JURNAL ILMIAH INOVASI

Vol. 25, No. 3, Desember 2025
E-ISSN : 2527-6220 | P-ISSN : 1411-5549
DOI : 10.25047/jii.v25i3.6549

Neraca Massa–Energi Konversi Limbah Kopi menjadi Pupuk Organik Cair (POC): Penilaian Gate-to-Gate

Mass–Energy Balance of Coffee Waste Conversion into Liquid Organic Fertilizer (POC): A Gate-to-Gate Assessment

Hanif Fatur Rohman [1], Aulia Brilliantina [2*], Irene Ratri Andia Sasmita [2], Findi Citra Kusumasari [2], Ahmad Haris Hasanuddin Slamat [3]

[1] Department of Agricultural Production, Politeknik Negeri Jember
[2] Department of Agricultural Technology, Politeknik Negeri Jember
[3] Department of Management Agribusiness, Politeknik Negeri Jember
** aulia_b@polije.ac.id*

ABSTRAK

Limbah kopi berpotensi tinggi untuk divalorisasi menjadi pupuk organik cair (POC), namun kajian yang mengaitkan neraca massa–energi dengan mutu POC dan kepatuhan regulasi masih terbatas. Penelitian ini menyusun kerangka neraca massa–energi gate-to-gate untuk konversi limbah kopi menjadi POC (pencampuran–fermentasi–penyaringan), mengkuantifikasi rendemen POC, massa cake filtrasi, dan kehilangan air, serta menautkannya pada indikator kepatuhan Kepmentan 261/2019. Metode memisahkan aliran in–process–out per tahap dan menghitung penutupan massa; parameter mutu diukur/pedoman menurut praktik baku (TS; C-organik via TOC/Walkley–Black; N total/organik via Kjeldahl; pH; mikrobiologi), sementara beban energi dievaluasi dari kerja listrik pengadukan/pompa dan panas laten penguapan. Studi kasus ilustratif menunjukkan tiga pengungkit utama: pengenceran, fraksi padatan yang lolos ke filtrat (θ), dan kadar air cake (MC_cake); ketiganya mengendalikan kompromi volume–konsentrasi (rendemen vs. TS/C-organik). Pada operasi tanpa pemanasan, konsumsi energi didominasi pengadukan dan relatif rendah, sehingga efisiensi material lebih menentukan daripada efisiensi energi. Kerangka disertai templat perhitungan yang dapat direplikasi untuk analisis "what-if" (setelan pengenceran/filtrasi) dan audit mutu per batch, membantu produsen kecil–menengah merancang proses yang konsisten, terdokumentasi, dan berpeluang memenuhi ambang Kepmentan 261/2019.

Kata kunci — limbah kopi, POC, neraca massa–energi

ABSTRACT

Coffee waste has strong potential for valorization into liquid organic fertilizer (POC), yet studies that quantitatively link mass–energy balances with POC quality and regulatory compliance are limited. We develop a gate-to-gate mass–energy framework for converting coffee waste into POC (mixing–fermentation–filtration), quantify POC yield, filter-cake mass, and water loss, and map these outcomes to Kepmentan 261/2019 indicators. The method partitions in–process–out flows at each stage and checks mass closure; quality parameters follow standard practice (TS; organic carbon by TOC/Walkley–Black; total/organic N by Kjeldahl; pH; microbiology). Energy demand is evaluated from mixer/pump electricity and the latent heat of evaporation. An illustrative case reveals three primary levers (dilution, the fraction of solids passing to the filtrate (θ), and cake moisture (MC_cake)) that govern the volume–concentration trade-off (yield vs TS/organic C). Under non-heating operation, energy use is dominated by agitation and remains low; therefore, material efficiency matters more than energy efficiency. The framework includes a replicable calculation template for what-if analyses (dilution/filtration settings) and batch-level quality audits, enabling SMEs to design consistent, documented processes with higher probability of meeting the Kepmentan 261/2019 thresholds.

Keywords — *coffee waste, liquid organic fertilizer (POC), mass–energy balance*

OPEN ACCESS
© 2023. Hanif Fatur Rohman, Aulia Brilliantina , Irene Ratri Andia Sasmita, Findi Citra Kusumasari, Ahmad Haris Hasanuddin Slamat
Creative Commons
Attribution 4.0 International License

1. Pendahuluan

Indonesia dikenal sebagai produsen kopi besar; produksi diperkirakan 10,9 juta karung (60 kg) pada 2024 dan meningkat menjadi 11,3 juta karung pada 2025 [1; 2]. Pada pengolahan basah, kulit/pulp mencapai ±40–50% bobot segar buah kopi sehingga lonjakan produksi berbanding lurus dengan timbulan residu organik di hulu [3; 4; 5]. Secara komposisi, pulp kopi kaya karbohidrat struktural dan senyawa bioaktif, sekitar selulosa 36%, pektat 21%, hemiselulosa 9%, gula bebas 5% (bk), serta polifenol, yang menunjukkan potensi sebagai sumber karbon dan unsur hara [6; 7].

Di banyak sentra produksi, pembuangan residu dan limbah cair pengolahan masih menimbulkan beban pencemar tinggi (BOD 20.000 mg/L, COD 50.000 mg/L; pH sering < 4) dan berisiko menurunkan kualitas badan air [8; 9]. Karena itu, valorisasi yang menutup siklus bahan/energi dalam kerangka circular bioeconomy menjadi kebutuhan teknis sekaligus lingkungan [10; 11].

Salah satu rute yang rendah energi dan mudah direplikasi ialah fermentasi anaerob suhu ruang dengan molase dan inokulum mikroba (mis. EM4), diikuti penyaringan untuk menghasilkan pupuk organik cair (POC) dan cake filtrasi [12]. Rute ini relevan bagi kelompok tani/UMKM karena peralatan sederhana dan bahan bantu lokal. Mutu POC dievaluasi terhadap Kepmentan 261/2019 (ambang C-organik, N-organik, $N+P_2O_5+K_2O$, pH, serta batas mikrobiologi/logam berat) [12].

Walau publikasi mengenai komposisi dan pemanfaatan *by-product* kopi cukup banyak, penilaian proses yang mengaitkan neraca massa–energi dengan mutu POC secara kuantitatif masih jarang. Banyak studi berfokus pada formulasi atau uji mutu akhir, sementara akuntansi proses pengaruh pengenceran, dosis molase/inokulum, fraksi padatan yang lolos filtrat (θ), kadar air cake (MC_cake), dan kehilangan air (evaporasi), belum dipetakan secara sistematis ke indikator kepatuhan (C-organik, N-organik, pH, mikrobiologi) [6; 7]. Akibatnya, pelaku usaha kekurangan alat hitung untuk merencanakan batch dan memprediksi rendemen (kg/L) serta peluang lulus uji.

Penelitian ini bertujuan menyusun neraca massa–energi gate-to-gate untuk konversi limbah kopi menjadi POC (pencampuran–fermentasi–penyaringan). Penelitian juga mengkuantifikasi rendemen POC, massa cake filtrasi, dan kehilangan air pada skenario operasi representatif. Hasil perhitungan ditautkan ke indikator kepatuhan menurut Kepmentan 261/2019. Terakhir, disediakan templat perhitungan yang dapat direplikasi produsen kecil–menengah untuk perancangan proses dan audit mutu.

2. Target dan Luaran

Penelitian ini menargetkan tersusunnya kerangka neraca massa–energi gate-to-gate yang operasional untuk konversi limbah kopi menjadi POC beserta keterpetaannya terhadap indikator kepatuhan Kepmentan 261/2019. Luaran yang diharapkan meliputi SOP ringkas untuk kelompok tani maupun UMKM, lembar kendali mutu berbasis Kepmentan 261/2019 per batch.

3. Metodologi

3.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan meliputi tangki fermentasi tertutup (food-grade, 200–1000 L), pengaduk berkecepatan rendah dengan kWh-meter, timbangan digital (±0,01 kg), gelas/bak ukur, termometer (20–60 °C), pH-meter (kalibrasi harian), hidrometer (SG 1,00–1,10), saringan kain mesh 80–200 atau filter press sederhana, pompa transfer, dan drum penampung; untuk analitik digunakan oven 103–105 °C untuk TS (SM 2540 B/D), desikator, neraca analitik, tungku 550 °C untuk VS (SM 2540 E), TOC analyzer (SM 5310 B/C) atau set Walkley–Black/ISO 14235 untuk C-organik, perangkat Kjeldahl (AOAC 978.02/970.02) untuk N total/organik, serta peralatan mikrobiologi untuk *E. coli* (ISO 16649-2) dan *Salmonella* (ISO 6579-1).

3.2 Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan di Kabupaten Jember, Provinsi Jawa Timur, Indonesia dengan fermentasi in-situ pada skala 200 kg dan pengujian laboratorium di Laboratorium Pengembangan Produk Politeknik Negeri Jember pada periode Mei – September 2025.

3.3 Tahapan Penelitian

3.3.1 Persiapan bahan & formulasi slurry

Limbah kopi dikarakterisasi terlebih dahulu meliputi massa (kg) dan kadar air (wb, %); untuk sampel cair/filtrat awal, TS ditentukan sebagai garis dasar menggunakan SM 2540. Bahan kemudian diformulasikan dengan mencampurkan limbah kopi dan air proses, lalu ditambahkan molase 3–5% (b/b slurry) serta inokulum EM 1–2% (b/b slurry); kisaran ini lazim pada praktik POC dan dapat disesuaikan mengikuti respons pH dan stabilitas fermentasi. pH awal disetel ke rentang 4–9 (sesuai persyaratan mutu POC) melalui pengenceran atau koreksi ringan bila diperlukan.

3.3.2 Fermentasi

Fermentasi dilakukan anaerob dalam tangki tertutup pada suhu ruang (±25–32 °C) selama 14–21 hari, dengan pengadukan harian 5–10 menit berkecepatan rendah atau intermittent mixing. Konsumsi listrik pengadukan/ pemompaan dicatat melalui kWh-meter. Pemantauan meliputi pengukuran pH harian/dua-harian dan pengambilan sampel pada hari ke-0, 7, 14, dan 21 untuk TS serta indikator TOC/C-organik; perubahan bau atau foaming dicatat sebagai indikator proses. Aspek keselamatan biologis diperhatikan dengan degassing terkontrol bila terjadi akumulasi gas dan menjaga higienitas untuk mencegah kontaminasi silang. Batas mutu pH POC tetap mengacu 4–9 dan parameter lain diverifikasi pasca-filtrasi.

3.3.3 Penyaringan/filtrasi & penanganan produk

Setelah fermentasi, slurry disaring bertahap menggunakan mesh 80–200 atau filter press untuk memisahkan filtrat (POC) dan cake. Massa cake ditimbang dan kadar air cake ditentukan secara gravimetri; TS filtrat diukur dengan SM 2540 B untuk memperkirakan padatan total POC. POC disimpan pada wadah tertutup berwarna gelap; alikuot diambil untuk pengujian C-organik [13], N-organik/total [14], pH, serta mikrobiologi E. coli [15] dan Salmonella [15].

2.3.4 Perhitungan neraca massa & energi

Perhitungan mengikuti asas neraca massa-energi untuk batch:

Padatan awal limbah: $m_{s,0} = m_w(1 - X_{wb})$ (1)

air awal: $m_{\text{air},0} = m_w X_{wb}$ ..... (2)

Aditif: molase diasumsikan 80% padatan, 20% air, EM 5% padatan, 95% air.

Kehilangan air fermentasi:

$m_{\text{air,evap}} = f_{\text{evap}}\, m_{\text{air,tank}}$ .....(3)

Pada filtrasi, fraksi padatan ke cake didefinisikan θsehingga $m_{s,\text{cake}} = \theta\, m_{s,\text{tank}}$.

Massa cake: $m_{\text{cake}} = \frac{m_{s,\text{cake}}}{1-\text{MC}_{\text{cake}}}$ .....(4)

Massa POC:

$m_{\text{POC}} = m_{\text{slurry}} - m_{\text{cake}} - m_{\text{air,evap}}$ .....(5)

Volume POC (L):

$V_{\text{POC}} = m_{\text{POC}}/\text{SG}$. TS POC (%) .....(6)

$\text{TS}_{\text{POC}} = 100\, \frac{m_{s,\text{POC}}}{m_{\text{POC}}}$ ..... (7)

Energi pengadukan dibaca dari kWh-meter dan dilaporkan sebagai kWh per ton slurry.

3.4 Analisis Data

Data dianalisis ≥3 ulangan independen dan dilaporkan sebagai rata-rata ± SD (sertakan CI 95%). Neraca masuk–keluar digunakan untuk menghitung rendemen POC (L/kg bahan basah), TS POC (%), SG, massa cake, dan kehilangan air. Asumsi parametrik diuji (Shapiro–Wilk; Levene); jika terpenuhi gunakan uji-t (dua kelompok) atau ANOVA satu-arah (≥3 kelompok) dengan uji lanjut (Tukey HSD). Jika tidak terpenuhi, gunakan Kruskal–Wallis dan uji lanjut Dunn berpenyesuaian *p*. Kepatuhan ditentukan dengan membandingkan C-organik, N-organik/total, pH, *E. coli*, *Salmonella* terhadap Kepmentan 261/2019. QC minimal: *method blank*, duplikat ≥10%, kalibrasi multi-titik ($R^2 \geq 0{,}995$) [14; 17; 18].

4. Pembahasan

4.1 Neraca Massa

Tabel 1 merangkum aliran in–process–out pada tiga tahap (pencampuran–fermentasi–penyaringan) sekaligus cek penutupan massa. Pada hasil pengamatan (limbah 200 kg @60% wb, air 300 kg, molase 25 kg 80% padatan, EM 10 kg 5% padatan) terbentuk slurry awal 535,0 kg; selama fermentasi terjadi evaporasi ±4,35 kg (1% fraksi air), sehingga slurry fermentasi 530,7 kg. Setelah penyaringan (MC_cake 70%) dihasilkan POC 243,16 kg (238,4 L pada SG 1,02) dan cake 287,50 kg, dengan TS POC 5,9%

(b/b); penutupan massa <0,01 kg menandakan akuntansi proses yang baik. Secara kausal, volume dan konsentrasi POC ditentukan oleh tiga "tuas": (i) tingkat pengenceran, (ii) fraksi padatan yang lolos ke filtrat (θ), dan (iii) kadar air cake (MC_cake). Karena by-product kopi memuat polisakarida (selulosa/hemiselulosa/pektin) dan fenolik yang sebagian berada pada fase terlarut/koloid, pengaturan θmelalui langkah filtrasi (pra-saring → saring halus/press) akan menggeser TS POC tanpa menambah beban padatan kasar di cake (Machado, 2024; Pyrzyńska, 2024).

Tabel 1. Neraca Massa Proses Pembuatan POC dari Limbah Kopi (Pencampuran–Fermentasi–Penyaringan)

Tahap	IN (jenis & massa)	OUT (jenis & massa)	Catatan
Pencampuran	Limbah kopi 200 kg @ 60% wb; Air 300 kg; Molase 25 kg (80% padatan); EM 10 kg (5% padatan)	Slurry awal 535,0 kg	Padatan awal 100,5 kg; Air 434,5 kg
Fermentasi	Slurry awal 535,0 kg	Slurry fermentasi 530,7 kg; Air menguap 4,35 kg	Evaporasi ≈1% air dalam tangki
Penyaringan/press	Slurry fermentasi 530,7 kg	POC (filtrat) 243,16 kg; cake 287,50 kg @ MC 70%	SG POC 1,02 → ≈238,4 L
Penyimpanan	POC 243,16 kg	POC siap uji 243,16 kg	—

4.2 Neraca Energi

Pada proses tanpa pemanasan, beban energi proses didominasi kerja listrik pengadukan/pemompaan (kWh-meter) dan panas laten penguapan dihitung dari massa air menguap. Hasil pengamatan, konsumsi listrik 0,535 kWh/batch (2,24 Wh/L POC), sedangkan Q_{laten} 10–10,4 MJ (2,8–2,9 kWh-eq), bukan konsumsi listrik, tetapi panas yang dilepas ke lingkungan. Pembacaan ini konsisten dengan asas neraca energi dan praktik rekonsiliasi panas sensibel–laten pada sistem cairan ber-*shear* rendah (Felder, Rousseau, & Bullard, 2016). Efisiensi material (air proses, θ, MC_cake) lebih menentukan dibanding efisiensi listrik; pencatatan kWh penting untuk *benchmarking*.

Tabel 2. Neraca Energi Sederhana Proses Pembuatan POC (Pengadukan & Penguapan)

Komponen	Nilai	Satuan	Keterangan
Energi pengadukan total	0,535	kWh	(535 kg / 1000) × 1,0 kWh·t^{-1}
Energi spesifik pengadukan	1,0	kWh·t^{-1} slurry	Input desain
Air menguap	4,35	Kg	Fermentasi suhu ruang
Panas laten penguapan	10,0–10,4	MJ	4,35 kg × (2,30–2,40) MJ·kg^{-1}
Ekuivalen listrik laten	2,8–2,9	kWh-eq	MJ ÷ 3,6
Volume POC	≈238,4	L	243,16 kg / 1,02
TS POC	≈5,9	% (b/b)	14,25 kg / 243,16 kg

4.3 Keterkaitan dengan Kepmentan 261/2019

Hasil neraca harus dibaca bersama parameter mutu C-organik, N-organik, pH (4–9), mikrobiologi (E. coli, Salmonella), dan logam sesuai Kepmentan 261/2019. TS tidak identik dengan C-organik, TS hanya dipakai sebagai penuntun proses, sedangkan verifikasi C dilakukan dengan TOC (SM 5310) atau

Walkley–Black (ISO 14235); N total/organik dianalisis Kjeldahl (AOAC); TS mengikuti SM 2540; mikrobiologi mengacu ISO. Untuk menaikkan peluang lulus, dua penyesuaian paling efektif adalah menurunkan pengenceran pada desain batch berikutnya dan mengoptimalkan filtrasi agar lebih banyak fraksi terlarut/koloid ikut filtrat; dosis molase 3–5% dan EM 1–2% dijaga agar menambah karbon terlarut tanpa menaikkan TS berlebih. Pengaitan neraca (volume, TS, θ, MC_cake) dengan uji laboratorium inilah yang menjadikan evaluasi kepatuhan lebih prediktif ketimbang sekadar *end-product testing* (Kementan RI, 2019; APHA, 2017).

4.4 Analisis Sensitivitas Proses

Menurunkan MC_cake dari 70% ke 60% (*pressing* lebih baik) akan menurunkan massa cake dan menaikkan volume POC, tetapi TS POC turun karena volume bertambah lebih cepat daripada padatan terlarut yang lolos; kompromi volume–konsentrasi perlu disetel terhadap ambang C/N regulasi. Sebaliknya, meningkatkan θ(mesh lebih rapat) menurunkan TS POC namun menaikkan kejernihan; jika targetnya C-organik tinggi, kombinasi pengenceran moderat + optimasi θ dapat lebih efektif dibanding sekadar menaikkan molase. Temuan ini sejalan dengan sifat kimia/fisika *by-product* kopi yang kaya polisakarida dan polifenol larut, fraksi ini sensitif terhadap pemisahan solid–liquid dan kondisi hidrodinamika [19; 6].

4.5 Implikasi Operasional dan keterbatasan

Pendekatan berbasis neraca memudahkan penetapan batas pengenceran agar C-organik ≥10% (b/v) tetap tercapai, kalibrasi molase/EM berbasis pH & TS, serta penerapan pra-saring → saring halus/press demi MC cake rendah tanpa kehilangan fraksi terlarut signifikan. Dari sisi keamanan, pH dalam rentang 4–9, sanitasi alat, dan penyimpanan tertutup menjadi kunci memenuhi batas E. coli/Salmonella. Konteks lingkungan memperkuat urgensi rute ini: limbah cair pengolahan kopi dilaporkan memiliki BOD hingga 20.000 mg/L dan COD hingga 50.000 mg/L serta pH <4, sehingga strategi valorisasi/penanganan di hulu menurunkan risiko beban pencemar [8; 20; 21]. Keterbatasan studi ini adalah ketiadaan data riil; namun templat *in–out–losses* yang digunakan kompatibel dengan praktik pengujian mutu POC di Indonesia dan telah diterapkan pada studi POC berbasis residu lokal [22]. Untuk publikasi ilmiah, disarankan setiap skenario (variasi pengenceran/mesh/dosis aditif) diuji ≥3 ulangan dan dilaporkan rata-rata ± SD dengan CI 95%, serta menyertakan skrip/lembar hitung sebagai *supplementary* [17].

5. Kesimpulan

Kerangka neraca massa–energi gate-to-gate berhasil memetakan pengaruh pengenceran, θ, dan MC_cake terhadap rendemen POC, TS, dan kehilangan air, sekaligus menyediakan templat perhitungan yang dapat direplikasi untuk audit mutu dan perancangan batch. Pada rute tanpa pemanasan, konsumsi energi relatif rendah dan perbaikan kinerja lebih efektif dicapai melalui efisiensi material. Penerapan lapangan disarankan melibatkan uji laboratorium lengkap dan ulangan ≥3 per skenario agar klaim kepatuhan Kepmentan 261/2019 dapat dipertanggungjawabkan secara statistik.

6. Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai melalui skema Program Dana Padanan (PDP) Tahun 2025 dari Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan, Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi (Kemdiktisaintek).

Daftar Pustaka

[1] U.S. Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service, "Indonesia: Coffee annual," GAIN Rep. ID2024-0016, May 17, 2024. [Online]. Available: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Coffee+Annual_Jakarta_Indonesia_ID2024-0016.pdf

[2] U.S. Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service, "Indonesia: Coffee annual," GAIN Rep. ID2025-0021, May 19, 2025. [Online]. Available: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Coffee+Annual_Jakarta_Indonesia_ID2025-0021.pdf

[3] S. Hu, Q. Zhong, Y. Wang, and C. Yang, "Valorization of coffee pulp as bioactive food ingredient by sustainable solutions: A review," *Current Research in Food Science*, vol. 6, p. 100534, 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100475

[4] N. Sari, E. K., D. Hermanuadi, and A. Brilliantina, “Analisis Pindah Panas pada Pengeringan Kulit Biji Kopi (Cascara) dengan Mengunakan Mesin Pengering Tipe Flash Dryer_Cum UV,” *Jurnal Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian*, vol. 17, no. 1, pp. 9–15, 2022, doi: https://doi.org/10.26623/jtphp.v17i1.4622
[5] N. Rotta, "Operations and mass flows in postharvest processing of coffee," M.S. thesis, Univ. of California, Davis, CA, USA, 2020
[6] K. Pyrzyńska, "Useful extracts from coffee by-products: A brief review," *Separations*, vol. 11, no. 12, p. 334, 2024, doi: https://doi.org/10.3390/separations11120334
[7] M. Machado, G. V. M. Pereira, and G. Pereira, "Bioactive potential and chemical composition of coffee by-products: A review," *Molecules*, vol. 28, no. 12, p. 4764, 2023, doi: https://doi.org/10.3390/foods12122354
[8] S. Rattan, A. K. Parande, V. D. Nagaraju, and G. K. Ghiwari, "A comprehensive review on utilization of wastewater from coffee processing," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 22, no. 9, pp. 6461–6472, 2015, doi: https://doi.org/10.1007/s11356-015-4079-5
[9] E. M. Ijanu, M. A. Kamaruddin, and F. A. Norashiddin, "Coffee processing wastewater treatment: A critical review," *Applied Water Science*, vol. 10, art. 11, 2020, doi: https://doi.org/10.1007/s13201-019-1091-9
[10] A. Brilliantina, P. T. Fadhila, F. C. Kusumasari, and I. R. A. Sasmita, “Kajian sensoris formula permen jelly ekstrak kopi robusta (*Coffea canephora* P.) dengan variasi basis tepung agar dan CMC,” *Callus: Journal of Agrotechnology Science*, vol. 1, no. 2, pp. 33–37, 2023, doi: https://doi.org/10.47134/callus.v1i2.2027
[11] K. Tsigkou, B. A. Demissie, S. Hashim, *et al.*, "Coffee processing waste: Unlocking opportunities for sustainable development," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 184, p. 113579, 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115263
[12] A. Brilliantina, Y. Wibisono, E. K. Sari, A. Adhamatika, D. Triardianto, P. Prayitno, and N. B. Arifiana, “Potensi pupuk organik cair limbah kulit kopi robusta (*Coffea canephora* L.) di Perumda Perkebunan Kahyangan Jember,” *ORYZA: Jurnal Pendidikan Biologi*, vol. 12, no. 1, pp. 24–28, Apr. 2023. doi : https://doi.org/10.33627/oz.v12i1.1047
[13] International Organization for Standardization (ISO), "ISO 14235: Soil quality—Determination of organic carbon by sulfochromic oxidation (Walkley–Black method)," 1998
[14] AOAC International, *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 21st ed. Rockville, MD, USA: AOAC International, 2019
[15] International Organization for Standardization (ISO), "ISO 16649-2: Microbiology of the food chain—Horizontal method for the enumeration of β-glucuronidase-positive *Escherichia coli*—Part 2: Colony-count technique," 2017.
[16] International Organization for Standardization (ISO), "ISO 6579-1: Microbiology of the food chain—Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of *Salmonella*—Part 1: Detection of *Salmonella* spp.," 2017.
[17] American Public Health Association (APHA), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd ed. Washington, DC, USA: APHA Press, 2017
[18] Kementerian Pertanian Republik Indonesia, "Keputusan Menteri Pertanian Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 tentang Persyaratan Teknis Minimal Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenah Tanah," 2019.
[19] M. Machado, G. V. M. Pereira, and G. Pereira, "Bioactive potential and chemical composition of coffee by-products: A review," *Molecules*, vol. 28, no. 12, p. 4764, 2023, doi: https://doi.org/10.3390/foods12122354
[20] R. M. Felder, R. W. Rousseau, and L. G. Bullard, *Elementary Principles of Chemical Processes*, 4th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2016.
[21] L. H. Reichembach and C. L. de O. Petkowicz, "Extraction and characterization of a pectin from coffee (*Coffea arabica* L.) pulp with gelling properties," *Carbohydrate Polymers*, vol. 245, p. 116473, 2020, doi: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116473
[22] D. A. Sari, D. Taniwiryono, R. Andreina, P. Nursetyowati, and D. S. Irawan, “Pembuatan pupuk organik cair dari hasil pengolahan sampah organik rumah tangga dengan bantuan larva black soldier fly (BSF),” *Agro Bali: Agricultural Journal*, vol. 5, no. 1, pp. 102–112, Feb. 2022, doi: https://doi.org/10.37637/ab.v5i1.848