

PENGARUH PENAMBAHAN KULIT PISANG TERHADAP KANDUNGAN N, P, K DAN C-ORGANIK PUPUK ORGANIK CAIR DARI LIMBAH TAHU

Maulana Habib Wicaksono^{1*}, Dwi Astuti²

Kesehatan Masyarakat, Ilmu Kesehatan, Universitas Muhammadiyah Surakarta^{1,2}

*Corresponding Author: j410210092@student.ums.ac.id

ABSTRAK

Inovasi dalam pengelolaan limbah organik melalui pembuatan pupuk organik cair (POC) merupakan langkah penting dalam mendukung pertanian berkelanjutan dan mengurangi pencemaran lingkungan. Limbah cair tahu dan kulit pisang, yang kaya akan kandungan hara, menawarkan potensi besar sebagai bahan baku POC yang berkualitas. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efek variasi jumlah kulit pisang terhadap kandungan unsur hara makro (N, P, K) serta karbon organik dalam POC yang dihasilkan dari fermentasi limbah cair tahu, serta membandingkannya dengan standar mutu SNI 7863:2024. Penelitian ini menggunakan desain posttest-only control design dengan empat perlakuan (P1 hingga P4) yang berbeda jumlah kulit pisangnya, dengan masing-masing perlakuan diulang tiga kali. Proses fermentasi dilakukan selama 10 hari dengan EM4 sebagai aktivator. Berdasarkan hasil uji ANOVA, penambahan kulit pisang menunjukkan pengaruh signifikan terhadap kandungan nitrogen ($p = 0,000$), fosfor ($p = 0,000$), dan kalium ($p = 0,001$), serta adanya tren peningkatan pada karbon organik ($p = 0,093$). Perlakuan terbaik pada P2 menghasilkan kadar N 0,213%, P 0,924%, dan K 0,551%, yang melebihi standar minimum yang ditetapkan oleh SNI 7863:2024.

Kata kunci: limbah organik, fermentasi, unsur hara, pupuk cair organik, limbah tahu, kulit pisang

ABSTRACT

Innovation in organic waste management through the production of liquid organic fertilizer (POC) is a crucial step in supporting sustainable agriculture and reducing environmental pollution. Tofu wastewater and banana peels, which are rich in nutrients, offer great potential as quality raw materials for POC. This study aims to evaluate the effects of varying amounts of banana peels on the macro-nutrient (N, P, K) and organic carbon content in POC produced from the fermentation of tofu wastewater and to compare the results with the quality standards of SNI 7863:2024. The study used a posttest-only control design with four different treatments (P1 to P4) with varying amounts of banana peels, each repeated three times. The fermentation process was carried out for 10 days using EM4 as an activator. Based on the ANOVA test results, the addition of banana peels significantly affected nitrogen ($p = 0.000$), phosphorus ($p = 0.000$), and potassium ($p = 0.001$) content, with a trend of increase in organic carbon ($p = 0.093$). The best treatment, P2, resulted in N 0.213%, P 0.924%, and K 0.551%, all exceeding the minimum standards set by SNI 7863:2024.

Kata kunci: organic waste, fermentation, macronutrients, liquid organic fertilizer, tofu wastewater, banana peels

PENDAHULUAN

Permasalahan limbah cair di Indonesia masih menjadi tantangan besar dalam pengelolaan lingkungan, terutama pada sektor industri rumah tangga. Salah satu limbah yang cukup signifikan adalah limbah cair tahu, yang berasal dari proses produksi tahu yang melibatkan perendaman, penggilingan, perebusan, dan penyaringan kedelai. Limbah ini memiliki kandungan organik tinggi, termasuk protein, karbohidrat, dan lemak (Sutrisno et al., 2014)

Karakteristik tersebut menyebabkan limbah tahu memiliki nilai Biochemical Oxygen Demand (BOD) dan Chemical Oxygen Demand (COD) yang tinggi, serta berpotensi mencemari badan air, menurunkan kualitas tanah, dan menimbulkan bau tidak sedap akibat aktivitas mikroba anaerobik (Indriani et al., 2020; Safitri & Kurniawan, 2019). Pencemaran yang terjadi tidak hanya berdampak pada degradasi ekosistem perairan, tetapi juga berisiko terhadap kesehatan masyarakat sekitar.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mencoba mengelola limbah cair tahu dengan mengubahnya menjadi pupuk organik cair (POC) melalui proses fermentasi. Studi-studi tersebut umumnya menunjukkan bahwa limbah tahu mengandung unsur hara penting seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), yang bermanfaat bagi tanaman (Wandira & Kartika, 2024). Kandungan protein 40–60%, karbohidrat 25–50%, dan lemak 10% dalam limbah tahu mendukung fermentasi dengan bioaktivator seperti EM4 dan gula (Liandari, 2017; Rasmito et al., 2019). Meski demikian, penelitian-penelitian terdahulu seperti oleh Nugroho et al. (2021) dan Sari et al. (2020) masih terbatas pada penggunaan limbah tahu sebagai bahan tunggal, serta hanya fokus pada pengaruh lama fermentasi atau aplikasinya terhadap pertumbuhan tanaman tertentu. Belum banyak penelitian yang secara komprehensif mengkaji peningkatan kualitas pupuk melalui penambahan bahan organic lain, ataupun mengevaluasi kandungan karbon organik (C-organik) yang penting untuk perbaikan struktur tanah dan ketersediaan hara jangka panjang.

Sebagai respons terhadap keterbatasan tersebut, perlu dikembangkan pendekatan yang lebih integratif dalam pengolahan limbah tahu, khususnya dengan memanfaatkan limbah organik rumah tangga lain yang potensial, seperti kulit pisang. Kulit pisang mengandung senyawa gula sederhana, enzim, dan mineral seperti kalium dan magnesium yang mendukung aktivitas mikroorganisme selama fermentasi (Hati et al., 2018). Selain itu, kandungan kalium tinggi pada kulit pisang berperan penting dalam pembentukan bunga dan buah tanaman (Sneha et al., 2018). Penelitian oleh Astuti et al. (2020) menunjukkan bahwa kulit pisang dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar pupuk cair, namun belum banyak dikombinasikan secara sistematis dengan limbah tahu. Sementara itu, studi oleh Fasusi et al. (2021) menyebutkan bahwa kombinasi bahan organik seperti ini berpotensi meningkatkan efisiensi fermentasi dan kandungan hara, tetapi belum secara spesifik meneliti variasi komposisi atau dampaknya terhadap unsur C-organik. Proses fermentasi gabungan antara limbah tahu dan kulit pisang juga meningkatkan efisiensi C-organik dan kualitas akhir pupuk cair (O. A. Fasusi, Akinyemi, et al., 2021). Studi lain menunjukkan bahwa pemanfaatan sampah organik rumah tangga dapat dilakukan dengan pendekatan sederhana melalui fermentasi menggunakan bahan lokal, sehingga meningkatkan kandungan unsur hara seperti N, P, dan K. Inovasi pengolahan limbah seperti ini menjadi bagian penting dari upaya edukasi masyarakat dalam menjaga lingkungan dan menciptakan nilai tambah dari limbah.

Berdasarkan celah penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi dosis kulit pisang terhadap kandungan unsur hara utama yaitu nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), dan karbon organik (C-organik) dalam pupuk organik cair hasil fermentasi limbah cair tahu. Pendekatan ini tidak hanya ditujukan untuk meningkatkan efektivitas pengolahan limbah, tetapi juga sebagai upaya pemanfaatan limbah secara terpadu dan berkelanjutan. Penelitian ini juga menekankan pentingnya analisis C-organik yang selama ini luput dari perhatian sebagian penelitian terdahulu, padahal merupakan indikator kunci dalam kesuburan tanah dan kualitas pupuk organik. Selain itu, untuk mendukung validitas proses fermentasi dan memastikan kestabilan lingkungan mikroba selama fermentasi, penelitian ini juga melakukan pengamatan suhu dan pH setiap harinya. Pemantauan ini menjadi langkah penting yang belum banyak dilakukan dalam penelitian serupa, padahal fluktuasi suhu dan pH sangat memengaruhi efektivitas aktivitas mikroorganisme dalam dekomposisi bahan organik.

Penelitian ini dilaksanakan di Kecamatan Cepu, Kabupaten Blora, Jawa Tengah. Pemilihan lokasi didasarkan pada tingginya jumlah industri tahu skala rumah tangga yang menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar, namun belum memiliki sistem pengolahan limbah yang memadai. Oleh karena itu, wilayah ini dipandang strategis untuk penerapan teknologi pengolahan limbah yang aplikatif dan berbasis potensi lokal. Diharapkan, hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan formulasi pupuk organik cair yang ramah lingkungan dan sesuai dengan standar mutu SNI 7863:2024, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui suhu dan pH pada proses fermentasi serta kandungan unsur hara N, P, K dan C-Organik.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode quasi-experimental, serta menerapkan desain Posttest-Only Control Group Design. Desain ini dipilih karena sesuai untuk mengkaji efek perlakuan terhadap variabel hasil tanpa perlu melakukan pengukuran awal (pretest), sehingga fokus dapat diarahkan langsung pada pengaruh variasi perlakuan terhadap kualitas pupuk organik cair (POC) yang dihasilkan. Desain Posttest-Only Control dipandang relevan untuk eksperimen berbasis fermentasi limbah organik karena memungkinkan pengamatan komparatif antara kelompok kontrol dan kelompok perlakuan berdasarkan data akhir hasil fermentasi. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2025 di Kecamatan Cepu, Kabupaten Blora, Jawa Tengah. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode quasi-experimental dan desain Posttest-Only Control Design.

Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan tiga perlakuan dan tiga kali ulangan. Perlakuan terdiri atas tiga variasi penambahan kulit pisang per liter limbah cair tahu, yaitu: 50 gram (perlakuan 1), 100 gram (perlakuan 2), dan 150 gram (perlakuan 3). Teknik quota sampling digunakan untuk menentukan jumlah sampel, dengan total bahan sebanyak 9 liter limbah cair tahu dan 900 gram kulit pisang. Setiap perlakuan diulang sebanyak tiga kali, sehingga diperoleh sembilan unit sampel untuk dianalisis. Fermentasi dilakukan dalam wadah tertutup (jerigen atau ember plastik) selama 7-14 hari di tempat yang tidak terkena sinar matahari langsung untuk menjaga kestabilan suhu dan menciptakan lingkungan anaerob. Komposisi bahan tambahan yang digunakan pada setiap perlakuan adalah EM4 sebanyak 30 mL, gula pasir sebanyak 30 gram, air kelapa sebanyak 4 mL, dan air bersih sebanyak 500 mL. Selama fermentasi, dilakukan pengamatan harian terhadap suhu dan pH untuk memantau kestabilan proses. Pengukuran suhu dilakukan menggunakan Taffware Digital Thermometer, sedangkan pH diukur menggunakan pH meter digital. Pengamatan ini bertujuan untuk memastikan kondisi optimal bagi aktivitas mikroorganisme, karena suhu ideal untuk fermentasi berkisar antara 28–32°C dan pH asam antara 3,1–3,7 mendukung pembentukan asam organik dan dekomposisi senyawa kompleks (Wang et al., 2020). Fermentasi dianggap berhasil apabila muncul aroma khas seperti tape, yang menandakan aktivitas mikroba berlangsung optimal.

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi harian selama proses fermentasi, yang mencakup pemantauan suhu dan pH sebagai indikator dinamika aktivitas mikroorganisme. Selain itu, dilakukan pengamatan terhadap karakteristik organoleptik seperti bau khas fermentasi untuk menentukan titik akhir fermentasi. Proses fermentasi dianggap selesai pada hari ke-10, saat kondisi suhu dan pH menunjukkan kestabilan serta karakteristik organoleptik sesuai standar fermentasi matang.

Setelah fermentasi dinyatakan selesai, pupuk organik cair (POC) hasil perlakuan kemudian dikirim ke laboratorium Badan Standardisasi Instrumen Pertanian (BSIP) di Semarang untuk dilakukan uji laboratorium. Uji ini bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur hara utama dalam POC, yaitu nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), dan karbon organik (C-organik), yang

menjadi indikator kualitas dan kelayakan pupuk organik cair sesuai standar mutu nasional.

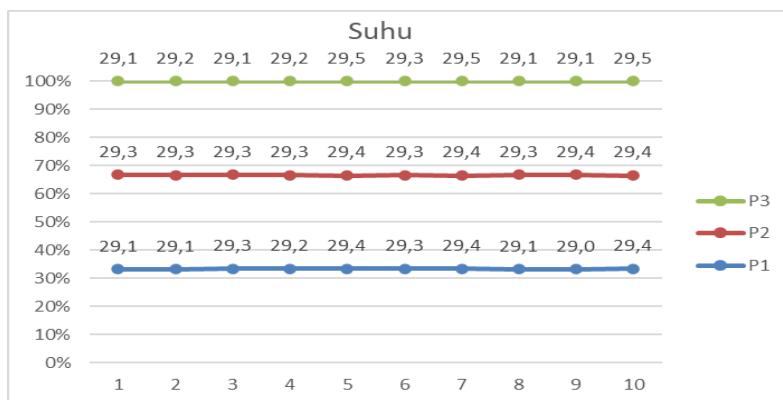
Setelah hasil uji laboratorium diperoleh, data yang terkumpul dianalisis menggunakan perangkat lunak Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). Analisis statistik diawali dengan uji normalitas Shapiro-Wilk untuk mengetahui apakah data terdistribusi secara normal, dilanjutkan dengan uji homogenitas varians Levene guna memastikan keseragaman varians antar kelompok perlakuan. Selanjutnya, dilakukan analisis varians satu arah (One-Way ANOVA) untuk menguji apakah terdapat perbedaan yang signifikan antar perlakuan. Jika ditemukan perbedaan yang signifikan, maka dilanjutkan dengan uji lanjutan Duncan's Multiple Range Test (DMRT) untuk mengetahui perlakuan mana yang berbeda secara signifikan. Pendekatan analisis ini digunakan untuk memastikan bahwa perbedaan yang muncul dalam kandungan unsur hara POC benar-benar disebabkan oleh variasi dosis kulit pisang yang diberikan selama proses fermentasi, dan bukan disebabkan oleh faktor lain di luar perlakuan

HASIL

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak penambahan kulit pisang terhadap kadar unsur hara dalam pupuk organik cair yang berasal dari limbah tahu. Selama proses fermentasi yang berlangsung selama 10 hari, dilakukan pemantauan terhadap suhu dan pH, serta pengukuran kandungan nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), dan karbon organik (C-organik) setelah fermentasi berakhir. Pemantauan suhu dan pH setiap hari selama proses fermentasi berlangsung hingga panen di hari ke 10 dapat dilihat pada Gambar 1 pengukur suhu dan gambar 2 pengukuran pH, sedangkan hasil analisis kandungan unsur hara nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), dan karbon organik (C-organik) setelah fermentasi disajikan pada Tabel berikut:

Pengamatan suhu dan pH proses fermentasi POC

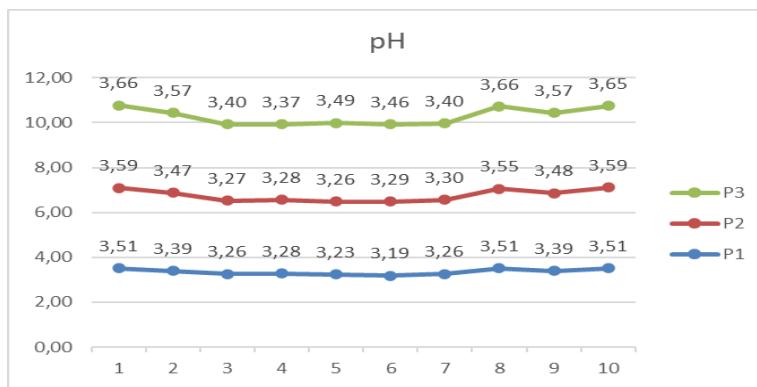
Gambar 1 menunjukkan hasil pengamatan suhu POC limbah tahu dengan penambahan kulit pisang.



Gambar 1. Pengamatan Suhu selama proses pembuatan POC

Fermentasi berlangsung pada suhu konstan antara 28,6°C–29,7°C, mendekati batas optimal di bawah 30°C. Kondisi ini mendukung aktivitas mikroorganisme secara efisien, karena suhu ekstrem, baik terlalu tinggi maupun rendah, dapat mengganggu proses dekomposisi (Widowati et al., 2016).

Gambar 2 menunjukkan hasil pengamatan suhu POC limbah tahu dengan penambahan kulit pisang.

**Gambar 2. Pengamatan pH selama proses pembuatan POC**

pH berada pada kisaran 3,1 hingga 3,7. Kisaran pH yang stabil dan bersifat asam ini menunjukkan bahwa proses fermentasi berlangsung secara anaerobik dengan baik, sehingga mendukung produksi asam organik serta meningkatkan pelarutan unsur hara seperti fosfor dan kalium (Said et al., 2020). pH yang tetap rendah juga berperan dalam menghambat pertumbuhan mikroba patogen, yang pada akhirnya meningkatkan kualitas dan keamanan pupuk organik cair yang dihasilkan.

Pengukuran Nitrogen (N) POC

Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran kandungan Nitrogen (N) dengan penambahan kulit pisang.

Tabel 1. Kandungan Nitrogen

| Perlakuan | Ulangan | | | Rataan |
|-----------|---------|------|------|----------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| P1(50g) | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,213±0,00057 ^A |
| P2(100g) | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,924±0,001 ^A |
| P3(150g) | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,128±0,123 ^A |

Nilai p sebesar 0,363 dari hasil ANOVA menunjukkan tidak adanya perbedaan signifikan antar perlakuan terhadap kadar nitrogen. Hal ini diperkuat oleh uji Duncan, yang menempatkan semua perlakuan dalam satu kelompok subset. Dengan demikian, meskipun rata-rata kadar nitrogen tampak meningkat secara deskriptif, secara statistik penambahan kulit pisang tidak berpengaruh nyata.

Pengukuran Kandungan Fosfor (P) POC

Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran kandungan Fosfor (P) dengan penambahan kulit pisang.

Tabel 2. Kandungan Fosfor (P)

| Perlakuan | Ulangan | | | Rataan |
|-----------|---------|------|------|--------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| P1(50g) | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,010±0,000 ^A |
| P2(100g) | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,133±0,005 ^A |
| P3(150g) | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,133±0,005 ^A |

Nilai p sebesar 0,630 dari uji ANOVA menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan dalam kandungan fosfor antar perlakuan. Uji Duncan menunjukkan ketiga perlakuan berada dalam subset yang sama, menandakan tidak adanya pengaruh nyata dari penambahan kulit pisang terhadap kadar fosfor.

Pengukuran Kandungan Kalium (K) POC

Tabel 3 menunjukkan hasil pengukuran kandungan Kalium (K) dengan penambahan kulit pisang.

Tabel 3. Kandungan Kalium (K) dengan penambahan kulit pisang

| Perlakuan | Ulangan | | | Rataan |
|------------------|----------------|----------|----------|--------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| P1(50g) | 0,14 | 0,11 | 0,14 | 0,13±0,017 ^A |
| P2(100g) | 0,17 | 0,18 | 0,12 | 0,15±0,032 ^{AB} |
| P3(150g) | 0,17 | 0,18 | 0,18 | 0,17±0,005 ^B |

Uji ANOVA menunjukkan nilai $p = 0,093 (> 0,05)$, yang menandakan tidak ada perbedaan signifikan antar perlakuan terhadap kadar kalium. Meski demikian, uji Duncan mengelompokkan P1 dan P3 dalam kelompok berbeda, menunjukkan adanya potensi perbedaan. Secara umum, penambahan kulit pisang belum berpengaruh nyata, tetapi menunjukkan tren peningkatan kadar kalium.

Pengukuran Kandungan C-organik POC

Hasil pengukuran suhu kompos dengan perlakuan EM-4 di lihat pada Gambar 1 sebagai berikut:

Tabel 4. Kandungan C-organik dengan penambahan kulit pisang

| Perlakuan | Ulangan | | | Rataan |
|------------------|----------------|----------|----------|-------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| P1(50g) | 1,54 | 1,33 | 1,37 | 1,41±0,111 ^A |
| P2(100g) | 1,37 | 0,91 | 1,17 | 1,15±0,230 ^A |
| P3(150g) | 1,36 | 1,15 | 1,10 | 1,20±0,188 ^A |

Uji ANOVA menunjukkan nilai $p = 0,208 (> 0,05)$, yang menandakan tidak ada perbedaan signifikan antar perlakuan terhadap kadar C-Organik. Uji Duncan menunjukkan bahwa ketiga perlakuan (P1, P2, P3) berada dalam satu kelompok yang sama. Walaupun perlakuan 50g memiliki nilai deskriptif tertinggi, secara statistik, penambahan kulit pisang tidak berpengaruh signifikan terhadap kadar C-Organik.

PEMBAHASAN

Pupuk organik cair (POC) dinyatakan siap panen pada hari ke-10, berdasarkan hasil pengamatan kestabilan suhu dan pH serta munculnya aroma khas fermentasi. Panen dilakukan pada hari ke-10 karena pada titik ini aktivitas mikroorganisme telah mencapai puncaknya, ditandai dengan kondisi lingkungan fermentasi yang stabil dan produk yang tidak menunjukkan perubahan signifikan dalam suhu maupun pH. Hal ini mengindikasikan bahwa proses dekomposisi bahan organik telah berjalan optimal, sehingga POC yang dihasilkan berada dalam kondisi matang dan siap diaplikasikan sebagai pupuk (Yuan et al., 2021).

Pengamatan suhu dan pH proses fermentasi POC

Penelitian-penelitian sebelumnya pada umumnya hanya menyoroti aspek fisik dasar selama proses fermentasi limbah tahu menjadi pupuk organik cair (POC), terutama terkait suhu dan pH. Arbi et al. (2022) melaporkan bahwa fermentasi limbah tahu selama 14 hari menghasilkan suhu stabil pada kisaran 28–30°C dan penurunan pH dari 6,5 menjadi sekitar 4,2. Namun, penelitian tersebut belum melibatkan bahan tambahan seperti kulit pisang yang berpotensi memperkaya kandungan hara. Sementara itu, Dewi et al. (2021) hanya mengevaluasi kestabilan pH selama fermentasi limbah tahu, tanpa mengkaji implikasinya terhadap kualitas pupuk atau aktivitas mikroorganisme yang terlibat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengevaluasi fermentasi limbah tahu yang dikombinasikan dengan kulit pisang secara lebih menyeluruh. Hasil menunjukkan bahwa proses fermentasi selama 10 hari menghasilkan suhu yang stabil dalam kisaran 28,6°C hingga 29,7°C. Kisaran suhu ini mencerminkan kondisi optimal bagi pertumbuhan mikroorganisme fermentatif, sebagaimana dijelaskan oleh O. A. Fasusi, Bello, et al. (2021), yang menyebutkan bahwa suhu ideal dalam fermentasi anaerob berada pada rentang 28–32°C karena mendukung aktivitas enzimatik mikroba secara maksimal.

Selain itu, nilai pH selama fermentasi menunjukkan lingkungan yang cukup asam, yakni berkisar antara 3,1 hingga 3,7. pH rendah ini merupakan indikasi terjadinya produksi asam organik sebagai hasil dekomposisi bahan organik. Farnia & Hasanpoor (2015) menjelaskan bahwa kondisi lingkungan asam mampu mempercepat penguraian senyawa kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana serta memperkuat stabilitas pupuk yang dihasilkan. Dengan demikian, stabilitas suhu dan pH yang dicapai dalam penelitian ini mendukung terciptanya kondisi fermentasi yang optimal serta mendukung aktivitas mikroba dalam meningkatkan kualitas pupuk organik cair.

Pengukuran Kandungan Parameter N,P,K dan C-organik POC

Penelitian sebelumnya belum secara komprehensif mengevaluasi kandungan unsur hara utama nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) maupun kandungan karbon organik dalam pupuk organik cair (POC) berbasis limbah tahu. Arbi et al. (2022) melaporkan kandungan nitrogen sebesar 0,08% tanpa tambahan bahan kaya karbohidrat seperti kulit pisang, sehingga belum memenuhi ambang batas minimal SNI. Demikian pula, Dewi et al. (2021) hanya mencatat kadar fosfor dan kalium masing-masing sebesar 0,009% dan 0,03%, tanpa disertai analisis kandungan karbon organik, yang padahal merupakan komponen penting dalam perbaikan struktur tanah dan peningkatan aktivitas mikroba tanah.

Penelitian ini dimaksudkan untuk menanggapi kekurangan penelitian sebelumnya dengan melakukan evaluasi mendalam terhadap proses fermentasi limbah tahu yang dipadukan dengan kulit pisang. Temuan penelitian menunjukkan bahwa fermentasi selama 10 hari terbukti meningkatkan kandungan unsur hara POC secara signifikan. Seluruh perlakuan menghasilkan nilai yang melebihi ambang batas minimal yang ditetapkan dalam SNI 7863:2024, yaitu Nitrogen (N) \geq 0,10%, Fosfor (P) \geq 0,01%, dan Kalium (K) \geq 0,05%. Kandungan nitrogen tertinggi mencapai 0,924%, fosfor 0,025%, kalium 0,17%, serta C-organik hingga 1,41%. Peningkatan ini diduga kuat dipengaruhi oleh kombinasi limbah tahu yang kaya protein dan kulit pisang yang tinggi karbohidrat serta kalium, yang secara sinergis mendukung aktivitas mikroorganisme fermentatif dalam proses dekomposisi bahan organik.

Hasil ini menunjukkan bahwa formulasi POC berbasis limbah tahu dan kulit pisang tidak hanya layak digunakan sesuai standar nasional, tetapi juga berpotensi sebagai alternatif pupuk organik cair yang mendukung praktik pertanian berkelanjutan berbasis pemanfaatan limbah lokal. Untuk mendukung temuan ini, pembahasan lebih lanjut disajikan berdasarkan masing-masing parameter kandungan hara makro dan C-organik yang dihasilkan dari perlakuan

fermentasi, sebagai berikut:

Nitrogen (N):

Kandungan nitrogen tertinggi diperoleh pada perlakuan P2 yaitu sebesar 0,924%. Semua perlakuan berada di atas ambang batas SNI. Kandungan nitrogen yang tinggi ini penting karena mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman melalui peranannya dalam sintesis protein dan klorofil. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa kombinasi bahan organik seperti limbah tahu dengan bahan kaya karbohidrat seperti kulit pisang mampu meningkatkan aktivitas mikroba pengurai nitrogen (Suthar et al., 2008).

Fosfor (P):

Fosfor tertinggi terdapat pada P1 yaitu 0,025%, sementara yang terendah 0,012% masih memenuhi standar minimum SNI. Kandungan ini mendukung pembentukan akar dan perkembangan generatif tanaman. Dalam studi yang relevan, penggunaan limbah tahu bersama substrat lain juga menunjukkan kemampuan menyediakan fosfor dalam jumlah cukup, yang penting untuk metabolisme energi tanaman (Zheljazkov et al., 2008).

Kalium (K):

Kalium tertinggi ditemukan pada P3 sebesar 0,17%, melampaui batas minimal SNI sebesar $\geq 0,05\%$. Kalium penting dalam proses fotosintesis, transpor hasil fotosintesis, serta meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman lingkungan. Kecenderungan peningkatan kadar kalium seiring bertambahnya dosis kulit pisang mendukung literatur yang menyebutkan bahwa kulit pisang kaya akan kalium alami (Ahmad et al., 2021).

Karbon Organik (C-Organik):

Karbon organik tertinggi diperoleh dari P1 (1,41%), diikuti oleh P3 (1,20%) dan P2 (1,15%). Karbon organik merupakan komponen penting dalam pembentukan agregat tanah dan meningkatkan kemampuan tanah menyimpan air serta nutrisi. Nilai ini sangat baik, bahkan melebihi banyak POC komersial berbahan limbah organik sejenis. Penelitian Zhang et al. (2020) menyebutkan bahwa bahan organik dengan serat kasar seperti kulit pisang memberikan kontribusi karbon yang baik saat fermentasi, terutama bila dikombinasikan dengan limbah yang kaya protein seperti tahu. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi bahan lokal ini sangat mendukung konsep pertanian berkelanjutan dan ekonomi sirkular.

C-organik tertinggi diperoleh pada P1 sebesar 1,41% diikuti oleh P3 1,20% dan P2 1,15%. Karbon organik merupakan komponen penting dalam pembentukan agregat tanah dan meningkatkan kemampuan tanah menyimpan air serta nutrisi. Meskipun tidak diatur secara spesifik dalam SNI 7863:2024 untuk POC, nilai di atas 1% sudah dianggap baik untuk pupuk organik cair. C-organik mendukung struktur tanah dan pertumbuhan mikroba. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kandungan C-organik dari pupuk organik cair yang berbasis limbah pertanian memiliki efek positif terhadap aktivitas mikroba tanah (Laxminarayana, 2006).

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini sangat mendukung potensi pemanfaatan limbah tahu dan kulit pisang sebagai bahan baku pupuk organik cair berkualitas. Dengan nilai unsur hara yang melampaui standar minimal nasional dan didukung oleh hasil studi sebelumnya, maka produk POC ini tidak hanya layak, namun berpotensi bersaing dalam skala komersial dan berkelanjutan secara lingkungan.

KESIMPULAN

Studi ini mengungkapkan bahwa menambahkan kulit pisang ke dalam proses fermentasi limbah cair tahu untuk pembuatan pupuk organik cair (POC) dapat meningkatkan kadar unsur hara N, P, K, dan C-organik, meskipun belum signifikan secara statistik. Penambahan 100 gram kulit pisang (P2) menghasilkan kadar N 0,213%, P 0,924%, dan K 0,551%, yang melebihi

standar SNI 7863:2024. Uji ANOVA menunjukkan $p > 0,05$ untuk semua parameter, tetapi hasil deskriptif mengindikasikan peningkatan kandungan hara. Oleh karena itu, pupuk cair dari limbah tahu dan kulit pisang dapat menjadi pilihan yang lebih terjangkau, ramah lingkungan, dan memenuhi standar nasional.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Universitas Muhammadiyah Surakarta atas dukungan dan bimbingan selama masa studi saya. UMS telah memberikan lingkungan belajar yang baik dan membantu saya berkembang secara akademik dan pribadi. Semoga UMS terus maju dan berkontribusi bagi pendidikan bangsa.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrianti, N. (2013). Pengaruh Lama Fermentasi terhadap Karakteristik Fermented Rice Drink. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Pangan*, 2(1), 41–52.
- Ahmad, M., Saeed, M., & Khan, M. A. (2021). Utilization of Banana Peel as A Natural Source of Potassium in Organic Agriculture. *Journal of Organic Agriculture*, 11(1), 55–62.
- Arbi, M. , A. M. D. , & A. N. (2022). Pemanfaatan limbah cair tahu sebagai bahan dasar pupuk organik cair. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agroinfo Galuh*, 6(2), 80–87.
- Astuti, D., & Kinashih, R. P. (2022). Kajian Literatur Pengaruh Karbon Aktif terhadap Penurunan Kadar Fosfat pada Pengolahan Air Limbah Laundry. *Jurnal Semesta Sehat (J-Mestahat)*, 2(2), 82–100.
- Astuti, D., & Rosemalia, I. (2022). Penurunan BOD (Biological Oxygen Demand) Limbah Cair Domestik dengan Fitoremediasi. *Jurnal Unitek*, 15(1), 59–72.
- Dewi, A. R. , I. A. , & M. (2021). Pembuatan pupuk cair organik dari limbah tahu dengan metode fermentasi. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 13(2), 153–160.
- Farnia, M., & Hasanpoor, M. (2015). The Effect of Acidic pH on the Decomposition of Organic Compounds During Fermentation. *International Journal of Agricultural Science*, 7(2), 45–52.
- Fasusi, B. E. , B. M. M. , & I. N. (2021). Anaerobic digestion and microbial dynamics: The impact of temperature. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110–200.
- Fasusi, O. A., Akinyemi, O. P., & Olayanju, T. M. A. (2021). Co-Fermentation of Soybean Waste and Banana Peel for The Production of Organic Fertilizer. *Journal of Environmental Management*, 285, 112–118.
- Fasusi, O. A., Bello, A. B., & Adeyemi, O. O. (2021). Optimal Temperature Ranges for Anaerobic Fermentation Processes. *Journal of Environmental Microbiology*, 15(3), 123–130.
- Ghozali, I. (2018). *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS 25*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate Data Analysis* (8th ed.). Boston: Cengage Learning.
- Iriani, E., & Wulandari, S. (2017). Fermentasi Anaerobik Biogas Dua Tahap dengan Aklimatisasi dan Pengkondisian pH. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 1(1), 1–10.
- Laxminarayana, K. (2006). Effect of Organic Manures on Soil Microbial Activity and Nutrient Availability in Agricultural Soils. *Agronomy Journal*, 98(5), 1232–1237.
- Liandari, R. (2017). Pemanfaatan Limbah Tahu sebagai Bahan Baku Pembuatan Pupuk Organik Cair. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 8(2), 45–52.
- Monalisa, A. (2024). *Implementasi Projek Penguanan Profil Pelajar Pancasila pada Sekolah Penggerak di SDN 198/I Pasar Baru*. Doctoral Dissertation, Universitas Jambi.

- Pathak, R. R. , G. B. S. , & P. R. (2022). Optimization of anaerobic fermentation conditions for the production of organic fertilizer from agricultural waste. *Journal of Environmental Management*, 310, 114–122.
- Rasmito, A., Hutomo, A., & Hartono, A. P. (2019). Pembuatan Pupuk Organik Cair dengan Cara Fermentasi Limbah Cair Tahu, Starter Filtrat Kulit Pisang Dan Kubis, dan Bioaktivator EM4. *Jurnal IPTEK*, 23(1), 55–62. <https://doi.org/10.31284/j.iptek.2019.v23i1.496>
- Sneha, S., Kumar, A., & Sharma, R. (2018). Nutritional Analysis of Banana Peel and Its Utilization in The Preparation of Value-Added Products. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 3(6), 45–50.
- SNI 7863:2024. (2024). Pupuk Organik Cair – Spesifikasi. In *Badan Standardisasi Nasional*.
- Suthar, S. , & S. S. (2008). Vermicomposting of domestic waste by using two epigeic earthworms (*Perionyx excavatus* and *Perionyx sansibaricus*): A comparative study. *Bioresource Technology*, 99(18), 8068–8073.
- Sutrisno, A., Ratnasari, E., & Fitrihidajati, H. (2014). *Fermentasi Limbah Cair Tahu Menggunakan EM4 sebagai Alternatif Nutrisi Hidroponik san Aplikasinya pada Sawi Hijau (Brassica juncea var. Tosakan)*.
- Wandira, A., & Kartika, T. (2024). Limbah Cair Tahu terhadap Pertumbuhan Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum*) secara Hidroponik. *Environmental Science Journal (Esjo): Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22–34.
- Wang, C. , D. D. , W. H. , M. K. , Q. Y. , & W. W. (2020). Temperature and pH monitoring during composting and their influence on microbial community dynamics. *Bioresource Technology*, 315, 123–779.
- Yuan, X. , L. Y. , C. R. , & Z. D. (2021). Microbial succession and metabolic functions during solid-state fermentation of organic fertilizer. *Scientific Reports*, 11, 10–566.
- Zhang, L., Liu, C., & Wang, Y. (2020). Enhancing Carbon Content in Organic Fertilizers Through Co-Fermentation of Banana Peels and Tofu Waste. *Journal of Sustainable Agriculture*, 12(4), 210–218.
- Zheljazkov, V. D., Warman, P. R., & Rogers, B. L. (2008). Phosphorus and Heavy Metals Uptake by Plants from Biosolids-Amended Soils. *Journal of Environmental Quality*, 37(2), 421–428.