

DOI: <https://doi.org/10.38035/jgit.v4i2.656><https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Analisis Kualitas POC dari Limbah Vinasse pada Beberapa Periode Fermentasi dan Keberlanjutan Bahan Bakunya

Ratih Suciapriani¹, Luca Esa², Silvana Dwi Nurherdiana³, Susilowati⁴, Rahaju Saraswati⁵, Awaluddin Hidayat Ramli Inaku⁶, Purnomo⁷

¹Universitas Pembangunan Nasional "Veteran", Jawa Timur, Jawa Timur, Indonesia, Indonesia.ratih@student.upnjatim.ac.id

²Universitas Pembangunan Nasional "Veteran", Jawa Timur, Jawa Timur, Indonesia,

³Universitas Pembangunan Nasional "Veteran", Jawa Timur, Jawa Timur, Indonesia,

⁴Universitas Pembangunan Nasional "Veteran", Jawa Timur, Jawa Timur, Indonesia,

⁵Universitas Pembangunan Nasional "Veteran", Jawa Timur, Jawa Timur, Indonesia,

⁶Universitas Pembangunan Nasional "Veteran", Jawa Timur, Jawa Timur, Indonesia,

⁷Universitas Pembangunan Nasional "Veteran", Jawa Timur, Jawa Timur, Indonesia,

Corresponding Author: aprianiratih88@gmail.com¹

Abstract: Vinasse is a by-product of the bioethanol industry containing high concentrations of organic matter and may cause environmental pollution if improperly managed. This study aimed to evaluate the utilization of vinasse as a raw material for liquid organic fertilizer through anaerobic fermentation with the addition of cow manure, rice husk, and Effective Microorganisms 4 (EM4). An experimental method was employed using fermentation periods of 7, 14, and 21 days. The analyzed parameters included Chemical Oxygen Demand (COD), organic carbon, total nitrogen, P_2O_5 , K_2O , organic nitrogen, and micronutrients in accordance with the Regulation of the Minister of Agriculture of Indonesia No. 261/KPTS/SR.310/M/4/2019. The results showed that all treatments reduced COD during the fermentation process. The best performance was achieved after 21 days of fermentation using a combination of vinasse, cow manure, rice husk, and EM4, resulting in a COD value of 286.246 ppm. The liquid organic fertilizer produced from the LV+KS+EM4 and LV+KS+SP+EM4 formulations met the quality standards for liquid organic fertilizer. These findings demonstrate that vinasse has significant potential as a raw material for liquid organic fertilizer while supporting sustainable industrial waste management practices.

Keyword: Anaerobic Fermentation, COD, EM4, Liquid Organic Fertilizer, Vinasse.

Abstrak: Limbah vinasse merupakan hasil samping industri bioetanol yang memiliki kandungan bahan organik tinggi dan berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pemanfaatan limbah vinasse sebagai bahan baku pupuk organik cair (POC) melalui proses fermentasi anaerob dengan penambahan kotoran sapi, sekam padi, dan Effective Microorganisms 4 (EM4). Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan variasi waktu fermentasi selama 7, 14, dan 21 hari. Parameter yang dianalisis meliputi Chemical Oxygen Demand (COD), C-organik, N-total, P_2O_5 , K_2O , N-organik, serta unsur mikro sesuai Keputusan Menteri Pertanian Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh perlakuan

mengalami penurunan COD selama fermentasi. Perlakuan terbaik diperoleh pada fermentasi 21 hari dengan kombinasi vinasse, kotoran sapi, sekam padi, dan EM4 yang menghasilkan nilai COD sebesar 286,246 ppm. Produk POC yang dihasilkan dari formula LV+KS+EM4 dan LV+KS+SP+EM4 memenuhi persyaratan mutu pupuk organik cair berdasarkan standar yang berlaku. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah vinasse berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk organik cair yang bernilai guna sekaligus mendukung pengelolaan limbah industri yang lebih berkelanjutan.

Kata Kunci: Fermentasi Anaerob, EM4, COD, Pupuk Organik Cair, Vinasse.

PENDAHULUAN

Industri bioetanol berbahan baku tebu menghasilkan limbah cair vinasse dalam jumlah besar, yaitu sekitar 10–15 L untuk setiap 1 L bioetanol yang diproduksi. Vinasse mengandung bahan organik, nitrogen, dan kalium yang berpotensi dimanfaatkan sebagai pupuk organik cair (POC). Namun, kandungan bahan organik yang tinggi yang ditunjukkan oleh nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) serta kondisi pH yang relatif rendah menyebabkan vinasse berpotensi mencemari lingkungan apabila dibuang tanpa pengolahan yang memadai (Arrodli, 2019; Science, 2023).

Pembuangan vinasse secara langsung ke lingkungan dapat menurunkan kualitas perairan dan tanah akibat tingginya beban bahan organik yang terkandung di dalamnya. Kondisi ini dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut di perairan, gangguan terhadap aktivitas mikroorganisme alami, serta menurunkan daya dukung lingkungan. Oleh karena itu, perlu dilakukan inkubasi atau fermentasi vinasse agar terjadi degradasi bahan organik sehingga dapat dimanfaatkan oleh tanaman (Behandlung et al., 2018). Seiring meningkatnya produksi bioetanol dan berkembangnya konsep industri berkelanjutan, diperlukan upaya pengelolaan limbah yang tidak hanya berorientasi pada pengurangan pencemaran, tetapi juga mampu menghasilkan nilai tambah melalui pemanfaatan kembali limbah sebagai sumber daya yang bermanfaat.

Pemanfaatan vinasse sebagai POC merupakan salah satu alternatif pengelolaan limbah yang mendukung pertanian berkelanjutan sekaligus mengurangi beban pencemaran lingkungan. Akan tetapi, kandungan unsur hara pada vinasse belum sepenuhnya mampu memenuhi kebutuhan tanaman sehingga diperlukan penambahan bahan organik lain, seperti kotoran sapi yang kaya unsur nitrogen, fosfor, dan kalium serta sekam padi yang mengandung bahan organik dan mineral yang bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman (Banowati, 2017; Duengo et al., 2025). Selain itu, proses fermentasi dengan bantuan *Effective Microorganisms 4* (EM4) diketahui mampu mempercepat dekomposisi bahan organik dan meningkatkan ketersediaan unsur hara dalam pupuk organik cair (Wahyu et al., 2019; Widyabudiningsih et al., 2021).

Berbagai penelitian telah melaporkan pemanfaatan limbah organik sebagai bahan baku pupuk organik cair, termasuk limbah buah, limbah pertanian, dan vinasse. Namun, kajian mengenai pemanfaatan vinasse yang dikombinasikan dengan kotoran sapi dan sekam padi melalui fermentasi anaerob masih relatif terbatas. Selain itu, pengaruh lama fermentasi terhadap penurunan COD serta kualitas pupuk organik cair yang dihasilkan belum banyak dievaluasi berdasarkan standar mutu pupuk organik cair yang berlaku di Indonesia.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya memanfaatkan vinasse atau limbah organik tunggal sebagai bahan baku pupuk organik cair, penelitian ini menggabungkan vinasse, kotoran sapi, dan sekam padi melalui proses fermentasi anaerob menggunakan EM4 serta mengevaluasi kualitas produk berdasarkan Keputusan Menteri Pertanian Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan

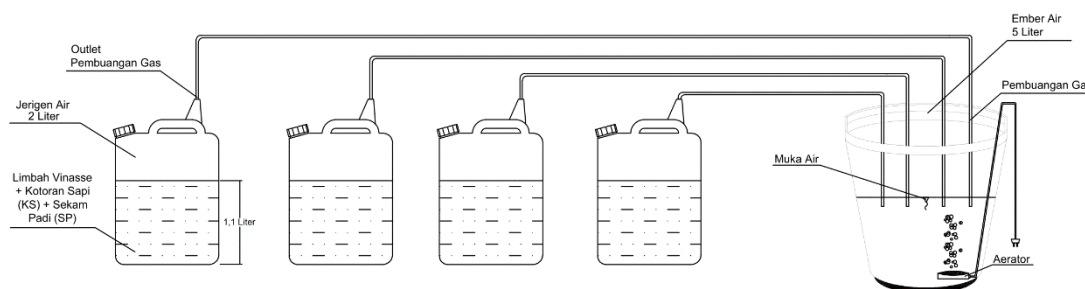
mengevaluasi pemanfaatan vinasse sebagai bahan baku pupuk organik cair melalui penambahan kotoran sapi dan sekam padi serta menganalisis kualitas pupuk yang dihasilkan berdasarkan parameter COD, C-organik, N-total, P_2O_5 , K_2O , N-organik, dan unsur mikro.

Penelitian ini bertujuan untuk Mendapatkan nilai standar mutu parameter sesuai dengan Keputusan Menteri Pertanian Nomor. 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 Lampiran II halaman. 5 dari proses fermentasi pupuk organik cair (POC) dari limbah *vinasse*, kotoran sapi dan sekam padi, Mengolah atau memanfaatkan limbah *vinasse* sebagai pupuk organik cair (POC), Menentukan formula dan lamanya proses fermentasi yang sesuai dalam pembuatan pupuk organik cair (POC) dari limbah *vinasse*, Mengetahui ketersediaan limbah *vinasse*, kotoran sapi dan sekam padi wilayah Jawa Timur. Penelitian ini dibatasi Air Limbah *Vinasse* dari Industri Gula yang berlokasi di Pasuruan, Malang, Jawa Timur, kandungan COD di awal kandungan limbah *vinasse* dan seluruh proses fermentasi sesuai dengan varian yang ditetapkan, Parameter yang akan diuji adalah lamanya proses fermentasi, Proses waktu fermentasi yang diuji adalah 7 hari, 14 hari, dan 21 hari, Rasio perbandingan campuran proses fermentasi : Limbah *vinasse* (100%) dan kotoran sapi (%) dan sekam padi (%) adalah : 50% : 50%, dan Penelitian dilakukan di Laboratorium Riset Megister Ilmu Lingkungan, UPN "Veteran" JATIM 10.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bertujuan mengkaji pemanfaatan limbah *vinasse* sebagai bahan baku pupuk organik cair (POC) melalui proses fermentasi dengan penambahan kotoran sapi, sekam padi, dan bioaktivator Effective Microorganisms 4 (EM4). Penelitian dilaksanakan pada April sampai dengan Mei 2026 di Laboratorium Riset Magister Ilmu Lingkungan UPN "Veteran" Jawa Timur, sedangkan pengujian sampel dilakukan di Laboratorium UPT PSMB-LT Surabaya.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Jerigen 2 liter, Timbangan, Cetok pengaduk, Ember (untuk membuang gas), Valve, Selang aliran untuk membuang gas, Corong, dan Alat pengukur pH. Bahan yang digunakan meliputi limbah *vinasse* yang berasal dari industri gula di Pasuruan, Jawa Timur, kotoran sapi, sekam padi, dan EM4. Peralatan yang digunakan antara lain reaktor fermentasi berbahan jerigen berkapasitas 2 L yang dilengkapi selang dan katup pembuangan gas, timbangan, alat pengaduk, corong, dan pH meter.



Gambar 1. Gambar Alat Reaktor

Penelitian menggunakan empat variasi perlakuan, yaitu *vinasse* dan EM4 (LV+EM4), *vinasse*, sekam padi, dan EM4 (LV+SP+EM4), *vinasse*, kotoran sapi, dan EM4 (LV+KS+EM4), serta *vinasse*, kotoran sapi, sekam padi, dan EM4 (LV+KS+SP+EM4). Seluruh perlakuan difermentasi secara anaerob dalam reaktor tertutup dengan variasi waktu fermentasi selama 7, 14, dan 21 hari.

Tahap penelitian diawali dengan karakterisasi limbah *vinasse* melalui pengujian *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan parameter mutu pupuk organik cair. Selanjutnya, bahan-bahan dicampurkan sesuai variasi perlakuan dan ditambahkan EM4 sebagai bioaktivator fermentasi. Selama proses fermentasi dilakukan pengamatan terhadap perubahan

kondisi fisik berupa pH, suhu, warna, dan bau sebagai indikator berlangsungnya aktivitas mikroorganisme.

Setelah proses fermentasi selesai, seluruh sampel dianalisis untuk mengetahui perubahan nilai COD. Perlakuan yang menghasilkan kinerja terbaik kemudian diuji berdasarkan parameter mutu pupuk organik cair sesuai Keputusan Menteri Pertanian Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019 yang meliputi C-organik, N-total, P_2O_5 , K_2O , N-organik, serta unsur mikro Fe, Mn, Cu, dan Zn. Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan perubahan nilai COD selama fermentasi dan kesesuaian karakteristik pupuk organik cair yang dihasilkan terhadap standar mutu yang berlaku.

Tabel 1. Variasi Perlakuan Fermentasi

Kode Perlakuan	Komposisi
LV+EM4	Vinasse + EM4
LV+SP+EM4	Vinasse + Sekam Padi + EM4
LV+KS+EM4	Vinasse + Kotoran Sapi + EM4
LV+KS+SP+EM4	Vinasse + Kotoran Sapi + Sekam Padi + EM4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi awal limbah vinasse menunjukkan nilai COD sebesar 580,758 mg/L dengan pH 4,49. Kandungan C-organik mencapai 16,67% dan K_2O sebesar 4,67%, sedangkan kandungan N-total, P_2O_5 , N-organik, dan unsur mikro masih relatif rendah dibandingkan standar mutu pupuk organik cair. Tingginya nilai COD menunjukkan bahwa vinasse masih mengandung bahan organik dalam jumlah besar sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk organik cair (POC), namun memerlukan pengolahan lebih lanjut untuk menurunkan beban pencemar dan meningkatkan kualitas unsur hara.

Tabel 2. Kadar Rasion C/N Limbah Vinasse

Limbah Vinasse Brix 55			
Paratier Uji	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
Nitrogen (N) Total	%	0,94	Kjeldahl
Fosfor (P) Total	%	0,0093	Spektrofotometer
Kalium (K) Total	%	4,92	AAS
Derajat Keasaman (pH)	%	4,49	Pengukuran langsung dengan pH meter
COD	%	580,758	SNI 6989.73:2019

Sumber: Hasil Analisis, 2026

Tabel 2 menunjukkan bahwa seluruh perlakuan mengalami penurunan COD selama proses fermentasi, namun dengan tingkat efektivitas yang berbeda. Perlakuan limbah vinasse yang dikombinasikan dengan kotoran sapi dan EM4 menghasilkan penurunan COD tertinggi sebesar 76,7%, yaitu dari 580,758 mg/L menjadi 135,590 mg/L pada hari ke-21 fermentasi. Sementara itu, perlakuan vinasse dan EM4 hanya menurunkan COD sebesar 12,8%, vinasse, sekam padi, dan EM4 sebesar 4,0%, serta vinasse, kotoran sapi, sekam padi, dan EM4 sebesar 50,7%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan kotoran sapi berperan penting dalam meningkatkan aktivitas mikroorganisme selama fermentasi sehingga proses dekomposisi bahan organik berlangsung lebih optimal. Sebaliknya, keberadaan sekam padi cenderung memperlambat proses degradasi karena mengandung lignoselulosa yang relatif sulit terurai dalam waktu fermentasi yang singkat.

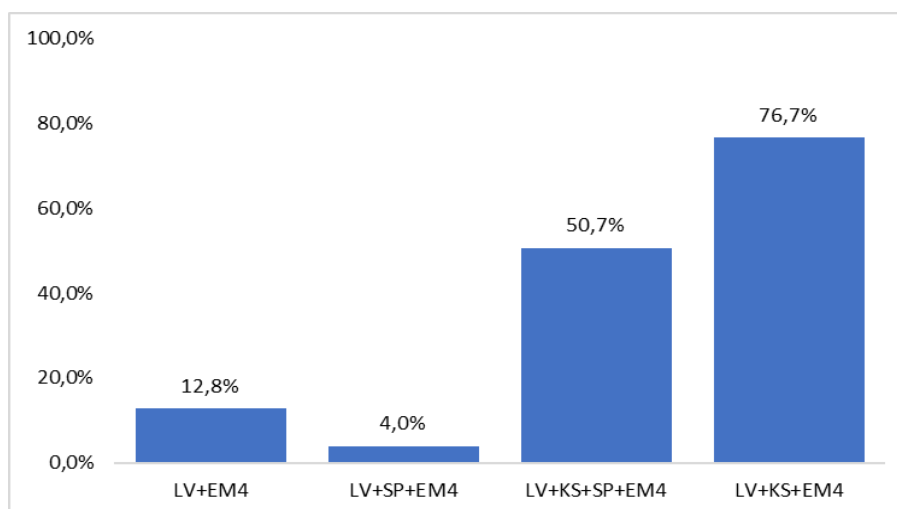
Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Wahyu et al. (2019) yang melaporkan bahwa penambahan bioaktivator EM4 mampu meningkatkan aktivitas mikroorganisme selama proses fermentasi sehingga mempercepat penguraian bahan organik. Penurunan nilai COD yang terjadi menunjukkan bahwa mikroorganisme memanfaatkan senyawa organik sebagai sumber energi dan mengubahnya menjadi senyawa yang lebih sederhana. Dengan demikian, fermentasi tidak hanya berperan dalam mengurangi beban pencemar, tetapi juga meningkatkan kualitas bahan baku pupuk organik cair.

Tabel 3 Rasio C/N Variasi LV + EM4

Parameter	Waktu Pemantauan			
	D0	7 Hari	14 Hari	21 Hari
COD	0	76,261	515,835	506,204
pH	4,2	4,1	4,7	4,7
TDS	0	911	839	865
Suhu Limbah	31,4	28	29,8	26,5
Suhu Lingkungan	35,5	27,6	31,1	30,5
Warna	Hitam Pekat	Hitam Pekat	Hitam Pekat	Hitam Pekat
Bau	Gula Cair	Gula Cair agak tape	Tape	Gula Cair agak tape

(Sumber: Hasil Analisis, 2026)

Tabel 3 menyebutkan bahwa nilai rasio C/N limbah vinasse di fermentasi dengan EM4 dengan waktu pantau 7 hari untuk nilai COD nya di angka 76,261 ppm dari nilai COD awal yaitu 580,758 mengalami penurunan lebih dari 60% dengan nilai TDS 911 yang banyak mengandung kandungan mineral didalamnya dengan menunjukkan nilai pH 4,1 dengan warna hitam pekat dan menimbulkan bau sedikit tape. Nilai pH pada tabel diatas berada pada rentang 4,1 – 4,7. Aktivitas mikroorganisme fermentatif masih dapat dilakukan walaupun nilai pH tersebut masih tergolong asam. Proses pembenukan Pupuk Organik Cair (POC) tetap dapat berlangsung dikarenakan mikroorganisme pada EM4 mampu bekerja dengan baik pada kondisi asam hingga netral (Fahri, 2018). Selanjutnya penurunan COD ditunjukkan oleh diagram batang berikut.



Sumber: Hasil Riset

Gambar 2. Penurunan COD Setelah 21 Hari Fermentasi

Hasil pengujian menunjukkan bahwa proses fermentasi tidak hanya menurunkan nilai COD, tetapi juga meningkatkan kualitas pupuk organik cair yang dihasilkan. Evaluasi kualitas dilakukan dengan membandingkan karakteristik pupuk organik cair hasil fermentasi

terhadap standar mutu pupuk organik cair berdasarkan Keputusan Menteri Pertanian Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019. Parameter yang dianalisis meliputi C-organik, N-organik, total hara makro (N-total, P_2O_5 , dan K_2O), serta unsur mikro Fe, Mn, Cu, dan Zn.

Tabel 4 menunjukkan bahwa perlakuan fermentasi mampu menghasilkan pupuk organik cair yang memenuhi sebagian besar persyaratan mutu yang ditetapkan. Perlakuan LV+KS+EM4 menghasilkan kandungan C-organik sebesar 12,66%, N-organik sebesar 0,62%, dan total hara makro sebesar 5,52%. Sementara itu, perlakuan LV+KS+SP+EM4 menghasilkan kandungan C-organik sebesar 13,26% dan total hara makro sebesar 5,84%. Kedua perlakuan tersebut telah memenuhi persyaratan minimum kandungan C-organik (>10%) dan total hara makro (2–6%) sesuai standar yang berlaku.

Tabel 4. Karakteristik Pupuk Organik Cair Hasil Fermentasi Dibandingkan Dengan Standar Mutu Pupuk Organik Cair

Kandungan Mutu POC Sesuai Dengan Keputusan Menteri Pertanian Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019					
Parameter Uji	Satuan	Standar Kepmentan	Hasil Uji		Metode Uji
			LV + KS + EM4	LV + KS + SP + EM4	Metode Uji
pH	-	4 - 9	4,7	4,7	pH Meter
C-Organik	%	Min. 10	12,66	13,26	IK 7.2-2-42 (Spektrofotometer UV-Vis) SNI 7763:2024
Hara Makro					
Nitrogen Total	%	-	0,83	0,87	Butir 6.5.1
Phosphate (P_2O_5)	%	-	0,48	0,54	Butir 6.8
Kalium (K_2O)	%	-	4,22	4,43	Butir 6.8
N+ P_2O_5 + K_2O	%	2 - 6	5,52	5,84	Perhitungan
N Organik	%	Min. 0,5	0,62	0,5	Perhitungan
Hara Mikro					
Besi (Fe)	ppm	90-900	343,78	363,99	Butir 6.9.1
Mangan (Mn)	ppm	25-500	58,03	118,08	IK 7.2-2-37 (ICP-OES)
Tembaga (Cu)	ppm	25-500	37,16	25,99	AAS
Seng (Zn)	ppm	25-501	35,50	31,79	Butir 6.9.1

Sumber: Hasil Analisis, 2026

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan LV+KS+EM4 menghasilkan penurunan COD tertinggi sehingga paling efektif dalam menurunkan beban pencemar organik. Namun, ditinjau dari kualitas pupuk organik cair yang dihasilkan, perlakuan LV+KS+SP+EM4 menunjukkan kandungan C-organik dan total hara makro yang lebih tinggi. Oleh karena itu, formula LV+KS+SP+EM4 dipilih sebagai formula terbaik karena tidak hanya mampu menurunkan COD secara signifikan, tetapi juga menghasilkan kualitas pupuk yang lebih baik dan memenuhi standar mutu yang berlaku.

Peningkatan kandungan unsur hara setelah fermentasi menunjukkan bahwa aktivitas mikroorganisme selama proses fermentasi mampu menguraikan bahan organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dan tersedia bagi tanaman. Penambahan kotoran sapi berkontribusi sebagai sumber nitrogen dan mikroorganisme alami yang mendukung proses dekomposisi, sedangkan EM4 mempercepat aktivitas fermentasi melalui keberadaan bakteri pengurai dan mikroorganisme fermentatif lainnya. Kondisi tersebut menyebabkan unsur hara menjadi lebih tersedia dan meningkatkan kualitas pupuk organik cair yang dihasilkan.

Temuan ini juga mendukung penelitian Widyabudiningsih et al. (2021) yang menyatakan bahwa lama fermentasi berpengaruh terhadap kualitas pupuk organik cair. Semakin lama proses fermentasi berlangsung, semakin banyak bahan organik yang terdegradasi menjadi senyawa yang lebih sederhana sehingga unsur hara menjadi lebih tersedia. Pada penelitian ini, fermentasi selama 21 hari menghasilkan kualitas pupuk yang lebih baik dibandingkan fermentasi 7 dan 14 hari.

Berdasarkan hasil penelitian, kombinasi limbah vinasse, kotoran sapi, sekam padi, dan EM4 selama 21 hari fermentasi menunjukkan performa terbaik dalam menghasilkan pupuk organik cair yang memenuhi standar mutu. Meskipun perlakuan LV+KS+EM4 menghasilkan penurunan COD tertinggi, penambahan sekam padi pada formula LV+KS+SP+EM4 mampu meningkatkan kandungan bahan organik dan total hara makro sehingga menghasilkan kualitas pupuk yang lebih baik. Hasil ini menunjukkan bahwa limbah vinasse memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk organik cair yang bernilai guna sekaligus mendukung pengurangan pencemaran limbah industri bioetanol melalui pendekatan ekonomi sirkular.

KESIMPULAN

Penelitian mengenai pemanfaatan limbah vinasse sebagai bahan baku pupuk organik cair (POC) melalui proses fermentasi anaerob menunjukkan bahwa vinasse memiliki potensi yang baik untuk dikembangkan menjadi produk yang bernilai guna bagi sektor pertanian. Proses fermentasi menggunakan EM4 dengan penambahan kotoran sapi dan sekam padi terbukti mampu menurunkan kandungan bahan organik yang ditunjukkan oleh penurunan nilai COD selama masa fermentasi, sekaligus meningkatkan kualitas pupuk yang dihasilkan. Fermentasi selama 21 hari memberikan hasil terbaik, dengan formula LV+KS+SP+EM4 menghasilkan kandungan C-organik dan total hara makro yang lebih tinggi serta memenuhi persyaratan mutu pupuk organik cair berdasarkan Keputusan Menteri Pertanian Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi vinasse, kotoran sapi, sekam padi, dan EM4 dapat menjadi alternatif pengelolaan limbah industri bioetanol yang lebih berkelanjutan melalui konversi limbah menjadi produk pupuk organik yang memenuhi standar kualitas. Temuan ini memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi pengolahan limbah berbasis prinsip ekonomi sirkular dengan memanfaatkan limbah industri, peternakan, dan pertanian sebagai sumber daya yang bernilai tambah serta berpotensi mengurangi beban pencemaran lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh DIPA Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur melalui Skema Penelitian Berpotensi Prototipe Industri dengan Nomor Kontrak SPP/353/UN.63.8/LT/V/2026. Penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih yang sebesar-besarnya atas dukungan pendanaan serta fasilitas yang telah diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

REFERENSI

- Arrodli, M. Z. (2019). Pemanfaatan Vinasse -Limbah Industri Alkohol- untuk Perbaikan Sifat Fisik Tanah dalam Pengembangan Tebu (*Saccharum officinarum* L) di Lahan Pasir Pantai. 3, 108–114.
- Banowati, G. (2017). Studi Potensi Kompos Vinasse sebagai Pupuk dan Aplikasinya pada Bibit Kakao (*Theobroma Cacao* L .) Study of Potential Vinasse Compost as Fertilizer and Application on Cocoa (*Theobroma Cacao* L .) Seedlings. 23.
- Behandlung, V. Der, Rocha, M. H., Eduardo, E., Lora, S., & Venturini, O. J. (2018). *Life Cycle Analysis of different alternatives for the treatment and disposal of ethanol*

- vinasse *. 133(2), 88–93.
- Duengo, S., Musa, W. J. A., Bialangi, N., & Kilo, A. K. (2025). Pemanfaatan Limbah Sekam Padi sebagai Pupuk Organik. 4(1), 93–101.
- Fahri, A. (2018). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal Pengaruh Waktu Fermentasi dan Volume Bio Aktivator EM 4 (Effective Microorganisme) pada Pembuatan Pupuk Organik Cair (POC) dari Limbah Buah-Buahan*. 1(Mei), 13–29.
- Science, E. (2023). Essence , principle , and technique in utilization and converting vinasse waste to bio-organic fertilizer Essence , principle , and technique in utilization and converting vinasse waste to bio-organic fertilizer. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1133/1/012023>
- Wahyu, B., Ika, R., & Putra, H. (2019). Pembuatan Pupuk Organik Cair Dari Limbah Buah Dengan Penambahan Bioaktivator EM4 Bangun Wahyu R I H P dan Rhenny R. 11(261), 44–56.
- Widyabudiningsih, D., Troskialina, L., Fauziah, S., & Siti, N. (2021). Pembuatan dan Pengujian Pupuk Organik Cair dari Limbah Kulit Buah-buahan dengan Penambahan Bioaktivator EM4 dan Variasi Waktu Fermentasi. 04(01), 30–39.