



Karakterisasi Kualitas Pupuk Organik Cair Dari Fermentasi Limbah Sayuran Dan Buah Pasar Tradisional Susumbolan Kabupaten Tolitoli

Characterization of Liquid Organic Fertilizer Quality from the Fermentation of Vegetable and Fruit Waste at Susumbolan Traditional Market, Tolitoli Regency

Salawati*, Tony, Siti Fatima, Sunaryo, dan Sodikun

Sekolah Tinggi Ilmu Pertanian Mujahidin Tolitoli, Sulawesi Tengah, Indonesia

ABSTRAK

Peningkatan volume limbah organik di pasar tradisional, khususnya dari sisa sayuran dan buah-buahan, menuntut penerapan teknologi pengelolaan limbah yang efisien agar dapat bertransformasi menjadi produk bernilai guna. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi kualitas kimiawi Pupuk Organik Cair (POC) dari fermentasi limbah sayur dan buah di Pasar Tradisional Susumbolan, Kabupaten Tolitoli. Metode penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan empat perlakuan dan tiga ulangan, yaitu: P1 (100% limbah sayur), P2 (100% limbah buah), P3 (campuran 50% limbah sayur dan 50% limbah buah), serta P4 (campuran 45% limbah sayur, 45% limbah buah, dan 10% biochar). Data dianalisis menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) dan dilanjutkan dengan uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi formulasi berpengaruh signifikan terhadap pH, kadar Nitrogen (N), dan Fosfor (P), namun tidak berpengaruh signifikan terhadap kadar Kalium (K). Perlakuan P3 menghasilkan kadar N tertinggi (1,64%), sedangkan kadar P tertinggi (0,23%) ditemukan pada P4. Penambahan biochar pada perlakuan P4 efektif menstabilkan pH menjadi 6,17, memenuhi ambang batas standar mutu pH untuk POC menurut Keputusan Menteri Pertanian Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019. Namun, kandungan hara makro (N, P, dan K) pada seluruh perlakuan masih berada di bawah ambang batas minimal standar nasional. Meskipun formulasi biochar 10% terbukti efektif sebagai agen penetralisir keasaman (penyangga pH), diperlukan optimasi lanjutan melalui fortifikasi mineral agar kandungan hara makro dapat mencapai standar teknis yang disyaratkan.

Kata Kunci: Biochar, limbah pasar, pupuk organik cair, unsur hara

ABSTRACT

The increasing volume of organic waste in traditional markets, particularly from vegetable and fruit scraps, necessitates the implementation of efficient waste management technologies to transform it into valuable products. This study aims to characterize the chemical quality of Liquid Organic Fertilizer (LOF) produced from the fermentation of vegetable and fruit waste at Susumbolan Traditional Market, Tolitoli Regency. The research employed a Completely Randomized Design (CRD) with four treatments and three replications: P1 (100% vegetable waste), P2 (100% fruit waste), P3 (a mixture of 50% vegetable waste and 50% fruit waste), and P4 (a mixture of 45% vegetable waste, 45% fruit waste, and 10% biochar). Data were analyzed using *Analysis of Variance* (ANOVA), followed by *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) at the 5% level. The results indicate that formulation variations significantly affected pH, Nitrogen (N) content, and Phosphorus (P) content, but did not have a significant effect on Potassium (K) content. The P3 treatment yielded the highest Nitrogen content (1.64%), while the highest Phosphorus content (0.23%) was observed in P4. The addition of biochar in the P4 treatment was effective in stabilizing the pH to 6.17, thus meeting the pH quality standard threshold for LOF according to the Decree of the Minister of Agriculture Number 261/KPTS/SR.310/M/4/2019. However, the macronutrient content (N, P, and K) in all treatments remained below the minimum national standard thresholds. Although a 10% biochar formulation proved effective as an acidity neutralizing agent (pH buffer), further optimization through mineral fortification is required to ensure the macronutrient content reaches the required technical standards.

Keywords: Biochar, Fermentation, Fertilizer quality, Market waste, Liquid organic fertilizer.

*Corresponding author:

Sekolah Tinggi Ilmu Pertanian Mujahidin Tolitoli Sulawesi Tengah, Indonesia. Email: wati.stip@yahoo.com

Masuk: 01 Januari 2026;

Direvisi: 30 Februari 2026;

Diterima: 25 Maret 2026;

Terbit: 01 April 2026

PENDAHULUAN

Timbunan sampah organik merupakan tantangan lingkungan utama di Indonesia. Data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan yang dikutip oleh BRIN (2024) mencatat timbunan sampah nasional mencapai 35,9 juta ton pada tahun 2023, dengan 65% di antaranya adalah sampah organik. Penumpukan limbah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang mengalami dekomposisi anaerobik melepaskan gas metana (CH_4), sebuah gas rumah kaca dengan potensi pemanasan global 25 kali lebih tinggi dibandingkan CO_2 (Environmental Protection Agency, 2021). Selain ancaman terhadap stabilitas iklim, akumulasi limbah ini menyebabkan degradasi kualitas lingkungan (Amah *et al.*, 2023; Farida *et al.*, 2021) serta penurunan derajat kesehatan masyarakat akibat sistem sanitasi yang buruk (Anugrah *et al.*, 2025; Hartono *et al.*, 2023; Stewart & Gonzalez, 2022).

Implikasi dari krisis limbah tersebut tercermin secara nyata pada level operasional pasar tradisional yang memikul peran ganda, sebagai motor penggerak ekonomi sekaligus kontributor utama timbunan limbah organik perkotaan. Pasar Susumbolan di Kabupaten Tolitoli, misalnya, menghasilkan limbah organik dengan volume mencapai 1,5 ton per hari (DLH Kabupaten Tolitoli, 2020), yang berasal dari sisa sayuran, buah-buahan, dan bahan pangan lain yang tidak layak jual (Hendrasarie & Mahendra, 2020). Limbah yang didominasi oleh sisa buah dan sayur ini merupakan sumber daya kaya nutrisi (Kusumadewi *et al.*, 2019; Wirawan *et al.*, 2021), dengan potensi kandungan Nitrogen (N) 2,4%, Fosfor (P) 0,08%, dan Kalium (K) 0,48% (Slopiecka *et al.*, 2022). Tanpa pengelolaan yang terukur, akumulasi limbah ini tidak hanya memicu emisi bau dan proliferasi vektor penyakit (Amah *et al.*, 2023), tetapi juga menyia-nyiakan potensi nutrisi yang seharusnya dapat dikembalikan ke siklus pertanian (Chen *et al.*, 2020).

Guna merespons besarnya potensi nutrisi yang terbuang tersebut, diperlukan intervensi teknologi yang mampu mengubah limbah menjadi produk bernilai tambah. Transformasi limbah menjadi Pupuk Organik Cair (POC) merupakan strategi mitigasi berbasis teknologi biosistem yang berkelanjutan (Salawati *et al.*, 2024). Penggunaan aktivator seperti *Effective Microorganisms* (EM₄) telah teruji mempercepat dekomposisi (Adi *et al.*, 2022), serta terbukti efektif meningkatkan kualitas POC dari limbah domestik (Salawati *et al.*, 2021) maupun limbah pasar (Wirawan *et al.*, 2021). POC limbah pasar lebih baik dari POC komersial (Widyabudiningsih *et al.*, 2021) yang dapat memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah (Firrizqi *et al.*, 2024).

Pemanfaatan limbah buah dan sayur sebagai bahan baku POC sering terkendala oleh laju degradasi yang tidak terkontrol. Sifat bahan baku yang *perishable* (mudah busuk) (Edam, 2018; Yunilas *et al.*, 2022) memicu proses fermentasi anaerobik yang cenderung mengalami asidifikasi drastis (Sandi *et al.*, 2023) akibat akumulasi asam organik volatil (Andrio *et al.*, 2015). Kondisi pH yang terlalu rendah ini tidak hanya menekan aktivitas mikrobial pengurai (Egamiati *et al.*, 2022), tetapi juga menghambat pelepasan hara makro (N, P, K) (Sandi *et al.*, 2023; Sulfianti *et al.*, 2021). Oleh karena itu, diperlukan stabilisasi pH lingkungan yang mampu menyeimbangkan pH lingkungan selama proses fermentasi agar profil hara akhir tetap.

Menyikapi permasalahan tersebut, penelitian ini difokuskan pada Pasar Tradisional Susumbolan, Kabupaten Tolitoli, untuk mengoptimalkan teknik *co-composting* limbah buah-sayur dengan penambahan biochar. Biochar diintegrasikan sebagai matriks berpori yang berperan sebagai agen penyangga pH (*pH buffering agent*) dan media adsorpsi hara dalam fase cair (Yang *et al.*, 2025). Pendekatan ini diharapkan mampu mengoreksi karakteristik kimiawi POC agar konsisten dengan standar regulasi pupuk organik yang berlaku. Tujuan penelitian ini adalah mengarakterisasi kualitas kimiawi POC melalui analisis derajat keasaman (pH) serta kandungan hara makro (N, P, K). Hasil penelitian ini diharapkan memberikan sumbangsih ilmiah mengenai efektivitas formulasi berbasis biochar dalam menghasilkan pupuk organik cair yang memenuhi standar mutu teknis sesuai Keputusan Menteri Pertanian Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019, serta menawarkan solusi pengelolaan limbah terintegrasi bagi keberlanjutan pertanian di Kabupaten Tolitoli.

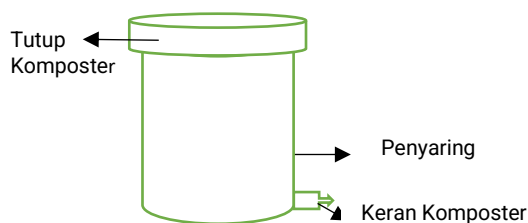
METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Instalasi Pembuatan Pupuk, Kampus 2 Sekolah Tinggi Ilmu Pertanian (STIP) Mujahidin Tolitoli, Jl. Samratulangi No.51, Kelurahan Tuweley, Kabupaten Tolitoli, pada bulan Mei hingga Oktober 2024.

Alat yang digunakan meliputi ember ukuran 10 liter (sebagai reaktor komposter), penyaring, keran air, solder, lem tembak, timbangan, alat tulis, kamera, dan pisau. Bahan utama yang digunakan adalah limbah sayur (sawi putih dan kol), limbah buah (pisang dan semangka merah), bioaktivator EM4, air, gula merah, dan sekam padi untuk pembuatan biochar.

Penelitian ini menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan empat taraf perlakuan, yaitu: P1: 100% limbah sayur. P2: 100% limbah buah P3: 50% limbah buah + 50% limbah sayur P4: 45% limbah buah + 45% limbah sayur + 10% biochar. Setiap unit perlakuan menggunakan 1 kg bahan baku dan diulang sebanyak tiga kali, sehingga total terdapat 12 unit percobaan.

Reaktor komposter dirancang menggunakan ember plastik berkapasitas 10 liter yang dilengkapi dengan sistem filtrasi internal dan keran pengeluaran lindi. Reaktor dipastikan kedap udara untuk menjaga kondisi anaerobik (Gambar 1).



Gambar 1. Komposter POC

Proses Pembuatan POC

Larutan aktivator dibuat dengan mencampurkan 1000 ml EM4 dan 500 g gula merah ke dalam 10 liter air. Larutan diaduk hingga homogen dengan arah putaran berlawanan jarum jam dan diinkubasi selama 24 jam pada suhu ruang sebelum dibagi ke dalam empat wadah sesuai dengan perlakuan. Limbah sayur dan buah dicacah dan ditimbang sesuai bobot perlakuan, kemudian dimasukkan ke dalam wadah kain kasa. Penggunaan kain kasa bertujuan sebagai media penahan limbah agar tetap menyatu selama proses pencelupan, memudahkan kontrol durasi kontak antara substrat dengan larutan aktivator, serta berfungsi sebagai filter praktis yang memisahkan padatan limbah dari cairan POC saat proses pemanenan akhir. Untuk menginisiasi proses fermentasi, setiap unit limbah dicelupkan ke dalam larutan aktivator selama 10 detik, lalu dimasukkan ke dalam reaktor komposter. Proses inkubasi dilakukan secara anaerob selama 14 hari pada suhu ruang (28–32°C).

Setelah 14 hari fermentasi, cairan POC disaring dan dianalisis kandungan hara makronya di Laboratorium Tanah Universitas Hasanuddin (Unhas) Makassar. Untuk mengukur kandungan N-total (metode Kjeldahl), P-total (ekstrak HNO_3), K-total (metode HClO_4), dan pH (menggunakan pH meter digital). Data hasil analisis diuji menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA), dan dilanjutkan dengan uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf kepercayaan 95%.

Untuk memvalidasi kualitas produk, hasil analisis laboratorium dibandingkan dengan spesifikasi teknis pupuk organik cair berdasarkan standar teknis Keputusan Menteri Pertanian Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019, guna memastikan kandungan hara dan pH produk memenuhi standar baku pupuk organik yang layak diaplikasikan pada tanaman.

Tabel 3.1. Standar Teknis Minimal Pupuk Organik Cair (Kepmentan 261/2019)

Parameter	Satuan	Persyaratan Mutu
-----------	--------	------------------

C-Organik	% (w/v)	Minimal 10
Nitrogen (N)	% (w/v)	2 – 6
Fosfor (P_2O_5)	% (w/v)	2 – 6
Kalium (K_2O)	% (w/v)	2 – 6
pH	-	4 – 9

Sumber: Lampiran Keputusan Menteri Pertanian Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 tentang Persyaratan Teknis Minimal Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenah Tanah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi bahan baku limbah memengaruhi kualitas POC secara signifikan, khususnya terhadap parameter pH, kadar Nitrogen (N), dan Fosfor (P), namun tidak berpengaruh signifikan terhadap kadar Kalium (K). Rerata karakteristik kualitas POC disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rerata Karakteristik Kualitas Pupuk Organik Cair (POC) dari limbah pasar.

Perlakuan	pH	Nitrogen (%)	Fosfor (%)	Kalium (%)
100% Limbah sayur (P1)	3,06 a	1,26 b	0,08 a	0,21 a
100% Limbah Buah (P2)	5,58 b	0,88 a	0,14 b	0,25 a
50% Limbah Buah + 50% Limbah Sayur (P3)	5,70 bc	1,64 c	0,20 c	0,30 a
45% Limbah Buah +45% Sayur +10% Biochar (P4)	6,17c	1,56 bc	0,23 c	0,24 a

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan selang kepercayaan 5%



Gambar 2. Perlakuan Pembuatan POC limbah Pasar.

pH POC Limbah Pasar

Nilai pH POC dari limbah pasar menunjukkan variasi nyata antar perlakuan, di mana penambahan bahan baku tertentu menentukan derajat keasaman produk akhir. Berdasarkan Tabel 1, perlakuan P1 (limbah sayur) menghasilkan pH terendah (3,06). Rendahnya pH pada P1 disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme yang intensif dalam merombak karbohidrat mudah urai menjadi asam-asam organik seperti asam laktat (Edam, 2018), asam asetat (Yunilas *et al.*, 2022), serta asam organik lainnya yang terakumulasi di dalam larutan (Sandi *et al.*, 2023; Sulfianti *et al.*, 2021).

Perbandingan antar perlakuan menunjukkan bahwa limbah buah (P2) menghasilkan pH yang lebih tinggi (5,58) dibandingkan P1. Meskipun limbah buah kaya akan gula sederhana (Aryani *et al.*, 2018; Sugianto & Wismaya, 2024), kandungan mineral seperti kalium dan magnesium dalam limbah buah (khususnya semangka dan pisang) terbukti bertindak sebagai agen penyangga (*buffer*) yang menahan penurunan pH agar tidak sedrastis limbah sayur. Kombinasi limbah sayur dan buah pada P3 memberikan stabilitas pH yang lebih baik (5,70) dibandingkan perlakuan tunggal, karena terciptanya keseimbangan nisbah karbon dan nitrogen yang mendukung dekomposisi lebih teratur.

Perlakuan P4 (penambahan biochar 10%) menghasilkan nilai pH tertinggi (6,17). Dibandingkan dengan perlakuan lainnya, P4 menunjukkan peran biochar yang sangat signifikan sebagai agen penetralisir keasaman. Sifat basa alami biochar yang berasal dari kandungan mineral karbonat dan

oksida hasil pirolisis mampu menetralkan akumulasi asam organik selama fermentasi, sekaligus struktur berporinya yang mampu menampung ion hidrogen (H^+) berperan penting dalam menstabilkan pH larutan (Yang *et al.*, 2025). Berdasarkan Keputusan Menteri Pertanian Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019, standar pH untuk Pupuk Organik Cair (POC) adalah 4–9. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan P1 (pH 3,06) berada di bawah ambang batas standar (terlalu asam), sedangkan perlakuan P2, P3, dan P4 telah memenuhi standar kualitas teknis yang ditetapkan pemerintah.

Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang umumnya melaporkan penurunan pH drastis akibat fermentasi bahan organik (Sandi *et al.*, 2023; Sulfiati *et al.*, 2021), penelitian ini memberikan kontribusi nyata dalam strategi stabilisasi pH melalui *co-composting* limbah pasar dengan biochar 10%. Penggunaan biochar pada P4 terbukti tidak hanya menaikkan nilai pH ke arah netral, tetapi juga menempatkan produk POC pada posisi yang aman secara regulasi (Kepmentan 261/2019) dan potensial mengurangi risiko fitotoksisitas pada tanaman dibandingkan POC tanpa bahan pembenah.

Kadar Nitrogen POC

Kadar Nitrogen (N) merupakan indikator kualitas utama POC untuk mendukung pertumbuhan vegetatif. Hasil analisis menunjukkan perbedaan kadar N yang nyata antar perlakuan. Perlakuan P1 (limbah sayur) menghasilkan kadar N sebesar 1,26%, lebih tinggi dibandingkan P2 (limbah buah) sebesar 0,88%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan limbah sayur secara mandiri memberikan kontribusi nitrogen yang lebih baik bagi POC dibandingkan limbah buah. Perbedaan ini didukung oleh temuan Slopiecka *et al.* (2022) yang menyatakan karakteristik bahan baku sayuran memiliki rasio C/N yang lebih sempit dibandingkan limbah buah yang kaya akan karbohidrat (gula).

Pencampuran bahan baku (P3) menghasilkan kadar N tertinggi sebesar 1,64%, yang secara signifikan melampaui perlakuan tunggal (P1 dan P2). Hal ini membuktikan bahwa sinergi antara limbah sayur (sumber N) dan limbah buah (sumber nutrisi) menciptakan keseimbangan komposisi bahan organik yang lebih optimal bagi aktivitas mikroorganisme dalam merombak bahan organik menjadi hara terlarut. Penambahan biochar pada P4 menghasilkan kadar N sebesar 1,56%. Meskipun secara statistik lebih rendah dibandingkan P3, nilai ini masih tergolong tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa biochar tidak menghambat mineralisasi nitrogen; sebaliknya, struktur pori biochar berfungsi sebagai habitat mikroorganisme (Yang *et al.*, 2025) yang menstabilkan proses fermentasi serta meretensi nitrogen agar tidak hilang ke lingkungan.

Jika ditinjau berdasarkan standar teknis Keputusan Menteri Pertanian Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 yang menetapkan ambang batas Nitrogen (N) sebesar 2–6%, maka seluruh perlakuan dalam riset ini (P1–P4) masih berada di bawah angka minimal tersebut. Fenomena ini memberikan isyarat bahwa meski integrasi biochar dan sinergi limbah pasar mampu memaksimalkan ketersediaan hara, konsentrasi Nitrogen yang dihasilkan belum mencapai tingkat pemenuhan syarat komersial. Oleh karena itu, diperlukan langkah optimasi lanjutan, baik melalui perpanjangan durasi fermentasi maupun suplementasi sumber Nitrogen organik eksternal agar produk akhir memiliki nilai jual yang lebih kompetitif.

Hasil penelitian ini menunjukkan perolehan kadar N yang lebih unggul dibandingkan penelitian terdahulu. Kadar N pada perlakuan P3 (1,64%) jauh lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian Ningsih *et al.* 2024 yang hanya mencapai 0,10%. Meskipun penelitian Wirawan *et al.* (2021) melaporkan bahwa POC dari limbah Pasar Kintamani telah memenuhi standar SNI, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam menunjukkan bahwa formulasi campuran limbah buah dan sayur (1,64%) serta efektivitas biochar (1,56%) secara konsisten menghasilkan kadar N yang lebih baik dibandingkan temuan Widyabudiningsih *et al.* (2021) sebesar 1,17%. Dengan demikian, penelitian ini mempertegas bahwa pemanfaatan limbah pasar secara terpadu melalui pendekatan *co-composting* adalah strategi efektif untuk meningkatkan kualitas hara POC lokal guna menekan ketergantungan pada pupuk anorganik.

Fosfor

Hasil analisis menunjukkan bahwa variasi bahan baku limbah pasar memengaruhi kandungan Fosfor (P) secara signifikan. Perlakuan P1 (limbah sayur) menghasilkan kadar P terendah (0,08%), sedangkan perlakuan P2 (limbah buah) memberikan kontribusi lebih tinggi (0,14%). Perbandingan antar perlakuan menunjukkan bahwa limbah buah memiliki kandungan P yang lebih tinggi dibandingkan limbah sayur. Hal ini sejalan dengan karakteristik bahan baku di mana bagian buah, terutama biji, umumnya mengandung konsentrasi fosfor yang lebih tinggi dibandingkan bagian vegetatif sayuran.

Pencampuran limbah buah dan sayur (P3) meningkatkan kadar P secara nyata menjadi 0,20%. Penambahan biochar pada P4 menghasilkan kadar P tertinggi (0,23%), meskipun secara statistik setara dengan P3. Peningkatan kadar P pada P3 dan P4 dibandingkan dengan perlakuan tunggal (P1 dan P2) membuktikan bahwa sinergi bahan baku limbah buah dan sayur menciptakan kondisi fermentasi yang lebih optimal (Silfia & Surtikanti, 2024). Kombinasi tersebut menyediakan sumber karbohidrat dan hara makro yang menunjang aktivitas mikroba dalam memfasilitasi mineralisasi fosfor organik (Shrestha *et al.*, 2021) menjadi bentuk anorganik yang lebih tersedia dalam larutan POC.

Berdasarkan Keputusan Menteri Pertanian Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019, standar minimal kadar Fosfor (P_2O_5) untuk Pupuk Organik Cair adalah 2–6%. Data eksperimen yang diperoleh berada pada kisaran 0,08%–0,23%, yang berarti belum mampu mencapai ambang batas regulasi pemerintah. Walaupun penggunaan biochar pada perlakuan P4 terbukti secara signifikan meningkatkan ketersediaan fosfor dibandingkan perlakuan lainnya, tetap diperlukan upaya pengayaan hara (fortifikasi) agar konsentrasi fosfor yang dihasilkan mampu memenuhi spesifikasi teknis pupuk organik yang beredar di pasar.

Penelitian ini menunjukkan capaian kadar fosfor yang lebih kompetitif dibandingkan beberapa studi terdahulu. Perolehan kadar P pada perlakuan P4 (0,23%) lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian Afiah *et al.* (2021) sebesar 0,08% dan Kusumadewi *et al.* (2019) sebesar 0,13%, namun masih di bawah capaian Rahardi *et al.* (2022) yang berkisar antara 2,02%–2,09%. Perbedaan ini dipengaruhi oleh perbedaan komposisi bahan dasar limbah pasar yang digunakan.

Kontribusi penting dari penelitian ini adalah bukti empiris bahwa strategi *co-composting* antara limbah buah-sayur dengan biochar 10% mampu meningkatkan retensi dan ketersediaan fosfor secara lebih efektif dibandingkan metode fermentasi tunggal. Penggunaan biochar pada P4 berperan penting sebagai agen retensi hara dan media tumbuh mikroba yang mempercepat proses mineralisasi fosfor, sehingga memberikan nilai tambah pada kualitas POC berbahan limbah pasar.

Kalium

Hasil analisis menunjukkan bahwa variasi limbah pasar tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kadar Kalium (K) dalam POC, dengan kisaran nilai antara 0,21% hingga 0,30%. Perlakuan P3 (campuran limbah buah dan sayur) menghasilkan kadar K tertinggi (0,30%), namun secara statistik nilainya setara dengan perlakuan lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa laju pelepasan Kalium ke dalam fase cair relatif seragam di seluruh perlakuan. Karakteristik kimiawi Kalium sebagai hara yang tidak terikat dalam senyawa organik kompleks, melainkan berada dalam bentuk ionik (K^+) di dalam vakuola sel, menyebabkannya sangat mobil (mudah berpindah atau lepas) ke dalam larutan melalui proses mineralisasi pada tahap awal dekomposisi.

Limbah sayuran (P1) memberikan kontribusi Kalium melalui jaringan vegetatifnya yang berperan penting dalam regulasi turgor dan transportasi tanaman (Marschner, 2012). Di sisi lain, limbah buah (P2) secara teoritis memiliki kandungan mineral yang tinggi, namun efisiensi ekstraksinya ke dalam POC dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan fermentasi (Suchitra & Parthasarathy, 2021). Pada perlakuan P4, penambahan biochar 10% menghasilkan kadar K sebesar 0,24%. Dalam konteks ini,

biochar lebih berperan sebagai media adsorpsi atau penyangga daripada sumber pelepasan Kalium instan ke dalam fase cair (López-Cano et al., 2016).

Evaluasi terhadap standar minimal Kalium (K_2O) menurut Keputusan Menteri Pertanian Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 yang menetapkan angka 2–6% menunjukkan bahwa nilai yang dicapai dalam riset ini (0,21%–0,30%) belum memenuhi kualifikasi tersebut. Kesenjangan ini mengindikasikan adanya batasan inheren pada bahan baku limbah pasar murni dalam menyediakan suplai Kalium yang pekat. Dengan demikian, formulasi yang diuji saat ini belum mencukupi standar kualitas teknis yang ditetapkan pemerintah, sehingga diperlukan langkah fortifikasi atau penambahan bahan mineral tertentu sebagai upaya pemenuhan standar kualitas pupuk organik komersial

Temuan ini berbeda dengan studi Semaun et al. (2024) yang melaporkan perbedaan kadar Kalium signifikan antar perlakuan, namun sejalan dengan Ningsih et al. (2024) yang menyatakan bahwa variasi limbah domestik cenderung menghasilkan output hara yang homogen jika tidak disertai dengan fortifikasi, yakni penambahan unsur hara dari sumber luar seperti abu sekam atau mineral anorganik. Penelitian ini memberikan posisi yang jelas dalam diskursus kualitas POC, kadar Kalium maksimal dalam penelitian ini (0,30%) lebih tinggi dari hasil Mangera & Ekowati, (2022) sebesar 0,28%, namun masih di bawah capaian Rahardi et al. (2022) yang berkisar antara 2,03%–2,08%. Perbedaan angka ini menegaskan bahwa untuk mencapai standar teknis Kepmentan 261/2019, POC berbasis limbah pasar memerlukan tindakan fortifikasi agar konsentrasi Kalium dalam produk akhir memenuhi syarat minimal yang ditetapkan.

KESIMPULAN

Formulasi bahan baku berpengaruh signifikan terhadap kadar Nitrogen (N), Fosfor (P), dan nilai pH, namun tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kadar Kalium (K). Perlakuan P3 (campuran limbah sayur 50% dan limbah buah 50%) merupakan formulasi paling efektif dalam meningkatkan unsur hara makro primer, dengan capaian kadar Nitrogen (1,64%) dan Fosfor (0,20%) tertinggi. Penambahan biochar 10% pada perlakuan P4 terbukti paling efektif dalam menstabilkan pH hingga mencapai 6,17 (mendekati netral) serta mempertahankan kadar Fosfor yang tinggi (0,23%).

Kontribusi utama penelitian ini adalah model optimasi kualitas POC melalui pendekatan *co-composting* limbah pasar dengan biochar sebagai agen penstabil pH. Secara praktis, metode ini memberikan solusi strategis bagi pengelola limbah pasar untuk mengubah limbah yang cenderung bersifat asam menjadi produk bernilai tambah. Bagi pelaku sektor pertanian, hasil ini menjadi acuan bahwa pemanfaatan limbah lokal dapat dioptimalkan sebagai pupuk organik yang aman bagi tanaman. Namun, agar memenuhi standar regulasi teknis Keputusan Menteri Pertanian Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019, kami merekomendasikan adanya tahapan fortifikasi mineral eksternal untuk mendongkrak konsentrasi hara makro ke level komersial.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada LPPM STIP Mujahidin Tolitoli yang telah memberikan dukungan fasilitas pada penelitian ini. Terima kasih juga kepada mahasiswa yang telah membantu hingga penelitian ini selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, I. P. C. W., Wirawan, I. P. S., & Madrini, I. A. G. B. (2022). Pengaruh konsentrasi aktivator EM4 dan lama fermentasi terhadap karakteristik pupuk organik cair dari limbah sayur. *Jurnal BETA (Biosistem Dan Teknik Pertanian)*, 11(2), 220–229. <https://doi.org/10.24843/JBETA.2023.v11.i02.p13>
- Afiyah, D. N., Uthari, E., Widyabudiningsih, D., & Jayanti, R. D. (2021). Pembuatan dan pengujian pupuk organik cair (POC) dari limbah pasar dengan menggunakan bioaktivator EM4. *Fullerene Journal of Chemistry*, 6(2), 89–95. <https://doi.org/10.37033/fjc.v6i2.253>

- Amah, V. T., Sudaryantiningsih, C., & Lolo, E. U. (2023). Analisis dampak limbah cair industri tahu di Kampung Krajan, Mojosongo Surakarta terhadap kualitas fisik dan biologis air sungai Krajan. *Jurnal Teknik Sipil Dan Arsitektur*, 28(1), 60–68.
- Andrio, D., Syafila, M., Handajani, M., & Natalia, D. (2015). Pengaruh pengendalian pH terhadap pembentukan etanol dan pergeseran produk asidogenesis dari fermentasi limbah cair industri minyak sawit. *J.Manusia Dan Lingkungan*, 22(1), 1–11.
- Anugrah, I. R., Alfari, M. Z., Sapoe, T. C., & Sahrupi. (2025). Model pengelolaan sampah rumah tangga di Desa Pejaten Kecamatan Kramatwatu. *Metode: Jurnal Teknik Industri*, 11(1), 113–122.
- Aryani, T., Mu'awanah, I. A. U., & Widyantara, A. B. (2018). Karakteristik fisik, kandungan gizi tepung kulit pisang dan perbandingannya terhadap syarat mutu tepung terigu. *Jurnal Riset Sains Dan Teknologi*, 2(2), 45–51.
- BRIN. (2024, July 25). *11,3 juta ton sampah di Indonesia tidak terkelola dengan baik*. Brin.Go.Id. <https://brin.go.id/drid/posts/kabar/113-juta-ton-sampah-di-indonesia-tidak-terkelola-dengan-baik>.
- Chen, C., Chaudhary, A., & Mathys, A. (2020). Nutritional and environmental losses embedded in global food waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 160, 104912. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104912>
- DLH Kabupaten Tolitoli. (2020). *Laporan tahunan Dinas Lingkungan Hidup*. Pemerintah Kabupaten Tolitoli.
- Edam, M. (2018). Pengaruh kombinasi konsentrasi NaCl dan lama fermentasi terhadap produksi asam laktat dari kubis (*Brassica oleracea*). *Jurnal Penelitian Teknologi Industri*, 10(1), 17–24.
- Egamiati, Rachmanto, T., & Mara, I. M. (2022). Pengaruh pH dan putaran pengadukan pada fermentasi molase terhadap hasil akhir produksi bioetanol. *Energy, Material and Product Design*, 1(2), 64–71.
- Environmental Protection Agency. (2021). *Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2019*. United States Environmental Protection Agency.
- Farida, A., Madarin, N., Afifah, L., Hapsari, M. K., & Fikri, M. H. (2021). Pencemaran lingkungan akibat membuang sampah sembarangan dan upaya pengelolaan sampah di Kebon Rojo Kota Blitar. *Jurnal Terapan Pendidikan Dasar Dan Menengah*, 1(1), 357–360.
- Firrizqi, Y. A., Dermiyati, Arif, S., & Niswati, A. (2024). Pengaruh pemberian pupuk organik cair dan kompos terhadap respirasi dan biomassa carbon mikroorganisme tanah. *Jurnal Agrotek Tropika*, 12(3), 700–708.
- Hartono, T., Susanti, Y., & Pradipta, M. (2023). Implementasi kebijakan pengelolaan sampah di Indonesia: Studi kasus di perkotaan. *Jurnal Administrasi Publik Indonesia*, 15(1), 34–49.
- Hendrasarie, N., & Mahendra, D. E. (2020). Pemanfaatan sampah sayur dari pasar tradisional untuk produksi bioetanol. *Jurnal Serambi Engineering*, 5(3), 1251–1258.
- Kusumadewi, M. A., Suyanto, A., & Suwerda, B. (2019). Kandungan Nitrogen, Phosphor, Kalium, dan pH pupuk organik cair dari sampah buah pasar berdasarkan variasi waktu. *Sanitasi: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 11(2), 92–99.
- López-Cano, I., Roig, A., Cayuela, M. L., Alburquerque, J. A., & Sánchez-Monedero, M. A. (2016). Biochar improves N cycling during composting of olive mill wastes and sheep manure. *Waste Management*, 49, 553–559.
- Mangera, Y., & Ekowati, N. Y. (2022). Analysis of the nutrient content of liquid organic fertilizer (POC) household organic waste in Rimba Jaya Village, Merauke Regency using the stacked bucket Method. *Juatika: Jurnal Agronomi Tanaman Tropika*, 4(1), 206–214.
- Ningsih, T., Pransiska, I., Prayitno, H., & Giyanto. (2024). Pembuatan pupuk organik cair dari limbah buah dan sayur dengan penambahan limbah tandan kosong kelapa sawit. *Tabela Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 2(2), 76–83.
- Rahardi, I. P. Y. K., Madrini, I. A. G. B., & Wijaya, I. M. A. S. (2022). Pembuatan Pupuk Organik Cair (POC) Berbahan Sampah Buah-Buahan dan Sayuran pada Rasio Bahan dan Headspace yang Berbeda. *Jurnal BETA (Biosistem Dan Teknik Pertanian)*, 11(2), 370–380. <https://doi.org/10.24843/JBETA.2023.v11.i02.p15>

- Salawati, Ende, S., Marhayani, B., & Sunarti. (2024). Pengolahan sampah dapur menjadi pupuk organik berbasis gender di Kelurahan Tuweley Kecamatan Baolan Kabupaten Tolitoli. *GERVASI: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 8(2), 583–595.
- Salawati, Syadik, F., Tony, Masriani, Fatima, S., Nurmala, Sasmita, Y., Hikmah, N., Henrik, & Ende, S. (2021). Pemanfaatan sampah organik rumah tangga metode ember tumpuk menjadi pupuk organik cair dan padat. *Abditani: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 4(3), 149–153.
- Sandi, S., Pratama, A. N. T., Sahara, E., Yosi, F., Sari, M. L., & Susanda, A. (2023). Pengaruh lama fermentasi terhadap pH, total asam, dan amonia ampas jus limbah sayur sebagai pakan. *Ilmu Peternakan Terapan*, 6(2), 51–57.
- Semaun, R., Munir, & Rauf, J. (2024). Kualitas Pupuk Organik Cair dengan Penambahan Bioaktivator Limbah Buah Mengkudu pada Waktu Fermentasi yang Berbeda. *Journal Galung Tropika*, 13(3), 452–460. <https://doi.org/10.31850/jgt.v13i3.1123>
- Shrestha, S., Khatiwada, J. R., Sharma, H. K., & Qin, W. (2021). Bioconversion of fruits and vegetables wastes into value-added products. In A. Khan (Ed.), *Sustainable bioconversion of waste to value added products* (pp. 145–165). Springer Nature.
- Silfia, R., & Surtikanti, H. K. (2024). Analisis pengelolaan sampah pasar tradisional di Pasar Gegerkalong, Kota Bandung, Indonesia. *Journal of Waste and Sustainable Consumption*, 1(1), 46–53.
- Slopiecka, K., Liberti, F., Massoli, S., Bartocci, P., & Fantozzi, F. (2022). Chemical and physical characterization of food waste to improve its use in anaerobic digestion plants. *Energy Nexus*, 5, 100049. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100049>
- Stewart, M., & Gonzalez, H. (2022). Waste management and urban ecosystem services. *Journal of Urban Planning and Environment*, 20(2), 225–240.
- Suchitra, M. R., & Parthasarathy, S. (2021). Estimation of potassium content of different varieties of banana fruit in an Indian delta: Is there a clinical relevance? *Journal of Medical Pharmaceutical and Allied Sciences*, 10(6), 3853–3855. <https://doi.org/10.22270/jmpas.2021.V10I6.1620>
- Sugianto, W., & Wismaya, H. S. (2024). Identifikasi tingkat kematangan buah pisang berdasarkan karakteristik impedansi listrik. *Berkala Fisika Indonesia*, 15(1), 24–32.
- Sulfianti, Risman, & Saputri, I. (2021). Analisis NPK pupuk organik cair dari berbagai jenis air cucian beras dengan metode fermentasi yang berbeda. *Jurnal Agrotech*, 11(1), 35–42.
- Widyabudiningsih, D., Troskialina, L., Fauziah, S., Shalihattunnisa, S., Riniati, R., Siti Djenar, N., Hulupi, M., Indrawati, L., Fauzan, A., & Abdilah, F. (2021). Pembuatan dan Pengujian Pupuk Organik Cair dari Limbah Kulit Buah-buahan dengan Penambahan Bioaktivator EM4 dan Variasi Waktu Fermentasi. *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, 4(1), 30–39. <https://doi.org/10.20885/ijca.vol4.iss1.art4>
- Wirawan, I. W. E., Setiyo, Y., & Madrini, I. A. G. B. (2021). Kajian Proses Fermentasi Limbah Sayur dan Buah Dari Pasar Tradisional Kintamani. *Jurnal BETA (Biosistem Dan Teknik Pertanian)*, 9(2), 268–279. <https://doi.org/10.24843/JBETA.2021.v09.i02.p14>
- Yang, W., Zhang, L., Wang, Z., Zhang, J., Li, P., & Su, L. (2025). Effects of biochar and nitrogen fertilizer on microbial communities, CO₂ emissions, and organic carbon content in soil. *Scientific Reports*, 15(9789), 1–11.
- Yunilas, Y., Siregar, A. Z., Mirwhandhono, E., Purba, A., Fati, N., & Malvin, T. (2022). Potensi dan Karakteristik Larutan Mikroorganisme Lokal (MOL) Berbasis Limbah Sayur sebagai Bioaktivator dalam Fermentasi. *Journal of Livestock and Animal Health*, 5(2), 53–59. <https://doi.org/10.32530/jlah.v5i2.540>