

Pengaruh Waktu Fermentasi Terhadap Kandungan Nitrogen, Fosfat, dan Kalium pada Pupuk Organik dari Limbah Baglog Jamur Tiram Putih dan Guano

Wahyu Qur'ani Nufus⁽¹⁾, Adila Silmi Nuraini⁽²⁾, Lilik Suprianti^{(3)*}
Dyah Suci Perwitasari⁽⁴⁾, Bambang Wahyudi⁽⁵⁾

Program Studi Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur
Jl. Raya Rungkut Madya, Gunung Anyar, Surabaya, 60294, Indonesia

Email: ³liliksuprianti.tk@upnjatim.ac.id

Tersedia Online di

<http://www.jurnal.unublitar.ac.id/index.php/briliant>

Sejarah Artikel

Diterima 23 Juli 2024
Direvisi 31 Juli 2024
Disetujui 20 Agustus 2024
Dipublikasikan 19 November 2025

Keywords:

Fermentation; Organic Fertilizer; Potassium; Nitrogen; Phosphate

Kata Kunci:

Fermentasi; Kalium; Nitrogen; Fosfat

Corresponding Author:

Name:
Lilik Suprianti
Email:
liliksuprianti.tk@upnjatim.ac.id

Abstract: *This study aims to evaluate the fermentation process of white oyster mushroom baglog waste and bat guano as materials for producing multi-nutrient fertilizer, and to determine the optimal fermentation time that yields the highest levels of nitrogen, phosphate, and potassium by the 2019 Ministry of Agriculture standards. An anaerobic fermentation process was employed using white oyster mushroom baglog waste and bat guano as the primary materials, supplemented with an EM-4 bioactivator to accelerate decomposition. Fermentation was conducted over 20 days and was checked every 4 days. The research results indicate that fermentation time influences the nutrient content of the produced fertilizer. The highest nitrogen content of 2.81% was achieved on the 16th day of fermentation, while the highest phosphate content of 2.28% was recorded on the 8th day of fermentation. The highest potassium content of 3.59% was reached on the 16th day of fermentation. Based on these findings, a fermentation period of 16 days provided optimal results for nitrogen and potassium content, whereas an 8-day fermentation period yielded optimal results for phosphate content.*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi proses fermentasi limbah baglog jamur tiram putih dan kotoran kelelawar sebagai bahan pembuatan pupuk multinutrien serta menentukan waktu fermentasi optimal yang menghasilkan kadar nitrogen, fosfat, dan kalium tertinggi sesuai dengan standar Permentan tahun 2019. Proses fermentasi anaerob digunakan dengan bahan utama limbah baglog jamur tiram putih dan kotoran kelelawar, serta bioaktivator EM-4 untuk mempercepat proses penguraian. Proses fermentasi dilakukan selama 20 hari dan dilihat kondisinya setiap 4 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu fermentasi mempengaruhi kadar nutrisi

dalam pupuk yang dihasilkan. Kadar nitrogen tertinggi sebesar 2,81% dicapai pada hari ke-16 fermentasi, sedangkan kadar fosfat tertinggi sebesar 2,28% dicapai pada hari ke-8 fermentasi. Kadar kalium tertinggi sebesar 3,59% dicapai pada hari ke-16 fermentasi. Berdasarkan hasil ini, fermentasi selama 16 hari memberikan hasil optimal untuk kandungan nitrogen dan kalium, sementara fermentasi selama 8 hari memberikan hasil optimal untuk kandungan fosfat.

PENDAHULUAN

Pembuatan pupuk organik dengan proses fermentasi merupakan metode yang umum digunakan karena bahan organik seperti kotoran hewan tidak dapat langsung diaplikasikan sebagai pupuk pada tanaman. Kotoran hewan berpotensi mengandung organisme patogen yang

dapat mengkotaminasi tanaman dan menimbulkan penyakit apabila langsung digunakan sebagai pupuk (Estancia & Widodo, 2019). Selain itu, bahan organik mengandung zat seperti karbohidrat, protein, dan lipid yang perlu diuraikan agar lebih mudah diserap oleh tanaman (Shakya et al., 2024). Proses fermentasi melibatkan penguraian senyawa kompleks menjadi sederhana dengan bantuan mikroorganisme. Reaksi yang terjadi pada proses fermentasi dapat meningkatkan maupun menurunkan kandungan unsur hara pada zat organik (Karimi et al., 2021). Proses fermentasi juga dapat mempengaruhi karakteristik fisikokimia dari bahan organik seperti peningkatan konsentrasi nitrogen amonium dan penurunan total kandungan karbon (Ardiansyah et al., 2021).

Pada proses fermentasi, penggunaan bioaktivator seperti EM-4 dapat mempercepat perkembangbiakan mikroorganisme yang membantu dalam dekomposisi bahan organik. EM-4 mengandung berbagai mikroorganisme yang dapat meningkatkan proses dekomposisi bahan organik sehingga unsur hara yang terkandung di dalamnya dapat lebih cepat diserap oleh tanaman (Yerizam et al., 2022). Keunggulan EM-4 terletak pada kemampuannya dalam meningkatkan proses dekomposisi bahan organik sehingga memberikan manfaat yang optimal bagi tanaman (Bayazitova et al., 2023). Proses fermentasi dari bahan organik yang sama dapat menghasilkan perbedaan perubahan kadar nitrogen, phosphor, maupun kalium meskipun dilakukan perlakuan yang sama (Widyabudiningsih et al., 2021). Sehingga bahan baku pembuatan pupuk serta proses fermentasi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kenaikan dan penurunan unsur hara (Alfionita et al., 2018)

Penelitian sebelumnya, melaporkan bahwa penggunaan pupuk organik dari kotoran walet melalui proses fermentasi dapat mempercepat pertumbuhan akar dan tanaman bawang merah Brebes, namun tidak dapat meningkatkan pertumbuhan berat umbi. Rendahnya kandungan unsur K pada pupuk dari burung walet, yaitu sekitar 0,13% kurang mencukupi kebutuhan. Kandungan K ini juga belum memenuhi standar dari Permentan (Nasruddin et al., 2021)

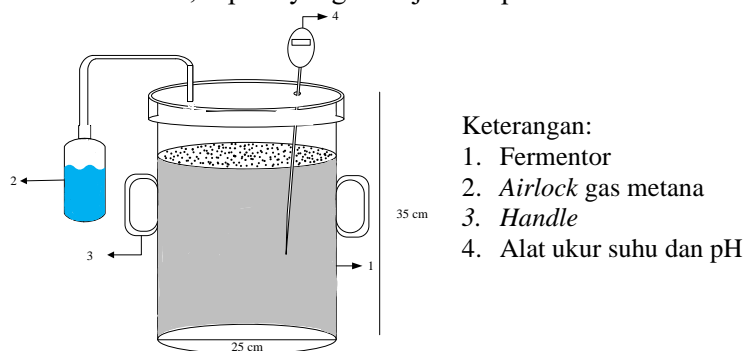
Guano atau kotoran kelelawar merupakan bahan organik yang kaya akan nutrisi penting bagi tanaman seperti fosfor (P), kalium (K), nitrogen (N), dan karbon organik (C-org). Komposisi Guano mengandung sekitar 20,6% P; 0,54% K; 8,32% N, dan 21,94% C-org (Idris, 2007). Walaupun kaya akan kandungan fosfor, namun kandungan Kalium pada Guano terlalu rendah. Sehingga belum cukup apabila digunakan untuk pupuk organik. Sementara itu, limbah baglog jamur tiram putih memiliki kandungan unsur hara seperti fosfat, kalium, nitrogen, dan karbon. Namun, kandungan unsur nitrogen dan fosfat dalam limbah baglog jamur tiram putih cenderung rendah. Sehingga pemanfaatan limbah baglog jamur tiram sebagai pupuk memerlukan penambahan bahan lain yang kaya akan unsur hara makro (Malinowska et al., 2023). Pada penelitian sebelumnya, limbah baglog jamur tiram putih diaplikasikan bersama dengan pupuk mineral untuk meningkatkan efisiensi nutrisi tanaman (Kuziemska et al., 2021). Dari penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi limbah baglog jamur tiram putih dengan pupuk mineral dapat menjadi strategi yang efektif dalam meningkatkan hasil panen tanaman. Tetapi, kombinasi baglog jamur tiram dengan pupuk mineral akan menimbulkan efek negatif terhadap lingkungan.

Pada penelitian ini, diproduksi pupuk organik dengan mengkombinasikan kotoran kelelawar yang kaya akan fosfat dan limbah baglog jamur tiram yang kaya akan kalium dengan penambahan mikroorganisme lokal EM-4. Penelitian ini bertujuan mengkaji proses fermentasi yang terjadi pada proses pembuatan pupuk organik dengan mengobservasi secara fisik maupun kimia dari produk pupuk organik yang dihasilkan pada berbagai waktu fermentasi. Sehingga akan diketahui waktu fermentasi optimal untuk menghasilkan pupuk organik dengan kandungan nitrogen, fosfat, dan kalium yang sesuai dengan Permentan tahun 2019. Kombinasi Baglog jamur tiram dan Guano belum pernah dilakukan sebelumnya sehingga penelitian ini akan memberikan solusi permasalahan pupuk disamping juga berkontribusi mengatasi limbah baglog jamur tiram yang melimpah serta kotoran kelelawar yang selama ini terabaikan.

METODE

Pembuatan pupuk multinutrien berbahan limbah baglog jamur tiram putih dan kotoran

kelelawar dilakukan dengan menggunakan proses fermentasi anaerob. Bahan yang digunakan adalah limbah baglog jamur tiram putih, kotoran kelelawar, bioaktivator berupa EM-4, dan gula pasir, dan air. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi massa limbah baglog jamur tiram putih sebanyak 5 kg, massa kotoran kelelawar sebanyak 5 kg, volume EM-4 sebanyak 10 ml, massa gula pasir sebanyak 10 gram, dan volume air sebanyak 500 ml. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah tabung fermentor berkapasitas 25 liter yang dilengkapi dengan *airlock* gas metana dan handle, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



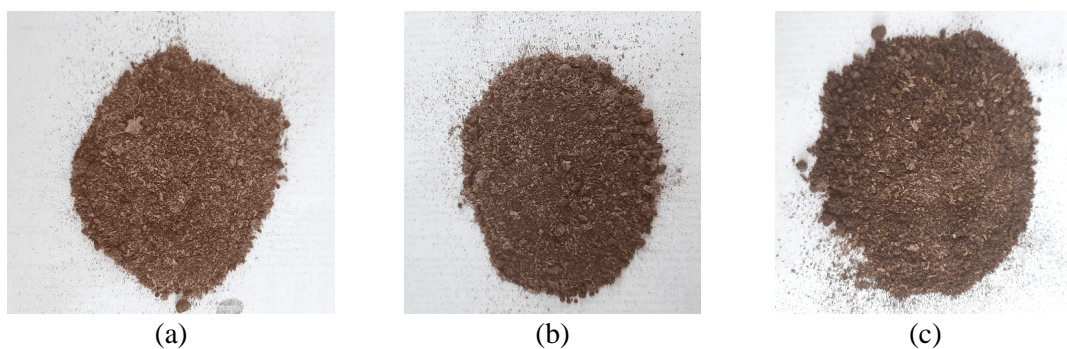
Gambar 1. Rangkaian Alat Fermentasi

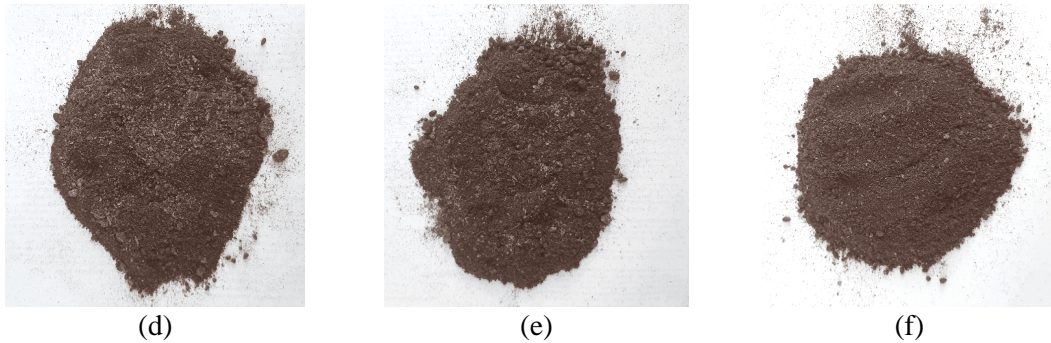
Peralatan lain yang digunakan yaitu: pHmeter, *thermometer*, neraca analitik, dan bak pencampur. Penelitian dilakukan dengan variable waktu fermentasi selama 8, 12, 16, dan 20 hari.

Prosedur pembuatan pupuk multinutrien dimulai dengan mencampurkan limbah baglog jamur tiram putih dan kotoran kelelawar. Selanjutnya, 10 ml EM-4 dan 10 gram gula dilarutkan ke dalam 500 ml air, kemudian larutan ini dicampurkan dengan campuran limbah baglog jamur tiram putih dan kotoran kelelawar di dalam fermentor dan ditutup rapat untuk menciptakan kondisi anaerob. Fermentasi dilakukan sesuai dengan variabel waktu yang telah ditetapkan, sambil dilakukan pembalikan setiap hari pada pupuk. Pupuk dipanen sesuai dengan waktu fermentasi untuk kemudian dianalisis kandungan nitrogen, fosfat, dan kaliumnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses fermentasi yang diterapkan pada campuran limbah baglog jamur tiram dan guano menunjukkan warna yang berbeda-beda pada lama waktu fermentasi yang berbeda. Pada awal pengomposan, terlihat warna yang serupa dengan bahan mentah, yaitu coklat. Namun, pada akhir pengomposan terjadi perubahan warna menjadi coklat kehitaman menyerupai warna tanah. Gambar penampakan pupuk organik pada berbagai waktu fermentasi ditampilkan pada gambar 2. Selain mengalami perubahan warna dan tekstur, maka juga terjadi perubahan bau atau aroma. Jika sebelumnya tercium aroma yang menyengat dari kotoran kelelawar, maka sejalan dengan waktu fermentasi, terjadi pengurangan aroma hingga pada fermentasi ke 16 aroma busuk pada pupuk telah hilang dan menjadi aroma seperti tanah.





Gambar 2. Warna dan Tekstur Pupuk pada Fermentasi (a) Hari ke-0; (b) Hari ke-4; (c) Hari ke-8; (d) Hari ke-12; (e) Hari ke-16; (f) Hari ke-20

Sejalan dengan penelitian sebelumnya, bahwa pada proses fermentasi terjadi perubahan signifikan pada pupuk, seperti tekstur, warna, dan aroma. Perubahan ini dapat berfungsi sebagai indikator keberhasilan fermentasi (Tallo & Sio, 2019). Pengomposan melibatkan interaksi kompleks aktivitas mikroba, bioaktivator, dan komposisi limbah organik yang secara bersama-sama mempengaruhi kualitas kompos. Proses pengomposan sangat penting untuk menguraikan bahan organik menjadi kompos berkualitas tinggi. Kompos yang baik memiliki karakteristik seperti warna coklat tua, sedikit kelembapan, dan tidak ada sisa bahan mentah, yang menunjukkan telah terjadi proses dekomposisi (Wardoyo & Anwar, 2021). Proses dekomposisi ini dapat berlangsung dengan relatif lebih cepat dengan ditambahkan mikroorganisme lokal seperti EM-4. Bioaktivator seperti EM-4 dapat mempercepat proses pematangan kompos (Muktiningsih et al., 2016). Kompos berkualitas dapat diidentifikasi melalui perubahan warna, tidak adanya aroma, kadar air yang rendah, dan suhu sekitar yang stabil (Natsir et al., 2022). Perubahan fisik selama pengomposan, seperti warna yang menghitam, tekstur mirip tanah, dan penurunan kadar air, menunjukkan percepatan dekomposisi bahan organik (Karyono & Laksono, 2019). Aroma kompos berubah dari aroma kuat karena kandungan nitrogen tinggi menjadi aroma tanah yang matang (Sastrawan, 2023).

Bioaktivator, seperti EM-4 mempengaruhi parameter kualitas kompos seperti suhu, pH, kadar kelembaban, rasio C/N, dan bahan organik (Praharsiwi, 2021). Komposisi limbah organik yang berbeda dan penggunaan bioaktivator mempengaruhi kualitas kompos (Syahban, 2024). Jamur seperti *Trichoderma spp.* dan *Gliocladium virens* meningkatkan kualitas kompos (Windyarini et al., 2018).

Pada penelitian ini juga didapatkan hasil Analisa kandungan nitrogen dan fosfat pada variasi waktu fermentasi. Analisa produk dilakukan di *Environmental Laboratory, Mechanical, and Calibration* Mutiara Kebonagung Sidoarjo. Analisa unsur Fosfat dan Kalium dilakukan dengan metode spektrofotometri, sedangkan analisa unsur Nitrogen dilakukan dengan metode *Kjeldahl*. Hasil Analisa kadar Nitrogen, Fosfat, dan Kalium pada berbagai waktu fermentasi ditunjukkan pada Tabel 1.

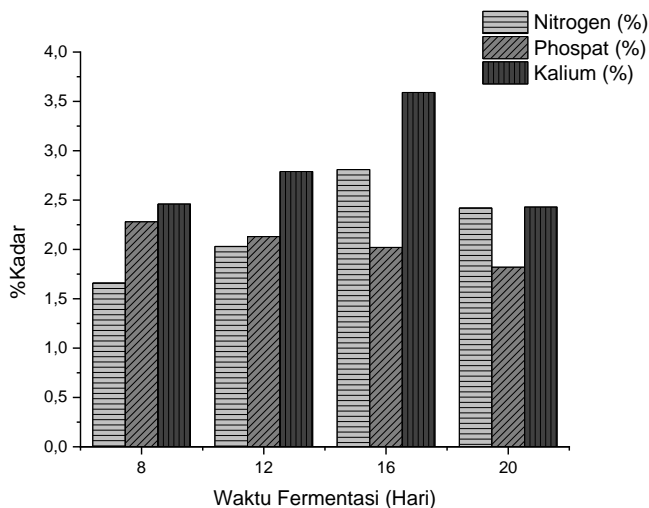
Tabel 1. Hasil Analisa Kadar Nitrogen, Fosfat, dan Kalium

Waktu Fermentasi (Hari)	Nitrogen (%)	Fosfat (%)	Kalium (%)
8	1,66	2,28	2,46
12	2,03	2,13	2,79
16	2,81	2,02	3,59
20	2,42	1,82	2,43

Sumber: *Environmental Laboratory, Mechanical, and Calibration* Mutiara Kebonagung Sidoarjo 2023

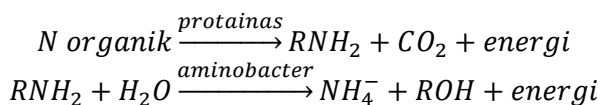
Hasil analisa kadar Nitrogen menggunakan metode *Kjeldahl* pada pupuk multinitrien menunjukkan kadar nitrogen tertinggi terjadi pada fermentasi hari ke-16 yaitu sebesar 2,81%, sedangkan kadar nitrogen terendah diperoleh pada fermentasi hari ke-8 yaitu sebesar 1,66%. Hasil

analisa kadar Phospat menggunakan metode spektrofotometri pada pupuk multinutrient menunjukkan kadar tertinggi pada fermentasi hari ke-8 yaitu sebesar 2,28%, sedangkan kadar nitrogen terendah diperoleh pada fermentasi hari ke-20 yaitu sebesar 1,82%. dan Hasil analisa kadar Kalium menggunakan metode spektrofotometri pada pupuk multinutrient menunjukkan kadar tertinggi pada fermentasi hari ke-16 yaitu sebesar 3,59%, sedangkan kadar nitrogen terendah diperoleh pada fermentasi hari ke-8 yaitu sebesar 2,46%. Dari tabel 1 dapat dibuat diagram Hubungan waktu fermentasi terhadap kadar nitrogen, phospat, dan kalium yang ditunjukkan pada Gambar 3.

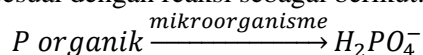


Gambar 3 Diagram Hubungan Waktu Fermentasi Terhadap Kadar Nitrogen, Phospat, dan Kalium

Kondisi terbaik dengan kadar nitrogen tertinggi diperoleh pada fermentasi hari ke-16 yang disebabkan oleh kotoran kelelawar yang memiliki kandungan Nitrogen awal yang lebih tinggi dibandingkan Limbag Baglog Jamur, sehingga apabila digunakan perbandingan kotoran kelelawar yang lebih besar daripada limbah baglog, maka akan dihasilkan pupuk organik dengan kandungan Nitrogen yang lebih tinggi. Kotoran kelelawar memiliki kandungan nitrogen yang tinggi, yang dapat berdampak pada peningkatan aktivitas mikroorganisme dalam proses dekomposisi limbah baglog jamur tiram. Mikroorganisme ini memanfaatkan nitrogen untuk sintesis protein, yang pada gilirannya meningkatkan kadar nitrogen, fosfat, dan kalium dalam kompos. Proses dekomposisi limbah baglog jamur tiram yang kaya karbon juga dapat meningkatkan temperatur karena aktivitas mikroorganisme yang semakin intens. Pada grafik yang disajikan, terlihat bahwa kadar nitrogen mengalami peningkatan dari hari ke-8 hingga hari ke-16, yang mengindikasikan adanya proses metabolisme mikroorganisme yang aktif dan pertumbuhan sel yang cepat pada tahap awal (Atmaja 2017). Grafik tersebut juga menunjukkan pada semua komposisi, kadar Nitrogen (%) mengalami kenaikan dari hari ke-8 hingga hari ke-16. Pada tahap awal, mikroorganisme sedang beradaptasi dan melakukan metabolisme yang menyebabkan peningkatan ukuran sel. Selanjutnya, sel-sel ini menggunakan karbon sebagai sumber makanan dan berkembang biak. Proses penguraian nitrogen organik, terutama protein, melibatkan dua proses mikrobiologi utama, yaitu amonifikasi dan nitrifikasi. Amonifikasi adalah proses di mana nitrogen organik diubah menjadi amonium melalui proteolisis dan aminifikasi. Proteolisis melibatkan pelepasan asam amino dari bahan organik, sedangkan aminifikasi melibatkan reduksi nitrogen amino menjadi NH_4 . Berikut adalah reaksi yang terlibat dalam proses ini.:



Kondisi terbaik dengan kadar fosfat tertinggi diperoleh pada fermentasi hari ke-8 yang disebabkan oleh kotoran kelelawar yang memiliki kandungan Fosfat awal yang lebih tinggi dibandingkan Limbag Baglog Jamur. Grafik tersebut juga menunjukkan kadar Fosfat (%) mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu fermentasi. Penurunan kadar fosfat diduga disebabkan oleh hilangnya sebagian unsur fosfat selama proses fermentasi yang berlangsung lebih lama. Hal ini terjadi karena fosfat yang tersedia dikonsumsi oleh mikroorganisme selama proses fermentasi. Selain itu, H_2PO_4 yang dihasilkan dari transformasi fosfor organik cenderung larut dalam air selama proses fermentasi. Secara biokimia, fosfor organik akan mengalami transformasi menjadi H_2PO_4 sesuai dengan reaksi sebagai berikut:



(Simanungkalit, 2006)

Fosfat merupakan nutrisi penting bagi mikroorganisme karena diperlukan untuk pembentukan sel, material seluler, dan perkembangan inti sel (Sosa, 2018). Mikroorganisme menghasilkan enzim fosfatase yang membantu dalam degradasi bahan organik dan asimilasi fosfat. Tingkat mikroorganisme yang tidak memadai dalam kompos dapat menghambat pemecahan bahan organik dan penyerapan fosfat, sehingga fosfat tidak dimanfaatkan secara optimal. Sebaliknya, tingkat mikroorganisme yang optimal memfasilitasi proses degradasi bahan organik dan asimilasi fosfat secara efisien (Sosa, 2018).

Polifosfat (poly-P) memainkan peran penting dalam fungsi regulasi dalam sel prokariotik dalam metabolisme mikroba (Bai et al., 2020). Poly-P terdiri dari bagian-bagian fosfat yang terhubung melalui ikatan fosfoanhydride dengan energi tinggi. Selain itu, di bawah kondisi aerob, sel bakteri menyerap fosfat dan mengubahnya menjadi polifosfat, yang menghasilkan efisiensi penghilangan fosfat yang tinggi (Fauzi et al., 2023). Selain itu, mikroba pelarut fosfat (PSM) adalah mikroorganisme bermanfaat yang mampu mengubah senyawa fosfor organik dan anorganik yang tidak larut menjadi bentuk larut yang dapat dengan mudah diserap oleh tanaman (Kalayu, 2019). PSM ini meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan mempengaruhi berbagai atribut biokimia seperti kandungan protein, homeostasis fitohormon, dan kandungan pigmen (Tariq & Ahmed, 2023).

Gambar 3 juga menunjukkan bahwa Kadar Kalium (%) mengalami kenaikan pada fermentasi hari ke-8 hingga hari ke-16 yang juga terjadi pada semua variasi perbandingan komposisi. Hal tersebut terjadi karena kalium merupakan senyawa yang dihasilkan oleh metabolisme bakteri, dimana bakteri menggunakan ion-ion K yang bebas pada bahan pembuat kompos untuk keperluan metabolisme, sehingga pada hasil dekomposisi, kalium akan meningkat seiring dengan semakin berkembangnya jumlah bakteri dekomposer. Kandungan kalium tertinggi pada semua komposisi menunjukkan pada waktu fermentasi hari ke-16, karena lebih banyak terbentuknya asam organik selama proses penguraian yang dapat menyebabkan daya larut unsur K menjadi lebih tinggi, sehingga akan lebih banyak menyediakan unsur kalium bagi tanaman (Wardah et al., 2021). Kalium mengalami penurunan pada hari ke-16 karena mikroorganisme terkait telah mencapai fase stasioner dan akan mengalami fase kematian. Hal tersebut sesuai dengan (Nasution et al., 2017) bahwa saat cadangan makanan yang bersumber dari kalium telah habis, mikroorganisme akan mengalami fase kematian dan menyebabkan kadar kalium mengalami penurunan.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa fermentasi limbah baglog jamur tiram putih dan kotoran kelelawar dapat menghasilkan pupuk multinutrien dengan kandungan nitrogen, fosfat, dan kalium yang bervariasi tergantung pada waktu fermentasi. Hasil analisa menunjukkan bahwa kadar nitrogen tertinggi diperoleh pada fermentasi hari ke-16 dengan kadar 2.81%. Kadar fosfat tertinggi diperoleh pada fermentasi hari ke-8 dengan kadar 2.28%. Sementara itu, kadar kalium tertinggi juga diperoleh pada fermentasi hari ke-16 dengan kadar 3.59%.

Fermentasi pada hari ke-16 merupakan kondisi terbaik untuk memperoleh kandungan nitrogen dan kalium tertinggi, sementara fermentasi pada hari ke-8 adalah yang terbaik untuk memperoleh kandungan fosfat tertinggi. Penggunaan kotoran kelelawar yang kaya akan nutrisi seperti nitrogen dan fosfat terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas pupuk organik yang dihasilkan dari limbah baglog jamur tiram putih. Kombinasi kedua bahan ini dapat memaksimalkan potensi limbah dan menghasilkan pupuk dengan kandungan nutrisi yang tinggi, sehingga dapat mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih baik dan berkontribusi pada praktik pertanian yang berkelanjutan.

DAFTAR RUJUKAN

- Alfionita, R., Paranoan, R. R., & Kesumaningwati, R. (2018). Pemberian Bokashi Kotoran Walet Terhadap Beberapa Sifat Kimia Tanah dan Pertumbuhan Serta Hasil Tanaman Cabai Merah (*Capsicum annum L.*) Application of Bokashi Swallow Dirt to Some Properties of Land Chemistry and Growth and Results of Plant of Red Branch. *Agroekoteknologi*, *1*, 43–52.
- Ardiansyah, Nada, A., Rahmawati, N. T. I., Oktriani, A., David, W., Astuti, R. M., Handoko, D. D., Kusbiantoro, B., Budijanto, S., & Shirakawa, H. (2021). Volatile compounds, sensory profile and phenolic compounds in fermented rice bran. *Plants*, *10*(6), 1073.
- Atmaja, I., Tika, I., & Wijaya, I. (2017). The Effect Composition Ratio of Raw Material on Compost Quality and Timing for Composting. *Jurnal BETA (Biosistem Dan Teknik Pertanian)*, *5*(1), 111–119.
- Bai, Y., Stout, L., Unal-Tosun, G., Li, J., & Jaisi, D. (2020). Synthesis and degradation of polyphosphate: isotope effects in enzyme-and bacteria-catalyzed reactions. *ACS Earth and Space Chemistry*, *4*(12), 2327–2336.
- Bayazitova, Z., Kurmanbayeva, A., Kakabayev, A., Belgibayeva, A., & Baidalin, M. (2023). Impacts of Anaerobic Thermophilic Fermentation on Physicochemical Characteristics of Effluents Derived from Diverse Organic Feedstocks. *Journal Homepage: Http://ieta. Org/Journals/Ijdne*, *18*(6), 1417–1425.
- Estancia, K., & Widodo, W. (2019). Identification of Conjugated Linoleic Acid in Milk Fermented by Probiotics Originating in the Gastrointestinal Tract. *Buletin Peternakan*, *43*(2), 147–150.
- Fauzi, M., Soewondo, P., Nur, A., Handajani, M., Tedjakusuma, T., Oginawati, K., & Setiyawan, A. S. (2023). Performances of Polyethylene Terephthalate Plastic Bottles Waste as Supporting Media in Domestic Wastewater Treatment Using Aerobic Fixed-Film System. *Journal of Ecological Engineering*, *24*(10).
- Idris, K. (2007). Potential and possibility of direct use of guano as fertilizer in Indonesia. *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, *9*(1), 37–43.
- Kalayu, G. (2019). Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers. *International Journal of Agronomy*, *2019*(1), 4917256.
- Karimi, N., Pourahmad, R., Taheri, S., & Eyvazzadeh, O. (2021). Isolation and purification of bioactive peptides from yogurt whey: Application as a natural preservative in a model food system. *Journal of Food Processing and Preservation*, *45*(12), e16086.
- Karyono, T., & Laksono, J. (2019). Kualitas fisik kompos feses sapi potong dan kulit kopi dengan penambahan aktivator mol bongkol pisang dan EM4. *Jurnal Peternakan Indonesia*, *21*(2), 154–162.
- Kuziemska, B., Trębicka, J., & Wysokinski, A. (2021). Uptake and utilization of nitrogen from organic fertilizers influenced by different doses of copper. *Agronomy*, *11*(6), 1219.
- Malinowska, E., Wiśniewska-Kadzajan, B., Ostaszewska, U., & Horaczek, T. (2023). The Effects of Various Organic Materials on *Dactylis glomerata* Yield and Content of Selected Macroelements. *Journal of Ecological Engineering*, *24*(7).
- Muktiningsih, S. D., Wirosedarmo, R., Haji, A. T. S., Anugroho, F., Sulianto, A. A., & Lusiana, N. (2016). Technical evaluation of leaves composting in UPT Kompos Universitas Brawijaya. *Jurnal Teknologi Pertanian*, *17*(3), 165–176.

- Nasruddin, I., Bayfurqon, F. M., & Rahayu, Y. S. (2021). Efektivitas Pemberian Poc Kotoran Burung Walet Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Bawang Merah (*Allium Ascalonicum* L.). *Ziraa'Ah Majalah Ilmiah Pertanian*, 46(2), 198. <https://doi.org/10.31602/zmip.v46i2.4345>
- Nasution, H., J, H. D., & Laira, U. (2017). Pemanfaatan Limbah Cair Tahu Dan Daun Gamal (*Gliricidia Sepium*) Sebagai Pupuk Organik Cair Dengan Metoda Fermentasi Dengan Aktivator Em4. *Photon: Jurnal Sain Dan Kesehatan*, 8(01), 127–135. <https://doi.org/10.37859/jp.v8i01.546>
- Natsir, M. F., Amqam, H., Purnama, D. R., Syamsurijal, V. A. D., & Amir, A. U. (2022). Analisis Kualitas Kompos Limbah Organik Rumah Tangga Berdasarkan Variasi Dosis Mol Tomat. *Promotif: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 12(2), 155–163.
- Praharsiwi, C. S. (2021). Pengembangan Potensi Desa Ngestiharjo, Wates, Kulon Progo, Yogyakarta dengan Bantuan Pembuatan Pupuk Organik Cair dari Limbah Organik Rumah Tangga. *Jurnal Atma Inovasia*, 1(1), 89–94.
- Sastrawan, I. G. Y. J. (2023). Pengaruh Kombinasi Limbah Jagung Ketan (*Zea mays ceratina*) dan Kotoran Sapi pada Proses Pengomposan dengan Bioaktivator Berbeda di Desa Lokasari. *Program Studi Teknik Pertanian Dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Badung, Bali, Indonesia, Vol 11 No.*
- Shakya, S., Danshiitsoodol, N., Noda, M., & Sugiyama, M. (2024). Role of phenolic acid metabolism in enhancing bioactivity of *Mentha* extract fermented with plant-derived *Lactobacillus plantarum* SN13T. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 16(3), 1052–1064.
- Simanungkalit, R. D. M. (2006). *Pupuk organik dan pupuk hayati = Organic fertilizer and biofertilizer*. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Sosa, O. A. (2018). Phosphorus redox reactions as pinch hitters in microbial metabolism. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(1), 7–8.
- Syahban, S. R. (2024). Response of Growth and Seed Yield of Mung Bean (*Vigna radiata* L.) to Chicken Manure and Banana Hump Liquid Organic Fertilizer Application. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung Vol*, 13(1), 147–154.
- Tallo, M. L. L., & Sio, S. (2019). Pengaruh Lama Fermentasi terhadap Kualitas Pupuk Bokashi Padat Kotoran Sapi. *Jas*, 4(1), 12–14. <https://doi.org/10.32938/ja.v4i1.646>
- Tariq, A., & Ahmed, A. (2023). *Phosphate solubilization potential of PSB: An advance approach to enhance phosphorous availability for phytostimulation.*
- Wardah, Utami, K. B., & Syamsuddin, A. (2021). Pengaruh Lama Fermentasi Terhadap Kualitas Nitrogen, Fospor dan Kalium pada Pupuk Trichokompos. / *Jurnal Agriekstensia*, 20(2), 160–168.
- Wardoyo, S., & Anwar, T. (2021). Perbedaan penggunaan komposter an-aerob dan aerob terhadap laju proses pengomposan sampah organik. *Poltekita: Jurnal Ilmu Kesehatan*, 15(3), 251–255.
- Widyabudiningsih, D., Troskialina, L., Fauziah, S., Shalihatunnisa, S., Riniati, R., Siti Djener, 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>
- Windyarini, E., Leksono, B., & Hasna, T. M. (2018). Compost Quality of Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) Solid Waste Oil Industri with Four Starters. *Jurnal Wasian*, 5(2), 127–134.
- Yerizam, M., Norfhairna, N., Margaretty, E., Hajar, I., Meilianti, M., Supraptiah, E., Silviyati, I., & Salsabila, J. (2022). Liquid organic fertilizer production from kersen leaves (*Muntingia calabura* L.) and Eggshells with addition of spoiled rice Local Microorganism (Mol) bioactivator. *5th FIRST T1 T2 2021 International Conference (FIRST-T1-T2 2021)*, 426–430.