Organik Sebagai Bahan Dasar POC. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 17(2), 101-108.
- Fahrudin, M., & Sulfahri. (2019). Aktivitas mikroba dan dinamika fermentasi bahan organik dalam pembuatan pupuk cair menggunakan EM4. *Jurnal Bioteknologi dan Sains*, 7(2), 55-63.
- Santoso, P., & Nugraha, D. (2023). Efektivitas kombinasi bioaktivator EM4 dan limbah tahu terhadap kualitas pupuk organik cair. *Jurnal Inovasi Agroindustri*, 11(1), 33-42.
- Ramadhani, T., & Wulandari, E. (2022). Perbandingan efektivitas pupuk organik cair dan pupuk kimia terhadap pertumbuhan tanaman hortikultura. *Jurnal Agrotek*, 10(2), 88-95.
- Prasetyo, D., & Widyaningsih, R. (2021). Penerapan konsep ekonomi sirkular dalam pengelolaan limbah organik untuk pertanian berkelanjutan. *Jurnal Ekologi dan Inovasi Lingkungan*, 8(3), 45-54.
- Rahmadani, A., & Hidayat, S. (2020). Pengaruh pH dan lama fermentasi terhadap kualitas pupuk organik cair berbasis limbah pertanian. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 21(1), 12-20.
- Arifin, R., & Setiawan, B. (2021). Analisis kandungan unsur hara pupuk organik cair dari limbah tahu dengan variasi waktu fermentasi. *Jurnal Agro Lestari*, 9(2), 65-73.