

Studi Kandungan Hara Organik dan Anorganik pada Pupuk Organik Berbasis Fermentasi Bakteri dan Biokonversi oleh Cacing Tanah (Vermikompos)

Nurfiansyah Nurfiansyah¹, Muhammad Anshar², Ahmad Nurul Muttaqin³, Ahmad Zubair Sultan⁴, Mahirullah Mahirullah⁵, Muhammad Arham Yunus⁶

Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang^{1,5,6}, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang^{2,3,4}

nurfiansyah@poliupg.ac.id¹, muhammadanshar60@yahoo.com²,

ahmadnurulmuttaqin@poliupg.ac.id³, ahmadzubairsultan@poliupg.ac.id⁴,

mahirullah@poliupg.ac.id⁵, arhamyunus21@poliupg.ac.id⁶

Corresponding Author: Author, E-mail: nurfiansyah@poliupg.ac.id

ABSTRACT

The increasing accumulation of household organic waste, particularly leaf waste, poses environmental challenges due to limited optimal management and low added value utilization. Leaf waste have potential to be converted into organic fertilizer; however, natural decomposition is slow and often produces compost with inconsistent chemical quality. This study aims to evaluate the organic and inorganic compound content of solid organic fertilizer produced through an integrated approach combining mechanical shredding, bacterial fermentation, and vermicomposting. The research method involved shredding leaf waste using a rotary cutter shredder, followed by bacterial fermentation using activated effective microorganism and subsequent vermicomposting employing *Pheretima posthuma*. Compost quality was assessed based on physical parameters (temperature, odor, and color) and chemical parameters in accordance with SNI 19-7030-2004. The results showed that the compost reached a relatively mature condition, indicated by stable temperature, earthy odor, and dark brown color at the end of the process. Most chemical parameters met the SNI requirements, particularly phosphorus (P_2O_5) and potassium (K_2O), while heavy metal contents such as Pb and As were not detected and other metals remained well below permissible limits, suggesting the role of earthworm activity in reducing metal bioavailability. However, C-organic content and C/N ratio were slightly below and above the standard range, respectively. Overall, the integrated fermentation–vermicomposting approach demonstrates strong potential as sustainable technology for converting leaf waste into environmentally friendly organic fertilizer. However, further process optimization is required to improve the chemical quality of the product and to enhance the worm separation system for more efficient processing.

KEYWORDS

Vermicomposting; Leaf Waste; Organic Fertilizer; Heavy Metal; Effective Microorganism

ARTICLE DOI:

<https://doi.org/10.53696/venn.v5i2.429>

A. Pendahuluan

Peningkatan jumlah sampah rumah tangga merupakan permasalahan lingkungan yang semakin kompleks seiring dengan pertumbuhan penduduk dan perubahan pola konsumsi masyarakat. Fraksi organik mendominasi komposisi sampah rumah tangga, di mana sampah daun hasil pemisahan sampah rumah tangga menjadi salah satu komponen terbesar. Tercatat timbunan sampah pada Februari tahun 2026 sebanyak 24.801.628,65 ton/tahun. Dari total keseluruhan didapatkan hanya 34.49% yang terkelola dan 65.51% tidak terkelola (SIPSN, 2026). Sampah daun umumnya belum dikelola secara optimal dan masih banyak berakhir di tempat pembuangan akhir, sehingga berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan akibat proses pembusukan yang tidak terkendali, bau tidak

sedap, serta emisi gas rumah kaca(Ro'aini & Azizah, 2024). Oleh karena itu, diperlukan strategi pengelolaan sampah daun yang berkelanjutan dan mampu memberikan nilai tambah.

Pemanfaatan sampah daun sebagai bahan baku pupuk organik merupakan salah satu solusi yang menjanjikan. Sampah daun mengandung senyawa lignoselulosa seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang berpotensi dikonversi menjadi sumber hara bagi tanaman (Mahongnao et al., 2023). Namun, proses dekomposisi alami bahan tersebut berlangsung relatif lambat dan sering menghasilkan pupuk dengan kualitas kimia yang tidak seragam, terutama terkait kandungan senyawa organik stabil dan unsur hara anorganik. Keterbatasan ini menjadi permasalahan utama dalam pemanfaatan sampah daun secara langsung sebagai pupuk organik yang berkualitas(Zhao et al., 2022).

Berbagai penelitian sebelumnya melaporkan bahwa fermentasi menggunakan bakteri dapat mempercepat degradasi bahan organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dan mudah tersedia, seperti asam organik dan fraksi humat(Bangngalino et al., 2023). Di sisi lain, teknologi vermicomposting dengan memanfaatkan cacing tanah diketahui mampu meningkatkan kualitas pupuk organik melalui aktivitas biologis yang menghasilkan bahan organik stabil serta meningkatkan ketersediaan unsur hara anorganik, khususnya nitrogen, fosfor, dan kalium. Serta menghilangkan logam berat seperti timbal(Arham Yunus, 2023).Beberapa studi juga mengkaji penggunaan pretreatment biologis sebelum vermicomposting untuk meningkatkan efisiensi dekomposisi, namun umumnya terbatas pada penggunaan jamur atau satu jenis mikroorganisme serta menggunakan bahan baku limbah tertentu seperti kotoran ternak atau limbah pasar.

Hingga saat ini, penelitian yang secara terintegrasi menggabungkan fermentasi bakteri dan vermicomposting pada sampah daun hasil pemisahan sampah rumah tangga masih relatif terbatas. Selain itu, kajian yang secara khusus menitikberatkan pada analisis komprehensif kandungan senyawa organik dan anorganik pada pupuk organik hasil integrasi kedua proses tersebut juga belum banyak dilaporkan. Aspek pengolahan awal berupa pencacahan bahan menggunakan alat buatan sebagai upaya meningkatkan luas permukaan dan efisiensi biodegradasi juga jarang dikaji secara sistematis dalam penelitian sejenis.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan pendekatan terintegrasi berupa pencacahan mekanis menggunakan alat buatan, fermentasi bakteri, dan vermicomposting dalam pengolahan sampah daun rumah tangga. Pendekatan ini diharapkan mampu mempercepat proses dekomposisi, meningkatkan pembentukan senyawa organik fungsional seperti asam humat dan fulvat, serta memperkaya kandungan unsur hara anorganik esensial dalam pupuk organik yang dihasilkan(Aryonugroho & Lestari, 2021). Dengan demikian, kualitas kimia pupuk organik dapat ditingkatkan secara signifikan dibandingkan metode konvensional. Serta mengurangi kadar cemaran logam berat (Arham Yunus, 2023)

Urgensi penelitian ini terletak pada kontribusinya terhadap pengembangan teknologi pengelolaan sampah organik rumah tangga yang berkelanjutan, pengurangan beban lingkungan, serta penyediaan pupuk organik alternatif yang ramah lingkungan. Selain itu, penelitian ini memiliki nilai kebaruan (novelty) melalui integrasi fermentasi bakteri dan vermicomposting pada sampah daun rumah tangga yang diproses dengan pencacahan mekanis, disertai analisis terhadap kandungan senyawa organik dan anorganik.

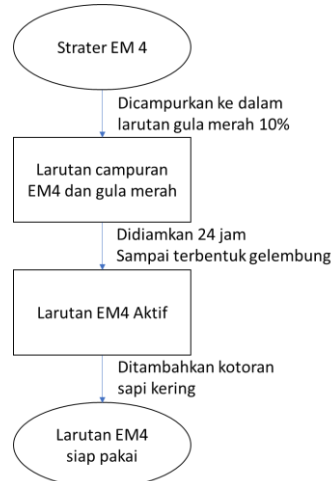
B. Metodologi

Penelitian ini dimulai dengan pembuatan alat pencacah dengan sistem *rotary blade* yang dikombinasikan dengan *static blade* yang biasa disebut dengan *rotary cutter shredder* ((Muttaqin et al., 2025). Pada prosesnya biomassa berupa daun hasil pemilahan sampah rumah tangga akan dimasukkan ke dalam alat tepat diantara kedua jenis pisau.



Gambar 1. Cacing tanah *Pheretima posthuma*

Kemudian persiapan cacing tanah. Cacing tanah ditaruh terlebih dahulu di dalam wadah komposter. Cacing tanah yang digunakan adalah jenis *Pheretima posthuma*. Penggunaan cacing ini dikarenakan keumumannya di Indonesia (Nilawati & Jabang Nurdin, 2014). Cacing tanah dibiarkan dengan media hidup lamanya di dalam komposter tujuannya agar cacing mengalami aklimatisasi. Sehingga nantinya cacing tidak stress ketika media baru diberikan (Mao et al., 2025).



Gambar 2. Diagram alir aktivasi EM4

Bakteri yang digunakan untuk penelitian ini berasal dari starter EM4 (effective microorganism) pertanian. Bakteri sebelum digunakan diaktivasi dulu dengan mencampurkannya dengan larutan gula merah 10% (Nurdiansyah et al., 2023). Setelah didiamkan semalam, campuran tersebut diberikan kotoran sapi kering sebagai sumber nitrogen (Sulianti et al., 2024).



Gambar 3. Ilustrasi susunan komposter

Daun yang telah dicacah kemudian dicampurkan dengan larutan EM4 siap pakai tadi. Kemudian campuran tersebut ditumpuk diatas cacing dan media lamanya. Tutup agar tidak terkena sinar matahari langsung. Proses pengomposan diamati dengan melihat perubahan pada suhu, warna, serta bau dari bahan baku

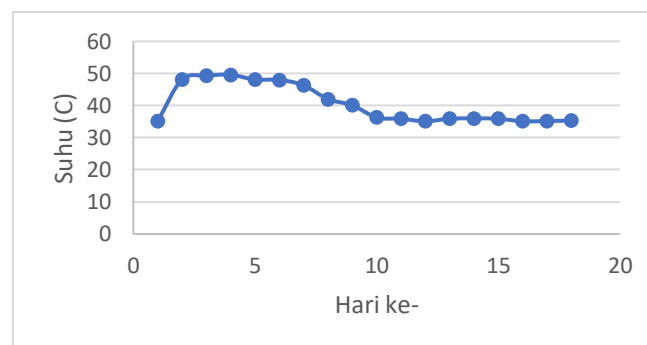
Kualitas kompos yang dihasilkan kemudian dianalisis menggunakan standar SNI 19-7030-2004

Tabel 1. Daftar metode pengujian pupuk kompos

No	Parameter dan satuan	Metode Pengujian
1	Kadar Air, %	Gravimetri
2	pH	Elektrometri
3	N-total, %	Kjedhal
4	P ₂ O ₅ , %	Spektrofotometer UV-Vis
5	K ₂ O, %	AAS
6	C-Organik, %	Gravimetri
7	Bahan Ikutan, %	Ayakan
8	C/N	Kalkulasi
9	Fe-tersedia	AOAC
10	Fe, ppm	AAS
11	Zn, ppm	AAS
12	Pb, ppm	AAS
13	Cd, ppm	AAS
14	Cr, ppm	AAS
15	Ni, ppm	AAS
16	As, ppm	AAS
17	Hg, ppm	AAS

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Selama proses pengomposan, perubahan suhu menunjukkan dinamika aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik seperti yang ditampilkan pada Gambar 4. Suhu meningkat pada awal proses dan mencapai kondisi termofilik akibat aktivitas mikroba yang intens, kemudian secara bertahap menurun seiring berkurangnya bahan organik mudah terurai (Jain et al., 2019). Pada tahap akhir, suhu cenderung stabil mendekati suhu lingkungan, yang menandakan bahwa proses dekomposisi telah melambat dan kompos mulai memasuki fase pematangan. Pola perubahan suhu ini merupakan karakteristik umum pengomposan yang berjalan dengan baik dan menunjukkan proses biologis yang berlangsung secara efektif.

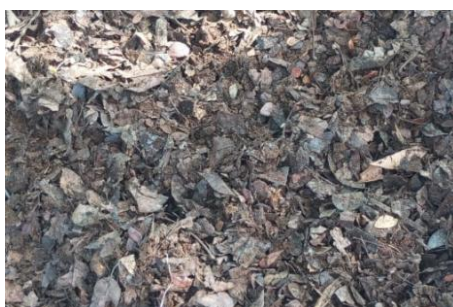


Gambar 4. Diagram perubahan suhu bahan

Perubahan bau selama proses pengomposan mencerminkan tahapan dekomposisi bahan organik yang berlangsung. Seperti yang ditunjukkan pada tabel 1, di fase awal bau daun dan aroma manis dari gula merah masih tercium, menandakan proses fermentasi awal oleh mikroorganisme. Selanjutnya, muncul bau menyerupai tape yang menunjukkan aktivitas fermentatif yang lebih intens dan pembentukan senyawa organik antara. Seiring berjalannya waktu, bau tape berangsur hilang dan digantikan oleh aroma kayu lapuk, hingga akhirnya berkembang menjadi bau tanah yang khas. Aroma tanah pada tahap akhir menunjukkan bahwa bahan organik telah terdekomposisi dengan baik dan kompos memasuki fase pematangan dengan kondisi yang relatif stabil (Handayani et al., 2023).

Tabel 2 Pengamatan Fisik Pupuk

Waktu	Aroma	Warna
Hari ke 1-2	Aroma daun + aroma gula merah	Cokelat cerah
Hari ke 3-4	Aroma daun , bau tape	Cokelat agak gelap
Hari ke 5	Bau tape	Cokelat gelap
Hari ke 6	Bau tape + bau kayu lapuk	Cokelat gelap
Hari ke 7-8	Bau kayu lapuk	Cokelat gelap
Hari ke 9-18	Bau tanah	Cokelat gelap



Gambar 5. Hasil akhir kompos

Perubahan warna selama proses pengomposan menunjukkan tingkat dekomposisi bahan organik yang berlangsung. Pada tahap awal, warna kompos masih cokelat cerah, yang menandakan bahwa bahan organik seperti daun masih relatif utuh dan proses penguraian baru dimulai. Seiring meningkatnya aktivitas mikroorganisme dan berlangsungnya fase termofilik, warna berubah menjadi cokelat agak gelap, yang menunjukkan mulai terbentuknya senyawa organik antara hasil dekomposisi. Pada tahap akhir, warna kompos menjadi cokelat gelap hingga menyerupai tanah, yang mengindikasikan bahwa bahan organik telah terdegradasi secara lanjut dan mengalami stabilisasi. Warna cokelat gelap yang relatif seragam ini merupakan ciri fisik kompos yang telah matang atau mendekati matang. (Handayani et al., 2023). Berdasarkan gambar tersebut aktivitas cacing tanah sudah mulai tampak dengan munculnya bulir-bulir diantara cacahan daun. Hal ini menunjukkan telah terbentuk vermikompos hasil aktivitas cacing tanah dibawahnya.

Tabel 3 Hasil Pengujian Kualitas Pupuk

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Syarat SNI 19-7030-2004	Kesesuaian
1	Kadar Air	%	10,00	≤ 50	Memenuhi
2	pH	-	7,66	6,80 – 7,49	Tidak Memenuhi
3	N-total	%	1,07	$\geq 0,40$	Memenuhi
4	P ₂ O ₅	%	0,62	$\geq 0,10$	Memenuhi
5	K ₂ O	%	1,25	$\geq 0,20$	Memenuhi

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Syarat SNI 19-7030-2004	Kesesuaian
6	C-Organik	%	23,00	27 – 58	Tidak Memenuhi
7	Bahan Ikutan	%	1,03	$\leq 1,5$	Memenuhi
8	C/N	-	21	10 – 20	Tidak Memenuhi
9	Fe-tersedia	mg/kg	265	-	Tidak Dipersyaratkan
10	Fe	total ppm	4556	$\leq 2,00 \%$	Memenuhi
11	Zn	ppm	78,05	≤ 500	Memenuhi
12	Pb	ppm	Tt	≤ 150	Memenuhi
13	Cd	ppm	1,62	≤ 3	Memenuhi
14	Cr	ppm	14,74	≤ 210	Memenuhi
15	Ni	ppm	14,97	≤ 62	Memenuhi
16	As	ppm	Tt	≤ 13	Memenuhi
17	Hg	ppm	0,03	$\leq 0,8$	Memenuhi

Berdasarkan tabel 3 Kandungan C-organik kompos sebesar 23,00% menunjukkan bahwa bahan organik telah mengalami proses dekomposisi yang cukup intens, namun nilainya masih berada sedikit di bawah batas minimum SNI 19-7030-2004 (27–58%). Hal ini mengindikasikan bahwa sebagian karbon telah termineralisasi menjadi CO₂ selama proses pengomposan, terutama akibat aktivitas mikroorganisme yang tinggi pada fase termofilik. Sementara itu, kadar N-total sebesar 1,07% telah memenuhi dan bahkan melampaui persyaratan minimum SNI ($\geq 0,40\%$), yang menunjukkan ketersediaan nitrogen yang baik dalam kompos dan mendukung potensi pemanfaatannya sebagai pupuk organik. Kombinasi antara C-organik yang relatif menurun dan N-total yang cukup tinggi menghasilkan rasio C/N sebesar 21, yang sedikit lebih tinggi dari rentang SNI (10–20), namun masih menunjukkan bahwa kompos berada pada kondisi mendekati matang. Nilai C/N yang hampir memenuhi standar ini mengindikasikan bahwa proses humifikasi telah berlangsung, meskipun masih diperlukan waktu pematangan lanjutan agar stabilitas bahan organik semakin optimal ([Chang et al., 2023](#)).

Kandungan unsur hara anorganik pada kompos menunjukkan kualitas nutrisi yang baik sebagai pupuk organik padat ([Kaswinarni & Nugraha, 2020](#)). Hasil analisis memperlihatkan bahwa fosfor (P₂O₅) sebesar 0,62% dan kalium (K₂O) sebesar 1,25% telah memenuhi dan melampaui batas minimum SNI 19-7030-2004, yang masing-masing mensyaratkan $\geq 0,10\%$ dan $\geq 0,20\%$. Beberapa penelitian melaporkan bahwa kandungan P₂O₅ pada vermikompos umumnya berkisar antara 0,2–0,23%, sedangkan K₂O berkisar antara 0,6–0,8% tergantung pada jenis bahan baku yang digunakan. Dengan demikian, nilai P₂O₅ pada penelitian ini dapat dikategorikan tinggi, sementara kandungan K₂O tergolong relatif tinggi dibandingkan beberapa hasil penelitian sebelumnya ([Tanzil et al., 2023](#)). Hal ini menunjukkan bahwa proses vermikomposting yang dilakukan mampu mempertahankan bahkan meningkatkan ketersediaan unsur hara makro penting bagi tanaman. Ketersediaan unsur P dan K ini penting dalam mendukung pertumbuhan tanaman, terutama pada pembentukan akar, metabolisme energi, serta peningkatan ketahanan tanaman. Tingginya kandungan K₂O menunjukkan bahwa pupuk ini baik digunakan untuk tanaman berbuah ([Mulya Deviyanti et al., 2023](#)).

Rendahnya kandungan logam berat pada kompos, yang ditunjukkan oleh tidak terdeteksinya Pb dan As serta kadar Cd, Cr, Ni, Zn, dan Hg yang berada jauh di bawah ambang batas SNI 19-7030-2004, dapat dikaitkan dengan aktivitas biologis cacing tanah selama proses vermikomposting. Cacing tanah berperan dalam bioakumulasi dan imobilisasi logam berat melalui mekanisme penyerapan pada jaringan tubuh, pengikatan oleh lendir (mucus), serta pembentukan kompleks logam dengan senyawa organik stabil hasil pencernaan cacing. Selain itu, aktivitas pencernaan cacing tanah dan mikroorganisme simbiosis di dalam saluran pencernaannya dapat meningkatkan proses humifikasi,

sehingga logam berat lebih banyak terjepit dalam fraksi humat yang stabil dan kurang tersedia secara biologis. Mekanisme ini menyebabkan penurunan mobilitas dan bioavailabilitas logam berat dalam kompos, sehingga produk akhir vermikompos menjadi lebih aman untuk aplikasi pertanian dan lingkungan (Panday et al., n.d.).

Berdasarkan kadar hara organik dan anorganik pada pupuk kompos yang dihasilkan dengan metode dekomposisi berbasis fermentasi bakteri dan biokonversi oleh cacing tanah, penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi untuk menguraikan sampah organik lebih cepat dibandingkan dengan metode dekomposisi lainnya. Selain itu dalam agroindustri penelitian ini dapat berkontribusi untuk mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia sintesis.

D. Kesimpulan

Proses vermikomposting sampah daun terbukti mampu menghasilkan pupuk organik yang relatif matang, ditunjukkan oleh suhu yang stabil, aroma tanah, dan warna cokelat gelap pada akhir pengomposan. Sebagian besar parameter mutu kompos telah memenuhi persyaratan SNI 19-7030-2004, terutama kandungan bahan organik serta unsur hara fosfor dan kalium, sementara kandungan logam berat berada di bawah ambang batas yang ditetapkan, yang mengindikasikan peran aktivitas cacing tanah dalam menurunkan mobilitas dan bioavailabilitas cemaran anorganik. Namun, kandungan nitrogen total dan rasio C/N masih berada pada batas minimal standar, yang dipengaruhi oleh dominasi bahan baku sampah daun dan keterbatasan waktu pengomposan. Secara keseluruhan, vermikomposting berpotensi menjadi solusi pengelolaan sampah daun yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, meskipun masih diperlukan optimalisasi proses untuk meningkatkan kualitas kimia kompos.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan pengembangan pada aspek mekanisme komposter, khususnya terkait proses pemisahan cacing tanah dari media vermikompos. Pada kondisi saat ini, pemisahan cacing tanah dari vermikompos masih memerlukan ketekunan dan dilakukan secara manual, sehingga kurang efisien. Oleh karena itu, diharapkan ke depannya dapat dirancang sistem pemisahan yang lebih efektif, misalnya berdasarkan perbedaan ukuran, respons terhadap cahaya, atau sistem pemisahan mekanis lainnya, guna meningkatkan efisiensi proses dan kemudahan pemanenan vermikompos.

Daftar Pustaka

- Arham Yunus, M. (2023). Pengaruh Vermicomposting Terhadap Kadar Pb Pada Biomassa Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). In *Jurnal Juara* (Vol. 3, Number 1).
- Aryonugroho, A., & Lestari, N. D. (2021). Pengaruh Vermikompos Abu Terbang Batubara Menggunakan Cacing Tanah *Eisenia fetida* Terhadap Kandungan N, P, K, Dan Pb. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 8(2), 359–368. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2021.008.2.7>
- Bangngalino, H., Sukasri, A., Dewi Damayanti, J., Amin Riyadi, N., Alfikri Akmal, M., Reny Angriani, dan, Kimia, T., & Negeri Ujung Pandang, P. (2023). Pembuatan Pupuk Organik Cair Berbasis Limbah Batang Pisang Pada Kelompok Tani Perumahan Bumi Salam Sejahtera 2. *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) Ke-9 ISAS Publishing Series: Community Service*, 9(3).

- Chang, Y. T., Lee, C. H., Hsieh, C. Y., Chen, T. C., & Jien, S. H. (2023). Using Fluorescence Spectroscopy to Assess Compost Maturity Degree during Composting. *Agronomy*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/agronomy13071870>
- Handayani, L., Pebralia, J., Amri, I., & Lestari, A. P. (2023). Pengembangan Alat Ukur Kematangan Kompos Berbasis Arduino Atmega328. *JoP*, 8(2), 96–102.
- Jain, M. S., Daga, M., & Kalamdhad, A. S. (2019). Variation in the key indicators during composting of municipal solid organic wastes. *Sustainable Environment Research*, 1(1). <https://doi.org/10.1186/s42834-019-0012-9>
- Kaswinarni, F., & Nugraha, A. A. S. (2020). Kadar Fosfor, Kalium dan Sifat Fisik Pupuk Kompos Sampah Organik Pasar dengan Penambahan Starter EM4, Kotoran Sapi dan Kotoran Ayam. *Titian Ilmu: Jurnal Ilmiah Multi Sciences*, 12(1), 1–6. <https://doi.org/10.30599/jti.v12i1.534>
- Mahongnao, S., Sharma, P., Singh, D., Ahamad, A., Kumar, P. V., Kumar, P., & Nanda, S. (2023). Formation and characterization of leaf waste into organic compost. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(30), 75823–75837. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27768-7>
- Mao, H., Ding, J., Huang, W., Huang, K., & Yang, R. (2025). Effects of Salt Stress on Earthworm Function and Compost Quality During Vermicomposting of Kitchen Wastes. *Bioengineering*, 13(1), 38. <https://doi.org/10.3390/bioengineering13010038>
- Mulya Deviyanti, V., Adi Kristanto, B., Kusmiyati, F., Studi Agroekoteknologi, P., & Peternakan dan Pertanian, F. (2023). Pengaruh Pemberian Pupuk Kalium dan Giberelin terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Cabai (*Capsicum annum* L.). In *JURNAL AGROPLASMA* (Vol. 10, Number 1).
- Muttaqin, A. N., Sultan, A. Z., Anshar, M., Nurfiandy, N., Mahirullah, M., & Makhrani, M. (2025). Innovation of organic waste shredder machine as a solution for sustainable waste management at PNUP. *AIP Conference Proceedings*, 3370(1). <https://doi.org/10.1063/5.0297810>
- Nilawati, S., & Jabang Nurdin, dan. (2014). Jenis-jenis Cacing Tanah (Oligochaeta) yang Terdapat di Kawasan Cagar Alam Lembah Anai Sumatera Barat The Earthworms Species (Oligochaeta) at Lembah Anai Nature Reserve West Sumatera. *Jurnal Biologi Universitas Andalas (J. Bio. UA.)*, 3(2).
- Nurdiansyah, A., Pribadi, A., Suprayogi, D., & Karami, A. A. (2023). Quality of cow dung composting fertilizer with additional starter solution of cow rumen contents. *Konversi*, 12(1). <https://doi.org/10.20527/k.v12i1.14357>
- Panday, R., Basnet, B. B., Bhatt, P. S., & Shova Tamrakar, A. (n.d.). *Bioconcentration Of Heavy Metals In Vermicomposting Earthworms (Eisenia fetida, Perionyx excavatus and Lampito mauritii) In Nepal*. <https://doi.org/10.1016/j.hazmat>
- Ro'aini, F. A., & Azizah, R. (2024). *pengelolaan sampah berkelanjutan sebagai aksi iklim dalam mengurangi dampak perubahan iklim : sebuah tinjauan literatur*. 5(1).

- SIPSN - Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional*. (n.d.). Retrieved February 7, 2026, from <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>
- Sulianti, N. W. S., Ismayanti, J., Khairina, K., Sintanu, Muh. A. W., & Alvin, Z. (2024). Pemanfaatan Limbah Kotoran Sapi Menjadi Pupuk Organik Kompos Dengan Metode Fermentasi EM4 di Desa Batu Kumbung. *Jurnal Gema Ngabdi*, 6(1), 47–53. <https://doi.org/10.29303/jgn.v6i1.397>
- Tanzil, A. I., Rahayu, P., Jamila, R., Indra, W., Fanata, D., Sholikhah, U., & Ratnasari, T. (2023). *pengaruh sampah organik terhadap karakteristik kimia vermikompos effect of organic waste on the chemical characteristic of vermicompost*. 7(1).
- Zhao, Y. Y., Li, Z. T., Xu, T., & Lou, A. R. (2022). Leaf litter decomposition characteristics and controlling factors across two contrasting forest types. *Journal of Plant Ecology*, 15(6), 1285–1301. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtac073>