

PEMANFAATAN KULIT BAWANG MERAH, TANGKAI CABAI RAWIT, DAN AMPAS KOPI SEBAGAI BAHAN UTAMA PUPUK ORGANIK CAIR

Daniel Try^{1*}, Juwita Situmeang², Dwi Aulia Syafira Purba³, Qania Gultom⁴, Ahd Aidil Fajri Lintang⁵, Elfayetti⁶, dan Elsa Kardiana⁷

¹⁻⁷Universitas Negeri Medan, Kota Medan, Indonesia

Email: danieltrypatratampubolon@gmail.com

Diterima: 07 Mei 2026

Direvisi: 26 Mei 2026

Publikasi: 29 Mei 2026

Abstract

The increasing amount of household organic waste, such as onion peels, chili stems, and coffee grounds, requires effective management through its utilization as liquid organic fertilizer (LOF). This study aims to analyze the production process of liquid organic fertilizer and determine the nutrient content of nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) as indicators of fertilizer quality. This study employed an experimental method with a qualitative descriptive approach through an anaerobic fermentation process using EM4 and molasses for 10-14 days. The object of the study was liquid organic fertilizer produced from household organic waste, including onion peels, chili stems, and coffee grounds. Data were collected through direct observation during the fermentation process and laboratory testing of nutrient content. Data analysis was conducted descriptively through the interpretation of observational results and laboratory tests on nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) content. The results showed that the fermentation process proceeded optimally, indicated by a dark brown color change, a fresh acidic odor, and decomposed material texture. Laboratory test results revealed that potassium was the dominant nutrient compared to nitrogen and phosphorus. Although the nutrient content has not yet met national standards, the resulting liquid organic fertilizer has the potential to be used as an environmentally friendly supplementary fertilizer to support household organic waste management and sustainable agriculture.

Keywords: Onion Peels; Bird's Eye Chili Stems; Coffee Grounds; Liquid Organic Fertilizer

Abstrak

Peningkatan limbah organik rumah tangga seperti kulit bawang merah, tangkai cabai rawit, dan ampas kopi memerlukan pengelolaan yang efektif melalui pemanfaatan menjadi pupuk organik cair (POC). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis proses pembuatan POC serta mengetahui kandungan unsur hara nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) sebagai indikator kualitas pupuk. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan deskriptif kualitatif melalui proses fermentasi anaerob menggunakan EM4 dan molase selama 10-14 hari. Objek penelitian berupa pupuk organik cair yang dihasilkan dari limbah rumah tangga, yaitu kulit bawang merah, tangkai cabai rawit, dan ampas kopi. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung selama proses fermentasi dan pengujian laboratorium terhadap kandungan unsur hara pupuk. Data dianalisis secara deskriptif kualitatif melalui interpretasi hasil observasi dan uji laboratorium terhadap kandungan nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses fermentasi berjalan optimal yang ditandai dengan perubahan warna menjadi coklat gelap, aroma asam segar, serta tekstur bahan yang terurai. Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa unsur kalium menjadi kandungan dominan dibandingkan nitrogen dan fosfor. Meskipun kandungan unsur hara belum memenuhi standar nasional, pupuk organik cair yang dihasilkan tetap berpotensi digunakan sebagai pupuk tambahan ramah lingkungan untuk mendukung pengelolaan limbah organik rumah tangga dan pertanian berkelanjutan.

Kata kunci: Kulit Bawang Merah; Tangkai Cabe Rawit; Ampas Kopi; Pupuk Organik Cair

PENDAHULUAN

Peningkatan limbah organik rumah tangga dan pertanian menjadi isu lingkungan yang semakin kompleks. Di sisi lain, perkembangan

konsep pertanian berkelanjutan mendorong pemanfaatan limbah sebagai sumber daya yang bernilai, salah satunya melalui produksi pupuk organik cair (POC). Kajian Riddech et al. (2025)

menunjukkan bahwa POC memiliki keunggulan dalam meningkatkan kesuburan tanah, memperbaiki struktur tanah, serta menyediakan unsur hara yang lebih mudah diserap tanaman dibandingkan pupuk padat. Selain itu, adanya pengembangan POC dari satu jenis limbah organik, seperti limbah kedelai yang ditambahkan bahan penstabil mampu tetap stabil selama penyimpanan serta secara signifikan meningkatkan pertumbuhan dan penyerapan nutrisi tanaman (Kurniawan et al., 2024; Su et al., 2025). Namun demikian, penelitian-penelitian tersebut masih berfokus pada penggunaan bahan tunggal, sehingga belum banyak mengkaji kombinasi berbagai jenis limbah organik yang berpotensi menghasilkan komposisi hara yang lebih seimbang.

Kondisi ini menunjukkan adanya keterbatasan studi yang mengintegrasikan berbagai sumber limbah organik dalam satu formulasi pupuk organik cair. Padahal, kombinasi bahan dengan karakteristik nutrisi berbeda seperti kulit bawang merah yang kaya kalium, tangkai cabai yang mengandung lignoselulosa, dan ampas kopi yang tinggi nitrogen berpotensi menghasilkan pupuk dengan kandungan hara yang lebih beragam (Pápai et al., 2024; Shabir et al., 2022; Ungureanu & Vlăduț, 2026). Selain itu, belum banyak penelitian (penelitian seperti apa dan siapa) yang secara spesifik mengkaji efektivitas kombinasi limbah rumah tangga dan limbah pertanian dalam konteks fermentasi sederhana berbasis skala rumah tangga. Hal ini menunjukkan perlunya inovasi dalam formulasi bahan baku serta pengujian kualitas pupuk yang dihasilkan.

Urgensi penelitian ini semakin kuat, mengingat meningkatnya volume limbah organik yang berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan baik (Mironov et al., 2023). Limbah organik yang menumpuk dapat menimbulkan bau tidak sedap, menjadi sumber patogen, serta berkontribusi terhadap emisi gas

rumah kaca (Mironov et al., 2023b; Sayara & Sánchez, 2021). Sejalan dengan kajian Ansar et al. (2025) dan Zhang et al. (2025) yang mendorong adanya pengolahan limbah menjadi produk yang bermanfaat seperti pupuk organik cair yang tidak hanya memberikan solusi ekologis, tetapi juga memiliki nilai ekonomi dan sosial. Selain itu, pemanfaatan limbah sebagai alternatif pupuk, dapat mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia dalam jangka panjang yang berpotensi merusak tanah dan lingkungan (Lu et al., 2025; Wan et al., 2021).

Penelitian ini juga memiliki relevansi dalam mendukung penerapan konsep ekonomi sirkular pada skala rumah tangga dan komunitas. Pemanfaatan limbah organik menjadi pupuk organik cair tidak hanya berkontribusi dalam mengurangi beban lingkungan, tetapi juga membuka peluang pengembangan usaha berbasis sumber daya lokal yang mudah diakses dan berbiaya rendah dengan cara fermentasi sederhana (López-Rubio et al., 2025; Sulok et al., 2021). Berdasarkan kajian Zhao et al. (2024), masyarakat bisa melakukan secara mandiri untuk mengolah limbah yang dihasilkan sehari-hari menjadi produk yang bernilai guna bagi kegiatan pertanian maupun *urban farming*. Oleh karena itu, hasil penelitian ini diharapkan menjadi dasar pengembangan model pengelolaan limbah yang aplikatif, adaptif, dan berkelanjutan di tingkat masyarakat.

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, penelitian ini berangkat dari kebutuhan untuk memahami secara lebih mendalam; bagaimana limbah organik rumah tangga dapat diolah menjadi produk yang bernilai guna melalui pendekatan terstruktur. Permasalahan utama yang dikaji tidak hanya terletak pada 'bagaimana proses pembuatan pupuk organik cair dari kombinasi kulit bawang merah, tangkai cabai rawit, dan ampas kopi melalui metode fermentasi', tetapi juga pada sejauh mana hasil

proses tersebut mampu menghasilkan kandungan unsur hara esensial yang dibutuhkan tanaman, khususnya nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K).

Sejalan dengan itu, tujuan penelitian ini tidak sekadar mendeskripsikan tahapan pembuatan pupuk organik cair, melainkan juga menjelaskan secara eksplanatif dan deskriptif bagaimana proses tersebut memengaruhi terbentuknya unsur hara di dalamnya. Melalui pendekatan ini, diharapkan diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai potensi limbah organik sebagai sumber nutrisi alternatif bagi tanaman. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan inovasi pengelolaan limbah yang lebih berkelanjutan, sekaligus memperkuat upaya transformasi menuju sistem pertanian yang ramah lingkungan dan efisien.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan pendekatan deskriptif kualitatif yang bertujuan untuk mengkaji proses pembuatan serta kualitas pupuk organik cair (POC) berbahan limbah rumah tangga. Berdasarkan kajian Hamid & Prasetyowati (2021), pendekatan deskriptif kualitatif digunakan untuk memahami fenomena melalui pengamatan langsung terhadap objek penelitian sehingga menghasilkan data yang bersifat kontekstual sesuai kondisi nyata. Pendekatan eksperimen diterapkan melalui proses fermentasi bahan organik menggunakan aktivator mikroorganisme untuk menghasilkan pupuk organik cair, kemudian dilakukan pengujian kualitas berdasarkan kandungan unsur hara utama berupa nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K)..

Penelitian dilaksanakan selama kurang lebih 14 hari yang meliputi tahap persiapan bahan, fermentasi, hingga pengujian hasil. Proses pembuatan pupuk dilakukan pada lokasi

penelitian yang telah disesuaikan dengan kebutuhan fermentasi, sedangkan pengujian unsur hara dilakukan di PT Socfin Indonesia untuk memperoleh data kandungan kimia pupuk secara lebih akurat. Objek penelitian berupa pupuk organik cair yang dihasilkan dari pemanfaatan limbah rumah tangga, yaitu kulit bawang (± 200 gram), tangkai cabai (± 150 gram), dan ampas kopi (± 200 gram). Bahan pendukung meliputi EM4 sebanyak 40 ml, molase 80 ml, dan air bersih tanpa kaporit hingga volume total 4000 ml. Alat yang digunakan terdiri atas ember berkapasitas 5 liter, gelas ukur, pisau, alat pengaduk, dan saringan kain.

Prosedur penelitian dimulai dengan pencucian dan pencacahan kulit bawang serta tangkai cabai untuk mempercepat proses penguraian, sedangkan ampas kopi digunakan tanpa perlakuan tambahan. Seluruh bahan organik dimasukkan ke dalam ember, kemudian ditambahkan larutan aktivator hasil campuran EM4 dan molase yang telah didiamkan sekitar 10-15 menit agar mikroorganisme aktif. Setelah itu ditambahkan air hingga volume yang ditentukan dan campuran diaduk secara merata. Wadah fermentasi ditutup rapat untuk menciptakan kondisi anaerob, namun pada 5-7 hari awal dilakukan pembukaan tutup secara berkala untuk mengeluarkan gas hasil fermentasi. Proses fermentasi berlangsung selama 10-14 hari dengan pengamatan terhadap perubahan warna, aroma, dan kondisi fisik larutan hingga pupuk dinyatakan matang.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung selama proses fermentasi serta pengujian laboratorium terhadap hasil pupuk organik cair. Data observasi meliputi perubahan warna, aroma, dan kestabilan larutan sebagai indikator perkembangan fermentasi. Setelah fermentasi selesai, larutan disaring untuk memisahkan residu padat dan cair sebelum dilakukan pengujian kandungan unsur hara. Analisis data

dilakukan secara deskriptif dengan menginterpretasikan hasil observasi dan hasil uji laboratorium, khususnya kandungan nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), untuk menilai kualitas pupuk organik cair dan potensi pemanfaatannya sebagai sumber nutrisi alternatif bagi tanaman.

Teknik analisis data dilakukan secara deskriptif kualitatif melalui interpretasi hasil observasi dan pengujian laboratorium. Data hasil uji laboratorium dianalisis dengan menginterpretasikan kandungan unsur hara nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) sebagai indikator kualitas pupuk. Seluruh hasil analisis kemudian dibandingkan dan diinterpretasikan untuk menilai keberhasilan proses fermentasi serta potensi pupuk organik cair sebagai sumber nutrisi alternatif bagi tanaman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pembuatan pupuk organik cair (POC) dari kulit bawang merah, tangkai cabai rawit, dan ampas kopi dapat dilakukan melalui metode fermentasi anaerob dengan bantuan EM4 dan molase sebagai aktivator. Tahapan awal dimulai dari persiapan bahan yang meliputi pembersihan dan pencacahan untuk mempercepat proses dekomposisi. Pencacahan bertujuan memperluas permukaan bahan sehingga mikroorganisme lebih mudah bekerja (Vian et al., 2024). Setelah itu, bahan dimasukkan ke dalam wadah fermentasi berkapasitas sekitar 5 liter. Aktivasi EM4 dilakukan dengan mencampurkan EM4 dan molase ke dalam air dan didiamkan beberapa saat. Proses ini bertujuan mengaktifkan mikroorganisme sebelum diaplikasikan ke bahan organik (Ansari et al., 2022).

Setelah aktivator siap, larutan tersebut dituangkan ke dalam campuran bahan organik yang telah disiapkan. Selanjutnya ditambahkan air hingga mencapai volume total sekitar 4000 ml dan diaduk hingga homogen. Wadah

kemudian ditutup rapat untuk menciptakan kondisi anaerob yang optimal bagi aktivitas mikroorganisme fermentatif. Pada awal fermentasi, wadah dibuka secara berkala untuk mengeluarkan gas yang dihasilkan selama proses berlangsung. Proses fermentasi berlangsung selama 10 hingga 14 hari dengan pengamatan rutin setiap hari. Selama periode ini, terjadi perubahan yang cukup signifikan pada karakteristik fisik bahan.

Perubahan yang diamati meliputi warna, aroma, dan tekstur bahan selama fermentasi. Warna bahan yang semula terang berubah menjadi coklat gelap hingga kehitaman, yang menandakan terjadinya dekomposisi bahan organik (Xie et al., 2025). Aroma bahan juga berubah dari bau mentah menjadi bau asam segar yang khas fermentasi. Aroma ini menunjukkan bahwa proses fermentasi berlangsung dengan baik dan tidak terjadi pembusukan. Dari segi tekstur, bahan menjadi lebih lunak dan terurai menjadi partikel yang lebih halus. Hal ini menunjukkan bahwa mikroorganisme berhasil menguraikan senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana (Liu et al., 2023). Setelah fermentasi selesai, larutan disaring untuk memisahkan cairan dari ampas. Hasil akhir berupa cairan berwarna gelap dengan aroma asam segar dan siap digunakan.

Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa pupuk organik cair yang dihasilkan mengandung unsur hara makro berupa nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Persentase Kandungan Unsur Hara

Unsur Hara	Kandungan (%)
N (Nitrogen)	0,0400%
P (Fosfor)	0,0100%
K (Kalium)	0,1400%

Kalium menjadi unsur yang paling dominan dibandingkan nitrogen dan fosfor. Kandungan ini dipengaruhi oleh jenis bahan baku yang digunakan dalam penelitian. Secara umum, hasil ini menunjukkan bahwa POC yang dihasilkan

memiliki potensi sebagai sumber nutrisi bagi tanaman.

Dominasi unsur kalium dalam pupuk organik cair dapat dijelaskan oleh penggunaan kulit bawang merah sebagai bahan utama. Kulit bawang memiliki kandungan kalium yang cukup tinggi dibandingkan bahan organik lainnya. Kalium berperan penting dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit dan stres lingkungan. Selain itu, kalium juga berfungsi dalam mengatur keseimbangan air dalam sel tanaman. (Johnson et al., 2022; Kumar et al., 2022; Mostofa et al., 2022). Kandungan nitrogen yang berada pada tingkat sedang diduga berasal dari ampas kopi yang kaya akan nitrogen organik. Nitrogen berperan dalam pertumbuhan vegetatif seperti pembentukan daun dan batang (Muhammad et al., 2022). Sementara itu, kandungan fosfor yang rendah menunjukkan keterbatasan bahan baku dalam menyediakan unsur tersebut. Hal ini menegaskan bahwa komposisi bahan sangat memengaruhi kualitas pupuk yang dihasilkan.

Jika ditinjau dari aspek teoritis, proses fermentasi anaerob memungkinkan mikroorganisme seperti bakteri asam laktat dan ragi untuk menguraikan senyawa kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana (Zhao et al., 2024). Proses ini menghasilkan asam organik dan senyawa lain yang mendukung ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Perubahan warna, aroma, dan tekstur yang diamati selama penelitian menunjukkan bahwa proses fermentasi berjalan sesuai dengan prinsip tersebut. Aktivitas mikroorganisme dalam EM4 berperan penting dalam mempercepat dekomposisi bahan organik. Selain itu, penggunaan molase sebagai sumber energi juga membantu meningkatkan aktivitas mikroba.

Meskipun demikian, jika dibandingkan dengan standar mutu pupuk organik cair menurut SNI, kandungan unsur hara yang dihasilkan masih tergolong rendah. Standar SNI

mensyaratkan kandungan nitrogen minimal 2%, fosfor 1%, dan kalium 1% untuk pupuk yang layak dipasarkan (Kementerian Pertanian Republik Indonesia, 2019). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan nitrogen dan fosfor masih berada di bawah batas tersebut. Namun, kandungan kalium mendekati nilai yang disyaratkan meskipun belum sepenuhnya memenuhi standar. Hal ini menunjukkan bahwa pupuk yang dihasilkan belum dapat dikategorikan sebagai pupuk utama. Meskipun demikian, pupuk ini tetap memiliki potensi sebagai pupuk pelengkap dalam sistem pertanian. Selain itu, keberadaan senyawa organik dan mikroorganisme juga memberikan manfaat tambahan bagi tanah.

Penelitian ini menunjukkan bahwa limbah organik rumah tangga dapat diolah menjadi pupuk organik cair melalui proses fermentasi sederhana. Meskipun kandungan unsur hara belum sepenuhnya memenuhi standar nasional, pupuk yang dihasilkan tetap memberikan manfaat bagi tanaman dan tanah. Kombinasi bahan yang digunakan terbukti mampu menghasilkan pupuk dengan kandungan kalium yang cukup tinggi.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa limbah organik rumah tangga berupa kulit bawang merah, tangkai cabai rawit, dan ampas kopi dapat diolah menjadi pupuk organik cair melalui metode fermentasi anaerob menggunakan EM4 dan molase. Proses yang dilakukan mampu menghasilkan pupuk dengan kandungan unsur hara makro yang dibutuhkan tanaman, meskipun masih berada di bawah standar mutu pupuk organik cair menurut SNI.

DAFTAR PUSTAKA

Ansar, A., Du, J., Javed, Q., Adnan, M., & Javaid, I. (2025). Biodegradable Waste in Compost Production: A Review of Its

- Economic Potential. *Nitrogen*, 6(2). <https://doi.org/10.3390/nitrogen6020024>
- Ansari, K., Khandeshwar, S., Waghmare, C., Mehboob, H., Gupta, T., Shrikhande, A. N., & Abbas, M. (2022). Experimental Evaluation of Industrial Mushroom Waste Substrate Using Hybrid Mechanism of Vermicomposting and Effective Microorganisms. *Materials*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/ma15092963>
- Chioti, A. G., Tsioni, V., Patsatzis, S., Filidou, E., Banti, D., Samaras, P., Economou, E. A., Kostopoulou, E., & Sfetsas, T. (2022). Characterization of Biofilm Microbiome Formation Developed on Novel 3D-Printed Zeolite Biocarriers during Aerobic and Anaerobic Digestion Processes. *Fermentation*, 8(12), 746. <https://doi.org/10.3390/fermentation8120746>
- Hamid, A., & Prasetyowati, M. D. R. A. (2021). *Metodologi penelitian kualitatif, kuantitatif, dan eksperimen*. CV Literasi Nusantara Abadi.
- Johnson, R., Vishwakarma, K., Hossen, Md. S., Kumar, V., Shackira, A. M., Puthur, J. T., Abdi, G., Sarraf, M., & Hasanuzzaman, M. (2022). Potassium in plants: Growth regulation, signaling, and environmental stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 172, 56-69. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.01.001>
- Kurniawan, L., Maryudi, M., & Astuti, E. (2024). Utilization of Tofu Liquid Waste as Liquid Organic Fertilizer Using the Fermentation Method with Activator Effective Microorganisms 4 (EM-4): A Review. *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, 8(1), 100. <https://doi.org/10.20961/equilibrium.v8i1.84056>
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2019). *Keputusan Menteri Pertanian Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 tentang Persyaratan Teknis Minimal Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenh Tanah*. Jakarta: Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Kumar, D., Sharma, A. K., Narwal, S., Sheoran, S., Verma, R. P. S., & Singh, G. P. (2022). Utilization of Grain Physical and Biochemical Traits to Predict Malting Quality of Barley (*Hordeum vulgare* L.) under Sub-Tropical Climate. *Foods*, 11(21). <https://doi.org/10.3390/foods11213403>
- López-Rubio, J. F., Cebrián-Tarancón, C., Alonso, G. L., Salinas, M. R., & Sánchez-Gómez, R. (2025). Preparation and Characterization of Liquid Fertilizers Produced by Anaerobic Fermentation. *Agriculture*, 15(11). <https://doi.org/10.3390/agriculture15111225>
- Liu, C., Ma, J., Qu, T., Xue, Z., Li, X., Chen, Q., Wang, N., Zhou, Z., & An, S. (2023). Extracellular Enzyme Activity and Stoichiometry Reveal Nutrient Dynamics during Microbially-Mediated Plant Residue Transformation. *Forests*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/f14010034>
- Lu, W., Zhou, Y., Ma, X., Gao, J., Guo, J., Fan, X., Xing, W., Gao, W., Lin, M., & Wang, R. (2025). Impacts of Organic Fertilizer Substitution on Soil Ecosystem Functions: Synergistic Effects of Nutrients, Enzyme Activities, and Microbial Communities. *Agronomy*, 15(12). <https://doi.org/10.3390/agronomy15122798>
- Mironov, V., Zhukov, V., Moldon, I., Zagustina, N., Shchelushkina, A., Ostrikova, V., Kotova, I. B., & Zhang, S. (2023). Pollutant Emissions from Municipal Biowaste Composting: Comparative Analysis and Contribution of N-Containing Organic Compounds. *Energies*, 16(21). <https://doi.org/10.3390/en16217271>
- Mostofa, M. G., Rahman, Md. M., Ghosh, T. K., Kabir, A. H., Abdelrahman, M., Rahman Khan, Md. A., Mochida, K., & Tran, L.-S. P. (2022). Potassium in plant physiological adaptation to abiotic stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*, 186, 279-289. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.07.011>
- Muhammad, I., Yang, L., Ahmad, S., Farooq, S., Al-Ghamdi, A. A., Khan, A., Zeeshan, M., Elshikh, M. S., Abbasi, A. M., & Zhou, X.-

- B. (2022). Nitrogen Fertilizer Modulates Plant Growth, Chlorophyll Pigments and Enzymatic Activities under Different Irrigation Regimes. *Agronomy*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/agronomy12040845>
- Pápai, B., Kovács, Z., Tóth-Lencsés, K. A., Bedó, J., Chan, K. N., Kovács-Weber, M., Pap, T. I., Csilléry, G., Szőke, A., & Veres, A. (2024). Investigating the Variation between Lignin Content and the Fracture Characteristics in Capsicum annum Mutant Stems. *Agriculture*, 14(10). <https://doi.org/10.3390/agriculture14101771>
- Riddech, N., Ngo, M. N., Boonlue, S., Dongsansuk, A., Santanoo, S., & Theerakulpisut, P. (2025). Physical and Chemical Properties Evaluation of Liquid Organic Fertilizers (LOFs) and Their Effects on Promoting Rice Growth. *Sustainability*, 17(7). <https://doi.org/10.3390/su17073087>
- Sayara, T., & Sánchez, A. (2021). Gaseous Emissions from the Composting Process: Controlling Parameters and Strategies of Mitigation. *Processes*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/pr9101844>
- Shabir, I., Pandey, V. K., Dar, A. H., Pandiselvam, R., Manzoor, S., Mir, S. A., Shams, R., Dash, K. K., Fayaz, U., Khan, S. A., Jeevarathinam, G., Zhang, Y., Rusu, A. V., & Trif, M. (2022). Nutritional Profile, Phytochemical Compounds, Biological Activities, and Utilisation of Onion Peel for Food Applications: A Review. *Sustainability*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/su141911958>
- Su, Y., Luo, Y., Xu, L., Xu, D., Yan, Z., & Wang, X. (2025). Preparation and Evaluation of an Organic Value-Added Suspension Fertilizer Using Liquid Waste. *Agriculture*, 15(24). <https://doi.org/10.3390/agriculture15242568>
- Sulok, K. M. T., Ahmed, O. H., Khew, C. Y., Zehnder, J. A. M., Jalloh, M. B., Musah, A. A., & Abdu, A. (2021). Chemical and Biological Characteristics of Organic Amendments Produced from Selected Agro-Wastes with Potential for Sustaining Soil Health: A Laboratory Assessment. *Sustainability*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/su13094919>
- Ungureanu, N., & Vlăduț, N.-V. (2026). Sustainable Valorization of Spent Coffee Grounds Within the Circular Economy: Innovative Applications in Food, Agriculture, Environmental, and Industrial Sectors. *Sustainability*, 18(8). <https://doi.org/10.3390/su18084127>
- Vian, J., Velasco-Pérez, A., Solar-González, R., García-Herrera, T., Puebla, H., & Vivar-Vera, G. (2024). Particle Size Effect on Anaerobic Digestion of Fruit and Vegetable Waste. *Fermentation*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/fermentation10090485>
- Wan, L.-J., Tian, Y., He, M., Zheng, Y.-Q., Lyu, Q., Xie, R.-J., Ma, Y.-Y., Deng, L., & Yi, S.-L. (2021). Effects of Chemical Fertilizer Combined with Organic Fertilizer Application on Soil Properties, Citrus Growth Physiology, and Yield. *Agriculture*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/agriculture11121207>
- Xie, Y., Wu, P., Qu, Y., Guo, X., Zheng, J., Xing, Y., Zhang, X., & Liu, Q. (2025). The Evolution of Nutrient and Microbial Composition and Maturity During the Composting of Different Plant-Derived Wastes. *Biology*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/biology14030268>
- Zhang, D., Jin, J., & Li, L. (2025). Strategies for Enhancing Social Benefits in Agricultural Waste Management: A Game Theory Approach to Government Subsidy Policies. *Sustainability*, 17(8). <https://doi.org/10.3390/su17083459>
- Zhao, C., Yang, L., Li, H., & Deng, Z. (2024). Nitrogen Metabolism during Anaerobic Fermentation of Actual Food Waste under Different pH Conditions. *Fermentation*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/fermentation10030129>