

## Dinamika Mikroba dan Perubahan NPK Selama Fermentasi POC Kotoran Kambing

Fira Syafira<sup>1</sup>, Santi Diana Putri<sup>2\*</sup>, Resti Fevria<sup>3</sup>, Mentari Larashinda<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Program Studi Agroteknologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,  
Universitas Negeri Padang, Indonesia

\*Corresponding author, email: santidianaputri@fmipa.unp.ac.id

### ABSTRACT

*The use of livestock waste as liquid organic fertilizer (LOF) is a sustainable solution for reducing dependence on chemical fertilizers and improving environmental quality. Goat manure has potential as a raw material for LOF because it contains the macronutrients nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K), as well as microorganisms that play a role in the decomposition process. This study aims to analyze the dynamics of the microbial population (bacteria and fungi), changes in NPK nutrient content, and environmental conditions during the fermentation of goat manure POC. The study was conducted over 21 days at the Biology Laboratory of the Department of Agroindustry, University of Padang, using a completely randomized design with eight fermentation time points and three replicates. Microbial populations were analyzed using the Total Plate Count (TPC) method, while NPK content was measured using a Rapid NPK tester. Data were analyzed using ANOVA and the DMRT post-hoc test at the 5% level. The results showed that fermentation duration had a highly significant effect on microbial population and nutrient content. Bacterial population peaked on day 18, while fungal population was highest on day 15 of fermentation. The highest nitrogen content was obtained on day 21, while phosphorus and potassium were highest from days 18 to 21. The pH value remained relatively stable within the neutral range, and the temperature remained within the mesophilic range, which supports microbial activity. It was concluded that fermentation for 18–21 days produced POC with optimal biological and chemical quality and has the potential to be used as an environmentally friendly liquid organic fertilizer.*

**Keywords:** liquid organic fertilizer, goat manure, fermentation, microorganisms, NPK

### ABSTRAK

*Pemanfaatan limbah peternakan sebagai pupuk organik cair (POC) merupakan solusi berkelanjutan untuk mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia dan memperbaiki kualitas lingkungan. Kotoran kambing berpotensi sebagai bahan baku POC karena mengandung unsur hara makro nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), serta mikroorganisme yang berperan dalam proses dekomposisi. Penelitian ini bertujuan menganalisis dinamika populasi mikroba (bakteri dan jamur), perubahan kandungan unsur hara NPK, serta kondisi lingkungan selama fermentasi POC kotoran kambing. Penelitian dilaksanakan selama 21 hari di Laboratorium Biologi Departemen Agroindustri Universitas Negeri Padang menggunakan rancangan acak lengkap dengan delapan waktu fermentasi dan tiga ulangan. Populasi mikroba*

dianalisis menggunakan metode Total Plate Count (TPC), sedangkan kandungan NPK diukur menggunakan Rapid NPK tester. Data dianalisis menggunakan ANOVA dan uji lanjut DMRT taraf 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lama fermentasi berpengaruh sangat nyata terhadap populasi mikroba dan kandungan unsur hara. Populasi bakteri mencapai puncak pada hari ke-18, sedangkan populasi jamur tertinggi terjadi pada hari ke-15 fermentasi. Kandungan nitrogen tertinggi diperoleh pada hari ke-21, sementara fosfor dan kalium tertinggi pada hari ke-18 hingga ke-21. Nilai pH relatif stabil pada kisaran netral dan suhu berada pada kisaran mesofilik yang mendukung aktivitas mikroorganisme. Disimpulkan bahwa fermentasi selama 18–21 hari menghasilkan POC dengan kualitas biologis dan kimia yang optimal serta berpotensi diaplikasikan sebagai pupuk organik cair ramah lingkungan.

**Kata kunci:** pupuk organik cair, kotoran kambing, fermentasi, mikroorganisme, NPK

## PENDAHULUAN

Pertanian modern saat ini menghadapi tantangan serius akibat ketergantungan yang tinggi terhadap pupuk kimia sintetis. Penggunaan pupuk anorganik secara intensif dan berkelanjutan tidak hanya meningkatkan biaya produksi, tetapi juga berdampak negatif terhadap kualitas tanah, keseimbangan mikroorganisme tanah, serta kelestarian lingkungan (Febria *et al.*, 2024). Kondisi tersebut mendorong perlunya pengembangan alternatif pupuk yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan guna mendukung sistem pertanian yang sehat dan efisien.

Pupuk organik cair (POC) merupakan salah satu alternatif yang potensial karena mampu menyediakan unsur hara dalam bentuk yang lebih mudah diserap tanaman sekaligus meningkatkan aktivitas biologis tanah. Pemanfaatan limbah organik sebagai bahan baku POC juga sejalan dengan prinsip pertanian berkelanjutan dan ekonomi sirkular, karena mampu mengurangi timbulan limbah serta menghasilkan produk bernilai tambah (Annisa, 2025). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa aplikasi POC dapat memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah secara simultan (Prasetyo Dedy, 2021).

Kotoran kambing memiliki potensi besar sebagai bahan baku POC karena mengandung unsur hara makro utama, yaitu nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), serta bahan organik dengan kandungan lignoselulosa yang relatif tinggi (Batubara, 2021). Namun, karakteristik tersebut menyebabkan kotoran kambing memerlukan proses pengolahan yang lebih optimal agar unsur haranya tersedia bagi tanaman.

Oleh karena itu, proses fermentasi menjadi tahapan kunci dalam pembuatan POC karena mampu menguraikan senyawa organik kompleks menjadi senyawa sederhana melalui aktivitas mikroorganisme. Selama fermentasi, mikroorganisme seperti bakteri dan jamur berperan dalam proses dinamika mikroorganisme sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, seperti pH, suhu, serta lama fermentasi (Widyabudiningsih *et al.*, 2021). Penelitian internasional terbaru juga menunjukkan bahwa dinamika komunitas mikroba selama fermentasi pupuk organik berhubungan erat dengan peningkatan ketersediaan unsur hara dan kualitas produk akhir pupuk organik (Wang, 2024).

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu lebih banyak berfokus pada pupuk organik berbahan dasar kotoran sapi atau ayam, dengan waktu fermentasi relatif singkat dan penekanan pada aspek kimia saja (Puspitasari, 2022). Penelitian mengenai fermentasi pupuk organik cair berbahan dasar kotoran kambing masih terbatas, terutama yang mengkaji secara simultan dinamika populasi mikroorganisme, perubahan kandungan unsur hara NPK, serta kondisi lingkungan selama keseluruhan proses fermentasi. Padahal, penelitian mutakhir menunjukkan bahwa interaksi antara mikroorganisme dan kondisi lingkungan selama fermentasi sangat menentukan stabilitas dan efektivitas pupuk organik cair yang dihasilkan (Sivojiené *et al.*, 2024).

Berdasarkan uraian tersebut, terdapat gap penelitian yang jelas terkait keterkaitan antara lama fermentasi, dinamika populasi mikroba, perubahan kandungan unsur hara NPK, serta kondisi lingkungan pada fermentasi POC kotoran kambing. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dinamika populasi bakteri dan jamur, perubahan kandungan unsur hara NPK, serta perubahan pH dan suhu selama proses fermentasi POC berbahan dasar kotoran kambing. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah dalam menentukan waktu fermentasi yang optimal serta mendukung pemanfaatan limbah peternakan sebagai pupuk organik cair yang efektif, ramah lingkungan, dan berkelanjutan.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan selama 21 hari fermentasi, bertempat di Laboratorium Biologi, Departemen Agroindustri, Universitas Negeri Padang. Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi kotoran kambing segar sebanyak 1,6 kg, urin kambing sebanyak 1 L, molase, gula merah, serta EM4 (Effective Microorganism) sebagai bioaktivator. Penggunaan EM4 dan sumber karbon sederhana seperti molase dan gula merah bertujuan untuk mempercepat proses fermentasi dan meningkatkan aktivitas mikroorganisme selama dekomposisi bahan organik, sebagaimana dilaporkan pada penelitian pupuk organik cair sebelumnya (Widyabudiningsih et al., 2021). Media mikrobiologi yang digunakan terdiri atas Nutrient Agar (NA) untuk isolasi bakteri dan Potato Dextrose Agar (PDA) untuk isolasi jamur. Alat yang digunakan meliputi fermentor plastik tertutup, timbangan digital, gelas ukur, pH meter, termometer, inkubator, autoklaf, cawan petri, colony counter, serta *Rapid NPK Tester*, yang umum digunakan pada penelitian POC berbasis fermentasi limbah organik (Sulfianti, 2021).

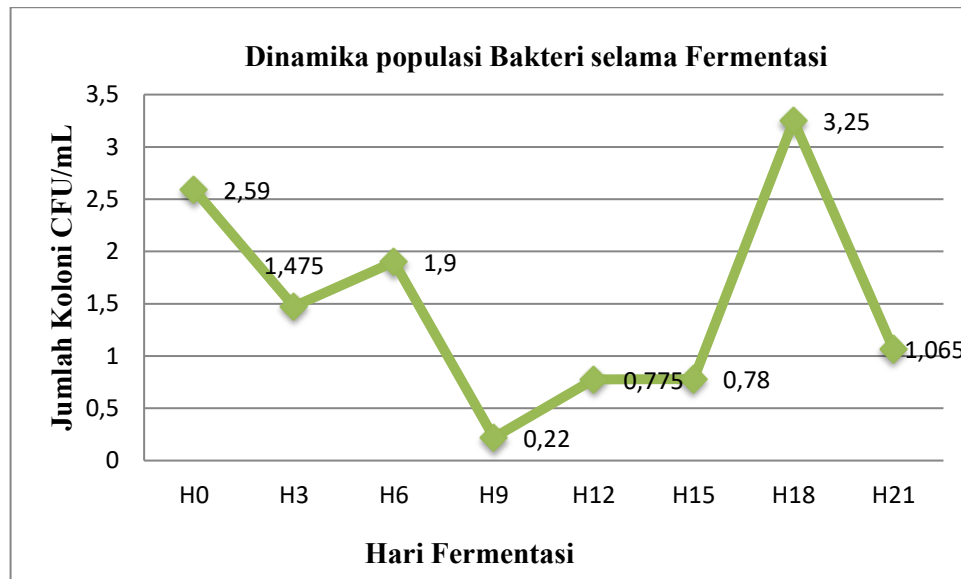
Prosedur Proses pembuatan POC dilakukan dengan mencampurkan 1,6 kg kotoran kambing dan 1 L urin kambing ke dalam fermentor berkapasitas total 5 L, kemudian ditambahkan air hingga volume akhir mencapai 4 L. Selanjutnya ditambahkan EM4 sebanyak 2% (v/v), molase 2% (v/v), dan gula merah 2% (b/v) sebagai sumber mikroorganisme dan karbon mudah terfermentasi. Rasio ini mengacu pada formulasi umum POC yang terbukti efektif dalam meningkatkan populasi mikroba dan kualitas pupuk cair (Widyabudiningsih et al., 2021). Campuran dihomogenkan selama  $\pm 5$  menit, kemudian fermentor ditutup rapat untuk menciptakan kondisi fermentasi anaerob fakultatif. Fermentasi dilakukan pada suhu ruang ( $\pm 27-30$  °C) selama 21 hari. Pengadukan dilakukan setiap dua hari sekali selama  $\pm 2$  menit, bertujuan untuk menjaga homogenitas substrat dan mencegah pengendapan bahan padat, sebagaimana direkomendasikan dalam penelitian fermentasi POC berbasis limbah organik (Sulfianti, 2021). Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan delapan perlakuan lama fermentasi, yaitu hari ke-0 (H0), 3 (H3), 6 (H6), 9 (H9), 12 (H12), 15 (H15), 18 (H18), dan 21 (H21), dengan tiga ulangan pada setiap perlakuan, sehingga diperoleh 24 satuan percobaan. Analisis Populasi mikroba dianalisis menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC), yang merupakan metode standar dalam analisis mikrobiologi pupuk organik cair (Widyabudiningsih et al., 2021). Sampel diinokulasikan pada media NA untuk bakteri dan PDA untuk jamur, kemudian diinkubasi pada suhu 30 °C selama 24 jam (bakteri) dan 72 jam (jamur). Jumlah koloni dinyatakan sebagai  $CFU \times 10^8/mL$ . Analisis kandungan nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) dilakukan menggunakan *Rapid NPK Tester*, sedangkan pH diukur menggunakan pH meter digital dan suhu menggunakan termometer. Pengukuran parameter ini dilakukan secara berkala karena pH dan suhu berperan penting dalam menentukan aktivitas mikroorganisme selama fermentasi POC (Sulfianti, 2021).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### *Dinamika Populasi Mikroba selama Fermentasi*

### Populasi Bakteri

Hasil pengamatan populasi bakteri selama fermentasi pupuk organik cair (POC) kotoran kambing menunjukkan dinamika yang berbeda pada setiap waktu fermentasi (Gambar 1). Berdasarkan Gambar 1, populasi bakteri mengalami penurunan pada fase awal fermentasi (H0-H3), kemudian meningkat secara bertahap dan mencapai puncak pada hari ke-18, sebelum akhirnya menurun kembali pada hari ke-21. Penurunan jumlah koloni bakteri pada awal fermentasi mengindikasikan terjadinya fase adaptasi (*lag phase*), di mana bakteri menyesuaikan diri terhadap lingkungan fermentasi baru, termasuk perubahan pH, ketersediaan substrat, dan akumulasi senyawa hasil metabolisme awal (Widyabudiningsih et al., 2021). Fenomena ini umum terjadi pada sistem fermentasi bahan organik cair dan tidak menunjukkan kegagalan proses fermentasi.

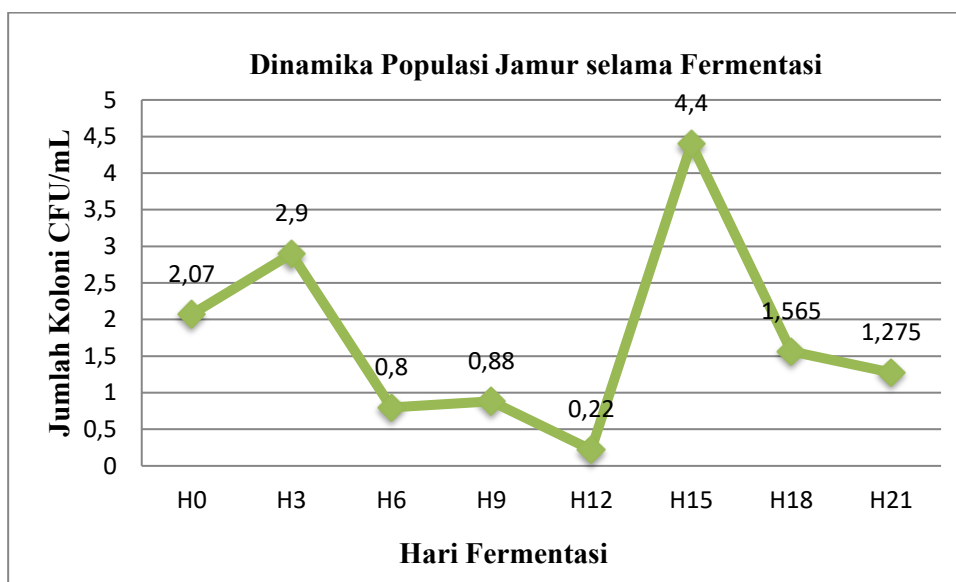


Gambar 1. Pertumbuhan Bakteri  $10^8$  CFU/mL

Peningkatan signifikan populasi bakteri pada fase H12 hingga H18 (Gambar 1) mencerminkan fase eksponensial pertumbuhan mikroba, yang terjadi ketika senyawa organik kompleks telah terdegradasi menjadi senyawa sederhana yang mudah dimanfaatkan sebagai sumber energi. (Fevria et al., 2024), menyatakan bahwa pada fase ini aktivitas enzimatik mikroorganisme berada pada tingkat maksimum, sehingga mendukung lonjakan populasi bakteri. Puncak populasi pada H18 mengindikasikan bahwa waktu tersebut merupakan fase biologis paling aktif dalam sistem fermentasi ini. Penurunan populasi bakteri pada H21 (Gambar 1) menunjukkan masuknya fase stasioner menuju fase kematangan fermentasi. Penurunan ini dipengaruhi oleh keterbatasan substrat dan meningkatnya akumulasi senyawa metabolit sekunder, seperti asam organik dan amonia, yang dapat menghambat pertumbuhan sel bakteri (Fevria et al., 2024), biologis, kondisi ini mengindikasikan bahwa POC telah memasuki fase stabil dan siap digunakan.

### Populasi Jamur

Berbeda dengan bakteri, populasi jamur menunjukkan puncak pertumbuhan yang lebih awal, yaitu pada hari ke-15 fermentasi (Gambar 2). Pada fase awal fermentasi (H0-H3), populasi jamur mengalami peningkatan, yang mengindikasikan kemampuan jamur memanfaatkan substrat karbon sederhana secara cepat, terutama gula dan molase yang ditambahkan dalam proses fermentasi.



Gambar 2. Pertumbuhan Jamur  $10^8$  CFU/mL

Penurunan populasi jamur pada fase H6–H12 (Gambar 2) berkaitan erat dengan meningkatnya kompetisi dengan bakteri serta perubahan kondisi lingkungan fermentasi, terutama penurunan pH akibat akumulasi asam organik (Fascio et al., 2026). Namun demikian, lonjakan populasi pada H15 menunjukkan bahwa jamur memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap kondisi lingkungan yang lebih asam, sehingga mampu mendominasi pada fase tertentu fermentasi. Setelah mencapai puncak pada H15, populasi jamur menurun secara bertahap hingga H21 (Gambar 2), menandakan berkurangnya ketersediaan substrat dan masuknya fase pematangan fermentasi. (Sulfianti, 2021) menyatakan bahwa fase ini penting untuk stabilisasi produk POC dan menurunkan risiko aktivitas mikroba berlebihan saat aplikasi di lapangan.

#### Perubahan Unsur Hara Selama Fermentasi Nitrogen (N)

Kandungan nitrogen (N) menunjukkan peningkatan yang sangat nyata seiring bertambahnya lama fermentasi, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil uji DMRT menunjukkan bahwa kandungan nitrogen tertinggi diperoleh pada perlakuan H21 dan berbeda nyata dibandingkan perlakuan lainnya.

Tabel 1. Perubahan Unsur Hara N

Hari Fermentasi	Rata-rata Unsur Hara Nitrogen (N) mg/kg	Ket
Hari Ke-0	92 <sup>f</sup>	Sedang
Hari Ke-3	178 <sup>e</sup>	Tinggi
Hari Ke-6	178 <sup>e</sup>	Tinggi
Hari Ke-9	264 <sup>d</sup>	Tinggi
Hari Ke-12	376 <sup>c</sup>	Tinggi
Hari Ke-15	476 <sup>b</sup>	Tinggi
Hari Ke-18	454 <sup>b</sup>	Tinggi
Hari Ke-21	569 <sup>a</sup>	Tinggi
KK= 3.99		

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama tidak berbeda nyata, angka yang diikuti huruf kecil yang berbeda maka berbeda nyata menurut uji lanjut Duncan's Multiple Range Test (DMRT) 5 %.

Peningkatan nitrogen berkaitan erat dengan aktivitas mikroorganisme dalam proses

mineralisasi bahan organik, di mana nitrogen organik dikonversi menjadi bentuk anorganik yang lebih tersedia (Zeng et al., 2024). Meskipun populasi mikroorganisme menurun pada H21, kandungan nitrogen tetap meningkat, yang menunjukkan adanya akumulasi hasil metabolisme mikroba dari fase sebelumnya. Temuan ini menegaskan bahwa fase akhir fermentasi berperan penting dalam pematangan kimia POC, khususnya dalam meningkatkan ketersediaan nitrogen.

*Fosfor (P)*

Kandungan fosfor (P) menunjukkan peningkatan signifikan hingga hari ke 18 dan relatif stabil hingga hari ke 21, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Perlakuan H18 dan H21 berada pada kelompok nilai tertinggi berdasarkan uji DMRT. Peningkatan fosfor disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme yang menghasilkan asam organik selama fermentasi, sehingga mampu melarutkan fosfor terikat dan meningkatkan ketersediaannya (No et al., 2025). Dengan demikian, fermentasi yang lebih lama memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan fosfor tersedia dalam POC.

Tabel 2. Perubahan Unsur Hara P

Hari Fermentasi	Rata-rata Unsur Hara Fosfor (P) mg/kg	Ket
Hari Ke-0	347 <sup>d</sup>	Tinggi
Hari Ke-3	447 <sup>c</sup>	Tinggi
Hari Ke-6	356 <sup>d</sup>	Tinggi
Hari Ke-9	447 <sup>c</sup>	Tinggi
Hari Ke-12	559 <sup>b</sup>	Tinggi
Hari Ke-15	541 <sup>b</sup>	Tinggi
Hari Ke-18	674 <sup>a</sup>	Tinggi
Hari Ke-21	661 <sup>a</sup>	Tinggi
KK= 4.22		

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama tidak berbeda nyata, angka yang diikuti huruf kecil yang berbeda maka berbeda nyata menurut uji lanjut Duncan's Multiple Range Test (DMRT) 5 %.

*Kalium (K)*

Kandungan kalium (K) meningkat secara konsisten selama fermentasi dan mencapai nilai tertinggi pada H18-H21 (Tabel 3). Kalium relatif mudah tersedia karena tidak terikat secara struktural dalam jaringan bahan organik. (Fan et al., 2025), menjelaskan bahwa aktivitas mikroorganisme selama fermentasi mempercepat pelepasan kalium. sehingga unsur ini tersedia dalam bentuk larut. Hasil ini menunjukkan bahwa fermentasi POC tidak hanya meningkatkan N dan P, tetapi juga efektif dalam meningkatkan ketersediaan K.

Tabel 3. Perubahan Unsur Hara K

Hari Fermentasi	Rata-rata Unsur Hara Kalium (K) mg/kg	Ket
Hari Ke-0	585 <sup>e</sup>	Tinggi
Hari Ke-3	685 <sup>d</sup>	Tinggi
Hari Ke-6	835 <sup>c</sup>	Tinggi
Hari Ke-9	1194 <sup>b</sup>	Tinggi
Hari Ke-12	1253 <sup>b</sup>	Tinggi
Hari Ke-15	1194 <sup>b</sup>	Tinggi
Hari Ke-18	1535 <sup>a</sup>	Tinggi
Hari Ke-21	1540 <sup>a</sup>	Tinggi
KK= 3.90		

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama tidak berbeda nyata, angka yang diikuti huruf kecil

yang berbeda maka berbeda nyata menurut uji lanjut Duncan's Multiple Range Test (DMRT) 5 %.

*Perubahan Kondisi Lingkungan Selama Fermentasi  
pH POC Kotoran Kambing*

Nilai pH POC selama fermentasi berada pada kisaran netral (6,25-7,00) dan relatif stabil antar perlakuan (Tabel 4). Stabilitas pH menunjukkan bahwa proses fermentasi berlangsung secara terkendali dan mendukung aktivitas mikroorganisme tanpa menghasilkan senyawa toksik berlebihan (Fritze et al., 2025). pH netral merupakan kondisi optimal untuk menjaga ketersediaan unsur hara makro serta mendukung kualitas akhir POC.

Tabel 4. Perubahan pH POC Kotoran Kambing

Hari Fermentasi	Rata-rata pH POC Kotoran Kambing (pH)	Ket
Hari Ke-0	6.25 <sup>b</sup>	Netral
Hari Ke-3	6.25 <sup>b</sup>	Netral
Hari Ke-6	7.00 <sup>a</sup>	Netral
Hari Ke-9	7.00 <sup>a</sup>	Netral
Hari Ke-12	7.00 <sup>a</sup>	Netral
Hari Ke-15	7.00 <sup>a</sup>	Netral
Hari Ke-18	7.00 <sup>a</sup>	Netral
Hari Ke-21	7.00 <sup>a</sup>	Netral
KK= 1.83		

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama tidak berbeda nyata, angka yang diikuti huruf kecil yang berbeda maka berbeda nyata menurut uji lanjut Duncan's Multiple Range Test (DMRT) 5 %.

*Suhu POC Kotoran Kambing*

Suhu fermentasi berada pada kisaran mesofilik (26-30°C) sepanjang proses fermentasi, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5. Peningkatan suhu pada H18 mencerminkan tingginya aktivitas metabolisme mikroorganisme pada fase tersebut, sedangkan penurunan suhu pada fase akhir menunjukkan menurunnya aktivitas biologis dan masuknya fase pematangan fermentasi (Zeng et al., 2024).

Tabel 5. Perubahan pH POC Kotoran Kambing

Hari Fermentasi	Rata-rata SUHU POC Kotoran Kambing °C	Ket
Hari Ke-0	29.45 <sup>a</sup>	Tinggi
Hari Ke-3	27.15 <sup>c</sup>	Rendah
Hari Ke-6	27.25 <sup>c</sup>	Sedang
Hari Ke-9	28.55 <sup>b</sup>	Sedang
Hari Ke-12	26.85 <sup>c</sup>	Rendah
Hari Ke-15	27.40 <sup>c</sup>	Rendah
Hari Ke-18	30.10 <sup>a</sup>	Tinggi
Hari Ke-21	28.50 <sup>b</sup>	Sedang
KK= 1.48		

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf kecil yang sama tidak berbeda nyata, angka yang diikuti huruf kecil yang berbeda maka berbeda nyata menurut uji lanjut Duncan's Multiple Range Test (DMRT) 5 %.

**KESIMPULAN**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa lama fermentasi berpengaruh nyata terhadap dinamika populasi mikroba, kandungan unsur hara NPK, dan kondisi lingkungan pupuk organik cair (POC) berbahan kotoran kambing. Populasi mikroba mengikuti pola pertumbuhan khas

fermentasi, dengan puncak populasi bakteri pada hari ke 18 dan jamur pada hari ke-15, yang mencerminkan fase aktivitas biologis optimal, diikuti penurunan pada hari ke 21 sebagai indikasi fase pematangan.

Kandungan unsur hara N, P, dan K meningkat seiring bertambahnya waktu fermentasi. Nitrogen tertinggi diperoleh pada hari ke 21, sedangkan fosfor dan kalium mencapai kondisi optimum pada rentang hari ke-18 hingga ke 21. Nilai pH yang relatif stabil pada kisaran netral dan suhu pada kisaran mesofilik menunjukkan bahwa proses fermentasi berlangsung terkendali dan mendukung aktivitas mikroorganisme.

Dengan demikian, waktu fermentasi 18-21 hari dapat direkomendasikan sebagai kondisi optimum untuk menghasilkan POC dengan kualitas biologis dan kimia yang baik. Secara praktis, temuan ini memberikan acuan bagi petani dan praktisi pertanian dalam menentukan waktu fermentasi POC yang efisien sebelum aplikasi di lapangan, sehingga mendukung pemanfaatan limbah peternakan secara berkelanjutan. Keterbatasan penelitian ini terletak pada skala pengujian yang masih bersifat laboratorium, sehingga penelitian lanjutan disarankan untuk menguji efektivitas POC pada berbagai komoditas tanaman dan kondisi lapangan guna memastikan dampaknya terhadap pertumbuhan tanaman dan sifat tanah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Annisa, I. M. (2025). Agrocomplex Transformation Towards Circular Economy Opportunities and Challenges of Implementation in Indonesia. *Journal of Agro Complex Development Society*, 2(1), 140. <https://agrocomplex.professorline.com/index.php/journal/index>
- Batubara, S. F., Santoso, A. B., & Ramija, K. E. L. (2021). Potential of goat manure as organic fertilizer in North Sumatera. *BIO Web of Conferences*, 33. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213305001>
- Fan, X., Zhu, Y., Jia, Y., Du, P., Wang, W., Liu, J., Lv, Z., Liu, R., & Li, X. (2025). Multi-environment meta-analysis reveals the mechanism of action of potassium-solubilizing microorganisms on crop yields. *Frontiers in Plant Science*, 16(November), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1659478>
- Fascio, C. J., Rubio Molina, A. C., Marin-Gallego, B. J., de Cristóbal, R. E., Espinosa-Urgel, M., Vincent, P. A., Farizano, J. V., & Adler, C. (2026). Interspecies interactions among sugarcane-associated bacteria and their impact on plant growth promotion traits. *Frontiers in Microbiology*, 17(January), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2026.1714037>
- Febria, T., Sari, W., Putri, S. D., & Amelia, K. (2024). Pengaruh Jamur Trichoderma Sp. Untuk Meningkatkan Kualitas Kompos Dari Limbah Batang Pisang. *Agroplasma*, 12(1), 306–312.
- Fevria, R., Vauzia, Putri, D. H., Achyar, A., Putri, S. D., & Edwin. (2024). Isolation and Identification of Lactic Acid Bacteria Using PCR Gene from Tempe Wrapped with Banana Leaves and Plastic. *Indonesian Food Science and Technology Journal*, 7(2), 127–132. <https://doi.org/10.22437/ifstj.v7i2.32503>
- Fritze, H., Jauhiainen, J., Bårdale, A., Butlers, A., Čiuldienė, D., Kamil-Sardar, M., Kull, A., Laiho, R., Lazdiņš, A., Samariks, V., Schindler, T., Soosaar, K., Vigricas, E., & Peltoniemi, K. (2025). Soil trenching – are microbial communities alike in experimental peatland plots measuring total and heterotrophic respiration? *Soil Biology and Biochemistry*, 203(April 2024), 2024–2026. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2025.109747>
- Hasanah, S. A., & Maulana, I. (2024). Pemanfaatan Kotoran Kambing Menjadi Pupuk Organik Cair Di Peternakan Kambing Bumdes Tirtawangunan. *Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(2), 306–312. <https://doi.org/https://doi.org/10.70476/jpkm.v3i2.7>
- No, V., Desember, J., Ketersediaan, P., Tanah, F., Sawah, P., Aplikasi, M., & Tanah, P. (2025).

- Soilrens*, Volume 23 No. 2, Juli – Desember 2025. 23(2), 85–92.
- Prasetyo Dedy, & Evizal Rusdi. (2021). Pembuatan dan Upaya Peningkatan Kualitas Pupuk Organik Cair. *Jurnal Agrotropika*, 20(2), 68–80.
- Puspitasari, Y., Suriyanti, S., & Nontji, M. (2022). Lama Fermentasi Dan Volume Effective Microorganism-4 (Em4) Dalam Pembuatan Pupuk Organik Padat Berbahan Dasar Serbuk Gergaji Kayu Dan Kotoran Ayam. *AGrotekMAS Jurnal Indonesia: Jurnal Ilmu Peranian*, 3(2), 124–135. <https://doi.org/10.33096/agrotekmas.v3i2.254>
- Sivojienė, D., Masevičienė, A., Žičkienė, L., Ražukas, A., & Kačergius, A. (2024). Soil Microbial Community Structure and Carbon Stocks Following Fertilization with Organic Fertilizers and Biological Inputs. *Biology*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/biology13070534>
- Sulfianti, Risman, & Saputri, I. (2021). Analisis NPK Pupuk Organik Cair Dari Berbagai Jenis Air Cucian Beras Dengan Metode Fermentasi Yang Berbeda Npk Analysis of Liquid Organic Fertilizer From Various Types of Rice Washing Water With Different Fermentation. *Agrotech*, 11(1), 36–42.
- Wang, L. (2024). *Microbe-aided thermophilic composting accelerates manure fermentation*. (October), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1472922>
- Widyabudiningsih, D., Troskialina, L., Fauziah, S., Shalihatunnisa, S., Riniati, R., Siti Djenar, N., 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. *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, 4(1), 30–39. <https://doi.org/10.20885/ijca.vol4.iss1.art4>
- Zeng, P., Zhao, Q., Hu, J., Zhang, X., Mao, B., Sun, Q., & Wu, W. (2024). Nitrogen addition has divergent effects on phosphorus fractions in four types of soils. In *Ecological Processes*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1186/s13717-024-00523-7>