

Fermentasi limbah padat serai wangi penambahan kotoran sapi untuk pupuk organik berkualitas mendukung kesehatan tanaman berkelanjutan

Fermentation of citronella solid waste with cow manure to produce quality organic fertilizer for sustainable plant health

Amelia Agustina Limbongan^{1*}, Wahida², Mega Ayu Yusuf², Mariana Lusia Resubun¹, Irba Djaja¹, dan Maya Sari Rupang¹

AFILIASI

¹Program Studi Agroteknologi,
Fakultas Pertanian, Universitas
Musamus

²Program Studi Teknik
Pertanian, Fakultas Pertanian,
Universitas Musamus

*Korespondensi:

limbongan@unmus.ac.id

Diterima: 07-08-2026

Disetujui: 13-10-2026

COPYRIGHT @ 2026 by
Agricola: Jurnal Pertanian.
This work is licensed under a
Creative Commons Attributions
4.0 International License

ABSTRACT

The utilization of agricultural waste as organic fertilizer is an important strategy for improving soil health and supporting sustainable plant protection systems. Citronella distillation residue (*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle) is a by-product of the essential oil extraction process that may pose environmental problems if not properly managed. This study aimed to evaluate changes in the physicochemical characteristics and nutrient content of citronella distillation residues during fermentation with different proportions of cow manure and to identify the most suitable formulation for producing high-quality organic fertilizer. The experiment was conducted from July to September 2025 in a screen house and the Soil Chemistry and Plant Nutrition Laboratory. Fermentation was performed using four ratios of citronella distillation residues to cow manure (1:1, 1:2, 1:3, and 1:4), supplemented with rice bran, palm sugar, water, and EM4 as fermentation activators. This study employed standard laboratory methods to analyze the chemical and physical properties and nutrient contents of the organic fertilizer. The evaluated parameters included organic carbon (C-organic), C/N ratio, pH, moisture content, total nitrogen (N), phosphorus (P₂O₅), and potassium (K₂O). Data were analyzed using a descriptive comparative approach by comparing the physicochemical characteristics before and after fermentation. The results demonstrated that fermentation reduced organic carbon content and the C/N ratio while increasing the concentrations of N, P₂O₅, and K₂O, as well as pH and moisture content. The 1:4 ratio of citronella distillation residues to cow manure produced the best-quality organic fertilizer, as indicated by the lowest C/N ratio and the highest N, P₂O₅, and K₂O contents among all treatments. These findings demonstrate that fermentation effectively converts citronella distillation residues into a more stable and nutrient-rich organic fertilizer, highlighting its potential as an environmentally friendly alternative for agricultural waste utilization and organic fertilizer production.

KEYWORDS: Citronella solid waste, Fermentation, Cow manure, Organic fertilizer, Soil health.

ABSTRAK

Pemanfaatan limbah pertanian menjadi pupuk organik merupakan salah satu strategi untuk mendukung kesehatan tanah dan sistem perlindungan tanaman yang berkelanjutan. Limbah padat serai wangi (*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle) merupakan hasil samping proses destilasi minyak atsiri yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak dimanfaatkan secara optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi perubahan karakteristik fisikokimia dan kandungan hara limbah padat serai wangi selama proses fermentasi menggunakan beberapa proporsi kotoran sapi serta mengidentifikasi formulasi terbaik dalam menghasilkan pupuk organik berkualitas. Penelitian dilaksanakan pada Juli–September 2025 di screen house dan Laboratorium Kimia Tanah dan Nutrisi Tanaman. Fermentasi dilakukan menggunakan empat perbandingan limbah padat serai wangi dan kotoran sapi, yaitu 1:1, 1:2, 1:3, dan 1:4, dengan penambahan dedak, gula merah, air, dan EM4 sebagai aktivator. Penelitian ini menggunakan metode laboratorium standar untuk menganalisis sifat kimia dan fisik serta kandungan nutrisi pupuk organik.

Parameter yang diamati meliputi C-organik, rasio C/N, pH, kadar air, serta kandungan nitrogen (N), fosfor (P_2O_5), dan kalium (K_2O). Data dianalisis secara deskriptif komparatif dengan membandingkan karakteristik bahan sebelum dan sesudah fermentasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fermentasi menurunkan kadar C-organik dan rasio C/N serta meningkatkan kandungan N, P_2O_5 , K_2O , pH, dan kadar air bahan organik. Perlakuan dengan perbandingan limbah padat serai wangi dan kotoran sapi 1:4 menghasilkan kualitas pupuk organik terbaik, yang ditunjukkan oleh rasio C/N terendah serta kandungan N, P_2O_5 , dan K_2O tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa proses fermentasi secara efektif mengubah limbah padat hasil destilasi serai wangi menjadi pupuk organik yang lebih stabil dan kaya hara, sehingga berpotensi menjadi alternatif yang ramah lingkungan dalam pemanfaatan limbah pertanian dan produksi pupuk organik.

KATA KUNCI: Limbah padat serai wangi, Fermentasi, Kotoran sapi, Pupuk organik, Kesehatan tanah.

1. PENDAHULUAN

Kesehatan tanah dan tanaman merupakan salah satu faktor utama dalam mewujudkan sistem pertanian berkelanjutan. Tanaman yang tumbuh pada tanah yang sehat umumnya memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menyerap unsur hara, mempertahankan pertumbuhan, serta meningkatkan toleransi terhadap berbagai cekaman biotik maupun abiotik. Oleh karena itu, konsep perlindungan tanaman modern tidak hanya berfokus pada pengendalian organisme pengganggu tanaman (OPT), tetapi juga menekankan pendekatan preventif melalui peningkatan kesehatan tanah dan tanaman. Salah satu upaya yang banyak dikembangkan adalah penggunaan pupuk organik sebagai bagian dari sistem budidaya yang ramah lingkungan (Deguine et al., 2021; Limbongan et al., 2025). Selain penggunaan pupuk organik, pemanfaatan sumber daya hayati lokal sebagai pestisida nabati juga merupakan bagian dari strategi perlindungan tanaman berkelanjutan yang bertujuan mengurangi ketergantungan terhadap input kimia sintetis (Hisa et al., 2017).

Pupuk organik tidak hanya berfungsi sebagai sumber unsur hara bagi tanaman, tetapi juga berperan dalam memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah (Assefa & Tadesse, 2019; Bhatt et al., 2019; Singh et al., 2020; Verma et al., 2019). Peningkatan kandungan bahan organik tanah mampu memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas menahan air, merangsang aktivitas mikroorganisme yang menguntungkan, serta meningkatkan efisiensi siklus hara. Kondisi tersebut menciptakan lingkungan perakaran yang lebih sehat sehingga secara tidak langsung mendukung pertumbuhan tanaman dan meningkatkan ketahanannya terhadap berbagai cekaman. Namun demikian, bahan organik segar umumnya memiliki rasio karbon terhadap nitrogen (C/N) yang tinggi sehingga proses dekomposisinya berlangsung lambat dan berpotensi menyebabkan imobilisasi nitrogen setelah diaplikasikan ke tanah (Wang et al., 2019). Oleh karena itu, diperlukan proses pengolahan untuk menghasilkan pupuk organik yang matang, stabil, dan memiliki kandungan hara yang lebih tersedia bagi tanaman.

Pemanfaatan limbah pertanian menjadi pupuk organik merupakan salah satu strategi yang mendukung pertanian berkelanjutan sekaligus mengurangi pencemaran lingkungan akibat akumulasi limbah organik. Pendekatan ini sejalan dengan konsep ekonomi sirkular, yaitu mengembalikan biomassa hasil samping pertanian ke dalam sistem produksi sebagai sumber bahan organik dan unsur hara. Selain meningkatkan kesuburan tanah, pemanfaatan limbah organik juga berpotensi memperbaiki kesehatan tanah, yang merupakan komponen penting dalam mendukung kesehatan tanaman (De Corato, 2020).

Serai wangi (*Cymbopogon nardus* (L.) Rendle) merupakan tanaman penghasil minyak atsiri yang banyak dimanfaatkan dalam industri kosmetik, farmasi, dan bahan pengusir serangga alami (Eden et al., 2020). Proses penyulingan minyak atsiri menghasilkan limbah padat dalam jumlah yang cukup besar. Limbah tersebut umumnya belum dimanfaatkan secara optimal sehingga berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan. Padahal, limbah padat serai wangi masih mengandung bahan organik yang cukup tinggi sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk organik melalui proses fermentasi (Asmaa et al., 2025; Mudarakna & Salam, 2022).

Fermentasi bahan organik merupakan salah satu metode yang banyak digunakan untuk mempercepat proses dekomposisi dan meningkatkan kualitas pupuk organik (Limbongan & Wahida, 2015; Yasin et al., 2020). Selama proses fermentasi, mikroorganisme memanfaatkan karbon sebagai sumber energi dan menguraikan senyawa organik kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana. Proses ini menyebabkan penurunan kadar karbon organik dan rasio C/N, serta meningkatkan ketersediaan unsur hara penting seperti nitrogen (N), fosfor

(P), dan kalium (K) yang dibutuhkan oleh tanaman (Mengqi et al., 2023). Selain itu, proses fermentasi juga dapat mempengaruhi karakteristik kimia lainnya seperti pH dan kadar air bahan utama pupuk organik. Perubahan parameter-parameter tersebut mencerminkan aktivitas mikroorganisme selama proses dekomposisi serta tingkat kematangan bahan organik yang dihasilkan (Azim et al., 2018; Hemidat et al., 2018).

Kotoran sapi merupakan salah satu bahan yang umum digunakan dalam proses fermentasi karena mengandung mikroorganisme dekomposer, bahan organik, serta unsur hara yang dapat mempercepat proses dekomposisi (Sagar et al., 2024). Meskipun demikian, perbedaan proporsi antara limbah padat serai wangi dan kotoran sapi diduga akan memengaruhi laju fermentasi, tingkat kematangan, serta kualitas pupuk organik yang dihasilkan. Informasi mengenai proporsi kotoran sapi yang optimal dalam fermentasi limbah padat serai wangi masih relatif terbatas (Kamar Zaman & Yaacob, 2022). Rentang rasio 1:1 hingga 1:4 dipilih untuk mengevaluasi pengaruh peningkatan proporsi kotoran sapi terhadap proses dekomposisi dan karakteristik akhir pupuk organik, dengan mempertimbangkan bahwa kotoran sapi berperan sebagai sumber bahan organik, unsur hara, dan mikroorganisme dekomposer. Penggunaan beberapa tingkat proporsi tersebut diharapkan dapat menunjukkan rasio yang paling sesuai antara limbah padat serai wangi dan kotoran sapi dalam menghasilkan bahan organik yang lebih matang dan kaya hara.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi perubahan karakteristik fisikokimia dan kandungan hara limbah padat serai wangi selama proses fermentasi menggunakan beberapa proporsi kotoran sapi serta mengidentifikasi formulasi yang menghasilkan kualitas pupuk organik terbaik berdasarkan parameter mutu pupuk organik. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam pemanfaatan limbah padat serai wangi sebagai pupuk organik yang berpotensi mendukung kesehatan tanah dan sistem perlindungan tanaman secara berkelanjutan.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dimulai pada tanggal 21 Juli sampai dengan tanggal 22 September 2025 di *screen house* dan laboratorium Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Musamus. Analisis sifat kimia bahan penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia Tanah dan Nutrisi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran.

2.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah padat serai wangi yang difermentasi menggunakan bahan-bahan sebagai berikut: kotoran sapi, dedak, gula merah, air, dan EM4. Hasil campuran bahan organik utama limbah padat serai wangi dengan bahan-bahan pendukung proses fermentasi tersebut kemudian dianalisis untuk mengetahui perubahan sifat fisikokimianya.

Alat yang digunakan meliputi: mesin pencacah, pisau dapur, timbangan analitik, pH meter, termometer tusuk/probe, cangkul, terpal, sarung tangan, sekop pasir, dan sekop genggam.

2.3. Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan dengan membandingkan karakteristik bahan organik sebelum dan sesudah proses fermentasi. Bahan organik awal dianalisis terlebih dahulu di Laboratorium Kimia Tanah dan Nutrisi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran untuk mengetahui sifat fisikokimianya sebagai data awal. Selanjutnya, bahan organik difermentasi menggunakan empat perlakuan yang berbeda, yaitu perlakuan 1:1, 1:2, 1:3, dan 1:4, yang merupakan perbandingan antara limbah padat serai wangi dan kotoran sapi. Proses fermentasi dilakukan hingga bahan mengalami perubahan karakteristik yang menunjukkan terjadinya proses dekomposisi.

Setelah proses fermentasi selesai, sampel dari masing-masing perlakuan dianalisis kembali di Laboratorium Kimia Tanah dan Nutrisi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran untuk menentukan perubahan sifat fisikokimia bahan tersebut.

2.4. Parameter yang Diamati

Parameter yang diamati adalah sebagai berikut:

- Kandungan karbon organik (C-organik) (%)
- Rasio C/N
- pH
- Kadar air (%)
- Kandungan nitrogen total (N) (%)
- Kandungan fosfor atau P (P_2O_5) (%)

- Kandungan kalium atau K (K_2O) (%)

Analisis kandungan C-organik, N, P, dan K dilakukan menggunakan metode analisis standar laboratorium kimia tanah dan nutrisi tanaman.

2.5. Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif-komparatif dengan membandingkan perubahan karakteristik fisikokimia dan kandungan unsur hara sebelum dan sesudah fermentasi pada setiap formulasi. Interpretasi hasil dilakukan berdasarkan tren perubahan masing-masing parameter dan dibandingkan dengan standar mutu pupuk organik yang berlaku serta hasil penelitian terdahulu.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut adalah hasil analisis kandungan persentase C organik, rasio C/N, persentase kadar air, pH, dan persentase senyawa makro (NPK) dari limbah padat serai wangi (Error! Reference source not found.).

Table 1. Analisis kandungan limbah padat serai wangi sebelum diolah menjadi pupuk organik (hasil analisis Laboratorium Kimia Tanah dan Nutrisi Tanaman, Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran, 2025).

No.	Parameter	Unit	Kandungan Limbah Padat Serai Wangi Sebelum Difermentasi
1	C-organik	%	55,27
2	Rasio C/N	-	157,91
3	Kadar air	%	4,04
4	pH	-	7,1
5	Nutrisi makro		
	N	%	0,35
	P_2O_5	%	0,5
	K_2O	%	0,54

Sebelum fermentasi, bahan memiliki kandungan C-organik sebesar 55,27%, rasio C/N sangat tinggi (157,91), pH netral (7,1), kadar air rendah (4,04%), serta kandungan hara makro relatif rendah (N 0,35%; P_2O_5 0,50%; K_2O 0,54%).

Table 2. Analisis kandungan produk pupuk organik berbahan dasar limbah padat serai wangi (hasil analisis Laboratorium Kimia Tanah dan Nutrisi Tanaman, Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran, 2025).

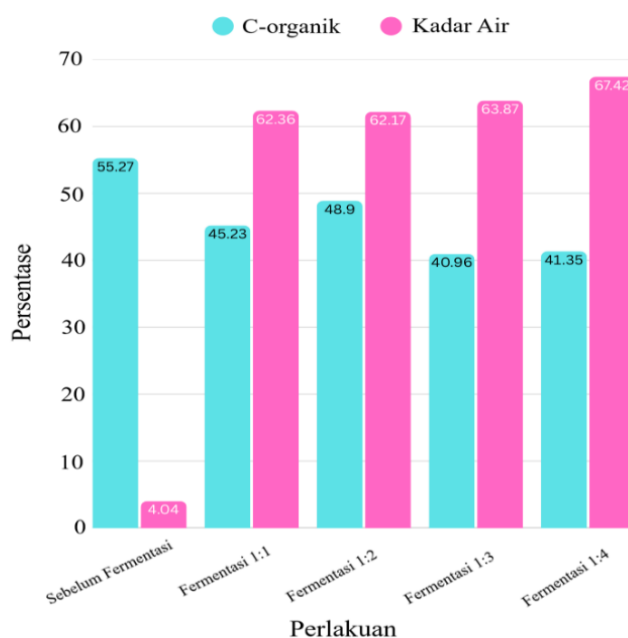
No.	Parameter	Unit	Kandungan Produk Pupuk Organik Berbahan Dasar Limbah Padat Serai Wangi			
			1:1	1:2	1:3	1:4
1	C-organik	%	45.23	48.9	40.96	41,35
2	Rasio C/N	-	34.79	43.27	25.12	24,9
3	Kandungan air	%	62.36	62.17	63.87	67,42
4	pH	-	7.7	7.9	8	8,1
5	Nutrisi makro					
	N	%	1.3	1.13	1.63	1,66
	P_2O_5	%	1.53	1.06	2	2,15
	K_2O	%	1.12	1.06	1.15	1,17

Proses fermentasi memberikan perubahan signifikan terhadap sifat kimia dan fisik bahan organik pada seluruh perlakuan (1:1, 1:2, 1:3, dan 1:4) dibandingkan bahan awal (sebelum fermentasi) (Tabel 2). Setelah fermentasi, seluruh perlakuan menunjukkan adanya penurunan C-organik, dengan nilai terendah pada perlakuan 1:3 (40,96%) dan 1:4 (41,35%), diikuti 1:1 (45,23%) dan 1:2 (48,90%) (Gambar 1). Penurunan C-organik selama proses fermentasi menunjukkan bahwa sebagian karbon organik telah digunakan oleh mikroorganisme sebagai sumber energi dan dikonversi menjadi CO₂, sehingga terjadi kehilangan karbon selama proses dekomposisi. Perlakuan dengan proporsi kotoran sapi yang lebih tinggi, terutama rasio 1:3 dan 1:4, menunjukkan penurunan C-organik yang lebih besar dibandingkan perlakuan lainnya, yang mengindikasikan berlangsungnya dekomposisi fraksi organik yang relatif lebih intensif. Kondisi ini bukan berarti kompos belum matang, melainkan terindikasi masih memiliki fraksi karbon yang memiliki struktur kimia yang kompleks sehingga proses dekomposisinya membutuhkan waktu yang lebih lama (Kamar Zaman & Yaacob, 2022).

Meskipun demikian, kadar C-organik pada seluruh kompos akhir masih tergolong tinggi, yaitu lebih dari 40%. Berdasarkan Peraturan Menteri Pertanian No. 261/KPTS/SR.310/M/4/2019, kadar C-organik minimum untuk pupuk organik padat adalah 15%, sehingga seluruh perlakuan telah memenuhi persyaratan minimum tersebut. Namun, kadar C-organik yang tinggi pada kompos akhir perlu mendapat perhatian karena dapat menunjukkan bahwa sebagian besar karbon organik belum mengalami mineralisasi lebih lanjut.

Tingginya kadar C-organik pada penelitian ini diduga berkaitan dengan karakteristik limbah serai wangi hasil penyulingan yang masih mengandung komponen struktural tanaman, terutama lignin. Senyawa organik ini lebih sulit terdegradasi, maka selama fermentasi terjadi penguraian bahan organik yang mudah terdekomposisi, fraksi karbon struktural yang lebih resisten dapat tetap tertinggal dalam produk akhir dan menyebabkan kadar C-organik tetap tinggi (Kaur et al., 2022).

Perbedaan kadar C-organik antarperlakuan juga menunjukkan bahwa komposisi bahan awal berpengaruh terhadap karakteristik produk akhir. Penambahan kotoran sapi pada rasio 1:3 dan 1:4 menghasilkan kadar C-organik yang lebih rendah dibandingkan rasio 1:1 dan 1:2. Hal ini kemungkinan berkaitan dengan kontribusi bahan yang lebih mudah terdekomposisi dari kotoran sapi serta peningkatan aktivitas mikroorganisme selama proses fermentasi (Zhang et al., 2023). Sebaliknya, proporsi limbah serai wangi yang lebih tinggi pada rasio 1:1 dan 1:2 dapat mempertahankan fraksi karbon struktural dalam jumlah lebih besar sehingga kadar C-organik akhir tetap tinggi. Sedangkan kadar air adonan mengalami peningkatan setelah difermentasi, yaitu mencapai 62,17–67,42%. (Gambar 1).



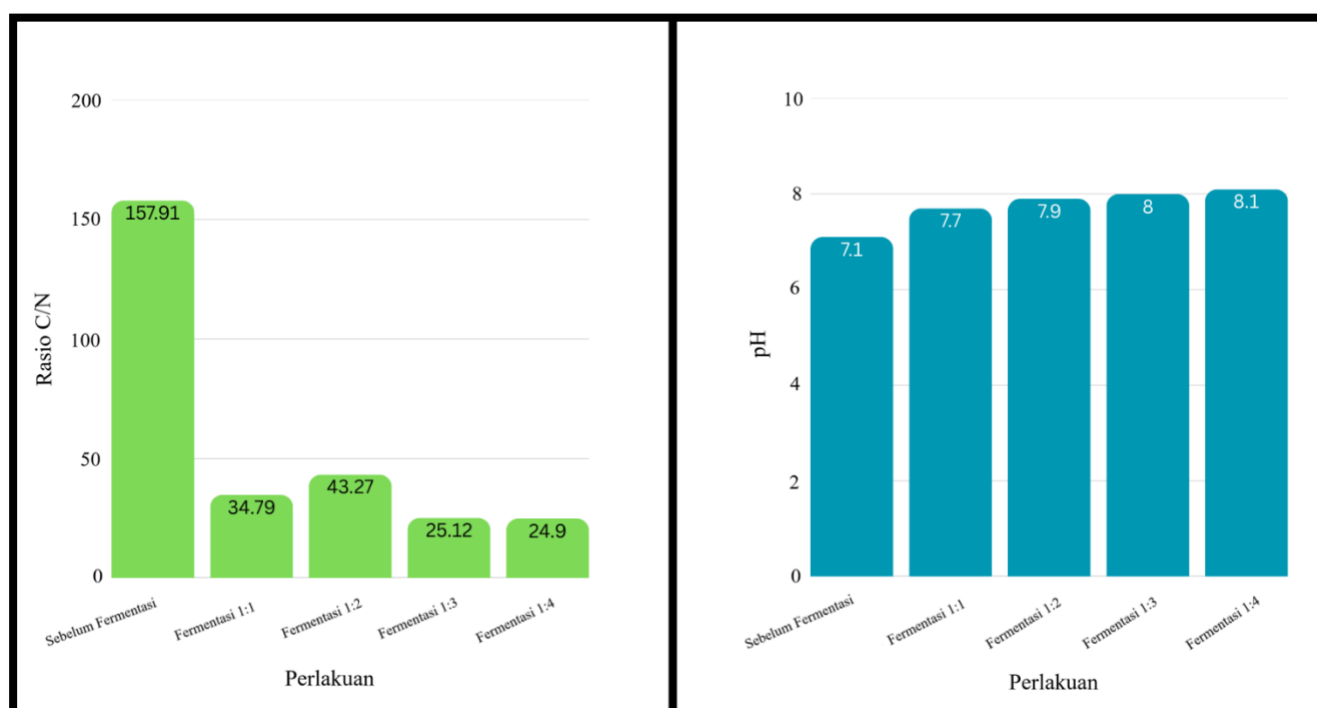
Gambar 1. Perbandingan Hasil Analisis Kadar Air dan Kandungan C-organik Pada Limbah Padat Serai Wangi Sebelum Difermentasi dan Sesudah Difermentasi Menjadi Produk Pupuk Organik.

Peningkatan kadar air ini menunjukkan bahwa bahan masih berada dalam kondisi relatif basah setelah proses fermentasi. Kondisi tersebut dapat berkaitan dengan adanya penambahan air selama proses pembuatan dan fermentasi, serta terbentuknya air sebagai salah satu produk metabolisme mikroorganisme selama proses dekomposisi bahan organik. Selain itu, struktur bahan organik yang telah mengalami pelapukan selama fermentasi dapat meningkatkan kemampuan bahan dalam mempertahankan air (Findlay, 2021).

Kadar air yang tinggi pada tahap ini perlu dibedakan dari kadar air produk pupuk organik padat yang telah melalui penanganan pasca-fermentasi. Nilai 62,17–67,42% yang diperoleh dalam penelitian ini merupakan kadar air bahan setelah fermentasi dan sebelum dilakukan proses pengeringan atau pematangan akhir (curing). Oleh karena itu, nilai tersebut belum merepresentasikan kadar air produk pupuk organik padat siap digunakan. Berdasarkan persyaratan teknis pupuk organik padat, kadar air produk akhir perlu diturunkan hingga berada dalam kisaran yang dipersyaratkan melalui proses penanganan pasca-fermentasi, terutama pengeringan dan pematangan akhir. Untuk itu, diperlukan tahap pengeringan dan pematangan lanjutan untuk menurunkan kadar air sekaligus memungkinkan berlangsungnya proses stabilisasi bahan organik lebih lanjut.

Dengan demikian, kadar air yang tinggi pada hasil penelitian ini lebih tepat disebut karakteristik bahan pada tahap pasca-fermentasi awal, bukan sebagai indikasi bahwa proses fermentasi tidak berlangsung. Namun, untuk menghasilkan pupuk organik padat yang siap diaplikasikan, diperlukan tahap pengeringan dan pematangan lanjutan untuk menurunkan kadar air sekaligus memungkinkan berlangsungnya proses stabilisasi bahan organik lebih lanjut (Kong et al., 2023). Tahap pasca-fermentasi penting untuk memastikan produk akhir memiliki kadar air yang sesuai dengan persyaratan mutu dan lebih mudah ditangani, disimpan, serta diaplikasikan ke lahan.

Kemudian terdapat penurunan rasio C/N yang sangat signifikan dari 157,91 menjadi 34,79 (perlakuan 1:1), 43,27 (perlakuan 1:2), 25,12 (perlakuan 1:3), dan 24,90 (perlakuan 1:4). Perlakuan 1:3 dan 1:4 juga menunjukkan rasio C/N terendah (<25). Setelah limbah padat serai wangi difermentasi menjadi produk pupuk organik, nilai pH nya juga mengalami peningkatan, yaitu berkisar antara 7,7–8,1 (Gambar 2).



Gambar 2. (A) Perbandingan Hasil Analisis Rasio C/N dan (B) Perbandingan hasil Analisis Nilai pH Pada Limbah Padat Versi Serai Wangi Sebelum Difermentasi dan Sesudah Difermentasi Menjadi Produk Pupuk Organik

Hasil analisis kandungan produk pupuk organik juga menunjukkan adanya peningkatan kandungan N, P, dan K pada seluruh perlakuan. Perlakuan 1:4 menunjukkan kandungan hara tertinggi untuk N (1,66%) dan P (2,15%), sedangkan K tertinggi juga terdapat pada perlakuan 1:4 (1,17%), diikuti perlakuan 1:3 (1,15%) (Gambar 3).

Penurunan kadar C-organik pada seluruh perlakuan menunjukkan terjadinya dekomposisi bahan organik oleh aktivitas mikroorganisme selama fermentasi (Limbongan & Wahida, 2015; Nakasaki et al., 2019). Karbon digunakan sebagai sumber energi dan dilepaskan dalam bentuk CO₂ melalui respirasi mikroba, sehingga menyebabkan penurunan total karbon.

Penurunan rasio C/N dari 157,91 menjadi kisaran 24,90 – 43,27 mengindikasikan berlangsungnya proses mineralisasi nitrogen dan peningkatan tingkat kematangan bahan. Rasio C/N awal yang sangat tinggi menunjukkan bahan masih mentah dan belum stabil. Setelah fermentasi, perlakuan 1:3 dan 1:4 menghasilkan rasio C/N <25, yang umumnya dikategorikan sebagai kompos matang dan lebih siap diaplikasikan ke tanah tanpa risiko imobilisasi nitrogen. Tetapi, perlakuan 1:2 menunjukkan rasio C/N tertinggi di antara perlakuan fermentasi (43,27), bahkan lebih tinggi dibandingkan perlakuan 1:1 (34,79). Pola ini tidak sejalan dari sudut pandang proporsi kotoran sapi, karena peningkatan proporsi kotoran sapi dari 1:1 menjadi 1:2 tidak diikuti oleh penurunan rasio C/N. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa rasio bahan awal bukan satu-satunya faktor yang menentukan perubahan C/N selama fermentasi. Tingginya C/N pada perlakuan 1:2 dapat mengindikasikan bahwa fraksi karbon organik pada campuran tersebut relatif lebih banyak yang masih tersisa pada akhir fermentasi dibandingkan fraksi nitrogen yang tersedia atau terukur. Salah satu kemungkinan penyebabnya adalah karakteristik fisik campuran pada rasio 1:2 yang dapat memengaruhi kondisi mikro lingkungan selama fermentasi. Perbedaan proporsi limbah serai wangi dan kotoran sapi dapat mengubah porositas, kepadatan, dan kemampuan campuran dalam mempertahankan air. Kondisi campuran yang terlalu lembap atau terlalu padat dapat mengurangi ruang pori dan membatasi difusi oksigen ke dalam bahan, sehingga aktivitas mikroorganisme aerob dan laju dekomposisi karbon dapat menjadi kurang optimal. Sebaliknya, kondisi yang terlalu kering juga dapat membatasi aktivitas mikroorganisme. Dalam penelitian ini, aerasi, porositas, dan dinamika kelembapan selama proses fermentasi tidak diukur secara langsung, sehingga pengaruh faktor-faktor tersebut pada perlakuan 1:2 tidak dapat dipastikan dan hanya dapat dipandang sebagai kemungkinan mekanistik (Kong et al., 2023).

Selain kondisi fisik, tingginya C/N pada perlakuan 1:2 dapat berkaitan dengan masih bertahannya fraksi karbon struktural dari limbah serai wangi, khususnya lignin, yang lebih resisten terhadap dekomposisi. Meskipun kotoran sapi menyediakan nitrogen dan bahan organik yang relatif lebih mudah terdekomposisi, keberadaan fraksi karbon yang resisten dapat menyebabkan karbon tetap tinggi pada akhir fermentasi sehingga rasio C/N tidak menurun secara proporsional. Hal ini juga sejalan dengan kadar C-organik pada perlakuan 1:2 yang merupakan yang tertinggi di antara seluruh perlakuan, yaitu 48,90%, sedangkan kadar N-nya relatif rendah, yaitu 1,13%. Kombinasi antara C-organik yang tinggi dan N yang relatif rendah tersebut secara langsung menghasilkan rasio C/N yang tinggi (43,27).

Tingginya rasio C/N pada perlakuan 1:2 kemungkinan merupakan hasil interaksi antara karakteristik bahan, terutama keberadaan fraksi karbon yang relatif resisten, dan kondisi mikro lingkungan selama fermentasi yang dapat memengaruhi aktivitas mikroorganisme. Karena parameter seperti suhu, porositas, oksigen, dan dinamika kelembapan selama fermentasi tidak diukur terus-menerus, Mekanisme spesifik yang menyebabkan perlakuan 1:2 memiliki rasio C/N lebih tinggi dibandingkan 1:1 tidak dapat ditentukan secara definitif. Temuan ini menunjukkan bahwa proporsi bahan saja tidak selalu menentukan tingkat dekomposisi, tetapi karakteristik fisik dan kimia campuran juga berperan dalam proses fermentasi yang mengindikasikan proses dekomposisi relatif lebih lambat dibandingkan perlakuan lainnya (Marzi et al., 2020).

Peningkatan kandungan nitrogen pada semua perlakuan (1,13 – 1,66%) dapat disebabkan oleh dua mekanisme utama, yaitu:

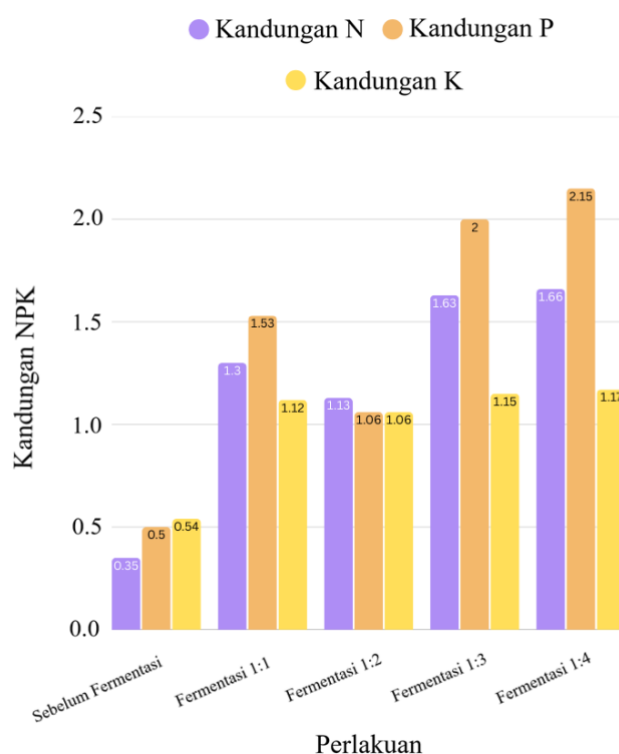
1. konsentrasi relatif akibat penurunan karbon (Yu et al., 2019)
2. aktivitas mikroorganisme yang berperan dalam fiksasi atau transformasi nitrogen menjadi bentuk yang lebih tersedia (Singh et al., 2020).

Sedangkan, peningkatan kandungan P dan K menunjukkan bahwa fermentasi mampu memineralisasi unsur hara yang sebelumnya terikat dalam struktur organik kompleks (Bader et al., 2021; Ding et al., 2020). Perlakuan 1:3 dan 1:4 menunjukkan peningkatan paling signifikan, terutama pada kandungan P (>2%), yang mengindikasikan efisiensi proses dekomposisi dan pelepasan hara yang lebih tinggi.

Peningkatan nilai pH dari 7,1 menjadi 7,7–8,1 dapat berkaitan dengan pembentukan senyawa amonia hasil dekomposisi protein dan aktivitas mikroba proteolitik. Nilai pH yang sedikit basa dapat menguntungkan dalam meningkatkan ketersediaan beberapa unsur hara, meskipun aplikasi pada tanah dengan pH tinggi perlu dipertimbangkan secara agronomis. Kadar air meningkat signifikan hingga >60% pada semua perlakuan. Kondisi ini menunjukkan lingkungan fermentasi yang mendukung aktivitas mikroorganisme (Kong et al., 2023). Namun, untuk penyimpanan jangka panjang dan stabilitas produk, diperlukan proses pengeringan lanjutan guna menurunkan kadar air ke tingkat yang lebih aman.

Perbaikan karakteristik fisikokimia limbah padat serai wangi setelah fermentasi tidak hanya menunjukkan peningkatan kualitas pupuk organik, tetapi juga memiliki implikasi penting terhadap kesehatan tanah dan sistem perlindungan tanaman yang berkelanjutan. Pupuk organik yang telah matang dengan rasio C/N yang rendah cenderung lebih stabil setelah diaplikasikan ke tanah sehingga dapat mengurangi risiko imobilisasi nitrogen yang sering terjadi pada bahan organik yang belum terdekomposisi sempurna. Kondisi tersebut memungkinkan unsur hara lebih cepat tersedia bagi tanaman, sehingga mendukung pertumbuhan awal dan meningkatkan vigor tanaman (Kong et al., 2023).

Peningkatan kandungan nitrogen, fosfor, dan kalium pada seluruh perlakuan menunjukkan bahwa proses fermentasi mampu menghasilkan pupuk organik dengan kandungan hara yang lebih baik. Nitrogen berperan dalam pembentukan klorofil dan pertumbuhan vegetatif, fosfor mendukung perkembangan sistem perakaran dan transfer energi, sedangkan kalium berperan dalam mengatur keseimbangan air, aktivitas enzim, dan meningkatkan toleransi tanaman terhadap berbagai ekaman lingkungan. Tanaman yang memperoleh nutrisi secara seimbang umumnya memiliki kondisi fisiologis yang lebih baik sehingga lebih mampu menghadapi tekanan dari organisme pengganggu tanaman (Assefa & Tadesse, 2019; Singh et al., 2020).



Gambar 3. Perbandingan Hasil Analisis Kandungan Hara Makro (NPK) pada Limbah Padat Serai Wangi Sebelum Difermentasi dan Sesudah Difermentasi Menjadi Produk Pupuk Organik

Selain meningkatkan ketersediaan unsur hara, penurunan rasio C/N juga menunjukkan meningkatnya tingkat kematangan pupuk organik. Pupuk organik yang matang menyediakan substrat yang lebih stabil bagi perkembangan mikroorganisme tanah yang menguntungkan. Mikroorganisme tersebut berperan dalam proses dekomposisi lanjutan, siklus unsur hara, serta menjaga keseimbangan komunitas mikroba di daerah perakaran (*rhizosphere*). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa tanah dengan aktivitas mikroba yang tinggi cenderung memiliki kesehatan tanah (*soil health*) yang lebih baik, sehingga mampu menciptakan lingkungan yang kurang mendukung perkembangan beberapa patogen tular tanah (Deguine et al., 2021).

Peningkatan nilai pH menjadi kisaran netral hingga sedikit basa (7,7–8,1) juga berpotensi memperbaiki ketersediaan beberapa unsur hara serta mendukung aktivitas mikroorganisme dekomposer. Di sisi lain, kadar air yang tinggi selama proses fermentasi menunjukkan bahwa kondisi lingkungan cukup mendukung aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik. Meskipun demikian, kadar air yang masih tinggi pada produk akhir memerlukan proses pengeringan sebelum penyimpanan agar kualitas pupuk tetap terjaga dan tidak memicu pertumbuhan mikroorganisme yang tidak diinginkan selama penyimpanan.

Berdasarkan seluruh parameter yang diamati, perlakuan dengan perbandingan limbah padat serai wangi dan kotoran sapi 1:4 menghasilkan kualitas pupuk organik terbaik, yang ditunjukkan oleh rasio C/N terendah serta kandungan N, P_2O_5 , dan K_2O tertinggi. Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa perlakuan 1:4 berpotensi menghasilkan pupuk organik yang lebih matang dan kaya hara, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai salah satu komponen dalam pengelolaan kesehatan tanah untuk mendukung sistem budidaya yang lebih berkelanjutan.

4. KESIMPULAN

Proses fermentasi limbah padat serai wangi dengan penambahan kotoran sapi terbukti mampu memperbaiki karakteristik fisikokimia dan meningkatkan kandungan hara bahan organik. Fermentasi menyebabkan penurunan kadar C-organik dan rasio C/N secara nyata, yang menunjukkan berlangsungnya dekomposisi bahan organik dan proses mineralisasi nitrogen oleh aktivitas mikroorganisme. Penurunan rasio C/N mengindikasikan meningkatnya tingkat kematangan bahan sehingga pupuk organik yang dihasilkan lebih stabil dan siap diaplikasikan ke lahan.

Proses fermentasi juga meningkatkan kandungan unsur hara makro, yaitu nitrogen (N), fosfor (P_2O_5), dan kalium (K_2O), serta meningkatkan nilai pH dan kadar air limbah padat serai wangi. Peningkatan kandungan hara tersebut menunjukkan bahwa fermentasi mampu memineralisasi unsur-unsur yang sebelumnya terikat dalam senyawa organik kompleks sehingga menjadi lebih tersedia bagi tanaman.

Berdasarkan seluruh parameter yang diamati, perlakuan dengan perbandingan limbah padat serai wangi dan kotoran sapi 1:4 menghasilkan kualitas pupuk organik terbaik, yang ditunjukkan oleh rasio C/N terendah serta kandungan N, P_2O_5 , dan K_2O tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa fermentasi merupakan alternatif yang efektif untuk meningkatkan nilai tambah limbah padat serai wangi menjadi pupuk organik yang berkualitas. Pupuk organik yang dihasilkan berpotensi mendukung peningkatan kesehatan tanah melalui perbaikan karakteristik fisikokimia dan penyediaan unsur hara, sehingga dapat menjadi salah satu komponen dalam sistem budidaya dan perlindungan tanaman yang berkelanjutan. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengevaluasi efektivitas pupuk organik hasil fermentasi terhadap pertumbuhan tanaman, kesehatan tanah, dan penekanan penyakit tanaman di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asmaa, G., Najjar, S., & Seoudi, O. (2025). Nutrients status of vermicompost produced from the medicinal and aromatic plants residue. *Egypt J. Appl. Sci*, 40(7–8), 1–11.
- Assefa, S., & Tadesse, S. (2019). The principal role of organic fertilizer on soil properties and agricultural productivity-a review. *Agric. Res. Technol. Open Access J*, 22(2), 1–5.
- Azim, K., Soudi, B., Boukhari, S., Perissol, C., Roussos, S., & Thami Alami, I. (2018). Composting parameters and compost quality: A literature review. *Organic Agriculture*, 8(2), 141–158.
- Bader, B. R., Taban, S. K., Fahmi, A. H., Abood, M. A., & Hamdi, G. J. (2021). Potassium availability in soil amended with organic matter and phosphorous fertiliser under water stress during maize (*Zea mays* L) growth. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(6), 390–394.
- Bhatt, M. K., Labanya, R., & Joshi, H. C. (2019). Influence of long-term chemical fertilizers and organic manures on soil fertility-A review. *Universal Journal of Agricultural Research*, 7(5), 177–188.
- De Corato, U. (2020). Agricultural waste recycling in horticultural intensive farming systems by on-farm composting and compost-based tea application improves soil quality and plant health: A review under the perspective of a circular economy. *Science of the Total Environment*, 738, 139840.
- Deguine, J.-P., Aubertot, J.-N., Flor, R. J., Lescouret, F., Wyckhuys, K. A. G., & Ratnadass, A. (2021). Integrated pest management: Good intentions, hard realities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(3), 38.

- Ding, Z., Kheir, A. M. S., Ali, M. G. M., Ali, O. A. M., Abdelaal, A. I. N., Lin, X., Zhou, Z., Wang, B., Liu, B., & He, Z. (2020). The integrated effect of salinity, organic amendments, phosphorus fertilizers, and deficit irrigation on soil properties, phosphorus fractionation and wheat productivity. *Scientific Reports*, 10(1), 2736.
- Eden, W. T., Alighiri, D., Supardi, K. I., & Cahyono, E. (2020). The mosquito repellent activity of the active component of air freshener gel from Java Citronella oil (*Cymbopogon winterianus*). *Journal of Parasitology Research*, 2020(1), 9053741.
- Findlay, S. E. G. (2021). Organic Matter Decomposition. In K. C. Weathers, D. L. Strayer, & G. E. Likens (Eds.), *Fundamentals of Ecosystem Science (Second Edition)* (pp. 81–102). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812762-9.00004-6>
- Hemidat, S., Jaar, M., Nassour, A., & Nelles, M. (2018). Monitoring of composting process parameters: A case study in Jordan. *Waste and Biomass Valorization*, 9(12), 2257–2274.
- Hisa, L., Wilil, A., Limbongan, A. A., Monika, N. S., & Ekowati, N. Y. (2017). *Analisis Vegetasi Tumbuhan non Budidaya Asteraceae Berpotensi Pesticida Nabati di Distrik Merauke dan Semangga*.
- Kamar Zaman, A. M., & Yaacob, J. S. (2022). Exploring the potential of vermicompost as a sustainable strategy in circular economy: improving plants' bioactive properties and boosting agricultural yield and quality. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(9), 12948–12964.
- Kaur, R., Kumar, A., Biswas, B., Krishna, B. B., & Bhaskar, T. (2022). Investigations into pyrolytic behaviour of spent citronella waste: Slow and flash pyrolysis study. *Bioresource Technology*, 366, 128202. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128202>
- Kong, X., Luo, G., Yan, B., Su, N., Zeng, P., Kang, J., Zhang, Y., & Xie, G. (2023). Dissolved organic matter evolution can reflect the maturity of compost: Insight into common composting technology and material composition. *Journal of Environmental Management*, 326, 116747. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116747>
- Limbongan, A. A., Kiloos, A., Akinsanmi, O., Mendes, J. A., Sembiring, J., Sarijan, A., & Anwar, A. (2025, May 26). *Assessing Integrated Pest and Disease Management Practices in Semangga District, Merauke Regency, South Papua Province, Indonesia*. https://appsnet.au/proceedings/APPS_2025_Delegate_Handbook.pdf
- Limbongan, A. A., & Wahida, W. (2015). Pemanfaatan Ampas Sagu Sebagai Bahan Dasar Kompos pada Beberapa Dosis Pencampuran dengan Kotoran Sapi. *Agricola*, (Vol 5 No 1 (2015): Agricola), 1–8. <http://ejournal.unmus.ac.id/index.php/agricola/article/view/406/310>
- Marzi, M., Shahbazi, K., Kharazi, N., & Rezaei, M. (2020). The influence of organic amendment source on carbon and nitrogen mineralization in different soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(1), 177–191.
- Mengqi, Z., Shi, A., Ajmal, M., Ye, L., & Awais, M. (2023). Comprehensive review on agricultural waste utilization and high-temperature fermentation and composting. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(7), 5445–5468.
- Mudarakna, F., & Salam, A. H. (2022). Pupuk Organik Cair dari Limbah Padat Penyulingan Sereh. *Jurnal Riset, Inovasi, Teknologi & Terapan*, 1(1), 10–14.
- Nakasaki, K., Hirai, H., Mimoto, H., Quyen, T. N. M., Koyama, M., & Takeda, K. (2019). Succession of microbial community during vigorous organic matter degradation in the primary fermentation stage of food waste composting. *Science of the Total Environment*, 671, 1237–1244.
- Sagar, S., Singh, A., Bala, J., Chauhan, R., Kumar, R., Bhatia, R. K., & Walia, A. (2024). Insights into cow dung-based bioformulations for sustainable plant health and disease management in organic and natural farming system: A review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24(1), 30–53.
- Singh, T. B., Ali, A., Prasad, M., Yadav, A., Shrivastav, P., Goyal, D., & Dantu, P. K. (2020). Role of organic fertilizers in improving soil fertility. In *Contaminants in agriculture: sources, impacts and management* (pp. 61–77). Springer.

- Verma, B. C., Pramanik, P., & Bhaduri, D. (2019). Organic fertilizers for sustainable soil and environmental management. In *Nutrient dynamics for sustainable crop production* (pp. 289–313). Springer.
- Wang, L., Li, Y., Prasher, S. O., Yan, B., Ou, Y., Cui, H., & Cui, Y. (2019). Organic matter, a critical factor to immobilize phosphorus, copper, and zinc during composting under various initial C/N ratios. *Bioresource Technology*, 289, 121745.
- Yasin, M., Prihastanti, E., & Hastuti, E. D. (2020). The effect of block compost sago waste organic plants (polybag) on composition variations. *Molecules*, 4(4), 11–16.
- Yu, H., Xie, B., Khan, R., & Shen, G. (2019). The changes in carbon, nitrogen components and humic substances during organic-inorganic aerobic co-composting. *Bioresource Technology*, 271, 228–235.
- Zhang, Z., Yang, H., Wang, B., Chen, C., Zou, X., Cheng, T., & Li, J. (2023). Aerobic co-composting of mature compost with cattle manure: Organic matter conversion and microbial community characterization. *Bioresource Technology*, 382, 129187.