

PERBANDINGAN VARIASI WAKTU FERMENTASI VINASSE DARI LIMBAH INDUSTRI BIOETANOL TERHADAP PRODUKSI TANAMAN PAKCOY (*Brassica rapa* L.)

COMPARISON OF VINASSE (FROM BIOETHANOL INDUSTRY WASTE) FERMENTATION TIME VARIATIONS ON PAKCOY (*Brassica rapa* L.) PRODUCTION PLANT

Farah¹, Diana Nurani¹, Dicky Adihayyu Monconegoro², Noorwitri Utami¹, Djarmiko Pinardi¹, Abdul Wakhid Shodiq¹, dan Ahmad Fauzi^{1*}

¹Pusat Riset Hortikultura, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Cibinong, Indonesia

²Pusat Riset Mikrobiologi Terapan, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Cibinong, Indonesia

* Corresponding Author. E-mail address: ahma057@brin.go.id

ARTICLE HISTORY:

Received: 25 November 2023
Peer Review: 14 December 2023
Accepted: 2 December 2025

KATA KUNCI:

Fermentasi, pakcoy, pertumbuhan, unsur hara, vinasse

KEYWORDS:

Fermentation, growth, nutrient, pakchoy, vinasse

ABSTRAK

Vinasse merupakan limbah yang dihasilkan dari proses produksi bioetanol dari limbah pabrik kecap yang berbentuk cair. Karena bersifat asam, limbah cair ini memerlukan metode tertentu untuk dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik cair (POC). Salah satu metode yang dapat digunakan yaitu fermentasi dengan penambahan Effective Microorganisms 4 (EM4). Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan jenis POC terbaik dan pengaruh NPK dalam memberikan manfaat maksimal bagi pengelolaan limbah industri yang lebih efisien dan meningkatkan hasil pertanian. Metode penelitian terdiri dari tiga tahap yaitu: (1) formulasi POC dengan lama fermentasi 7 dan 14 hari; (2) karakterisasi produk POC dengan pengukuran kandungan unsur hara di laboratorium, dan (3) aplikasi POC pada tanaman pakcoy di polibag. Rancangan percobaan yang digunakan yaitu Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) dua faktor yaitu jenis POC dan pupuk NPK. Perlakuan terdiri dari V (vinasse tanpa fermentasi, tanpa NPK); VK (vinasse tanpa fermentasi + NPK); V7 (vinasse fermentasi 7 hari + NPK); V14 (vinasse fermentasi 14 hari + NPK); K (NPK); KN (tanpa NPK, tanpa vinasse) dan diulang sebanyak 6 kali. Hasil penelitian menunjukkan lama fermentasi berpengaruh terhadap kadar C-organik, K₂O, pH dan kadar gula, namun tidak berpengaruh terhadap kadar N organik dan P₂O₅. Perlakuan vinasse yang difermentasi 7 dan 14 hari memberikan hasil terbaik terhadap pertumbuhan vegetatif dan produksi tanaman pakcoy. Sebaliknya, pemberian vinasse tanpa fermentasi tidak direkomendasikan karena terlihat menghambat pertumbuhan tanaman. Temuan ini penting sebagai acuan pada fermentasi dan pemanfaatan limbah vinasse.

ABSTRACT

Vinasse is a waste product generated from process production of bioethanol from soy sauce factory waste in liquid form. Due to acidic nature, this liquid waste is needed certain methods to be utilized as liquid organic fertilizer (LOF). One of the methods is fermentation with the addition of Effective Microorganisms 4 (EM4). The aim of this research is to determine the best type of LOF and the effect of NPK in maximizing benefits for more efficient industrial waste management and improving agricultural yields. The research methods consist of three stages: (1) formulation of LOF with fermentation time 7 and 14 days; (2) characterization of LOF product by nutrient content measurement in laboratory and (3) application of LOF on pakchoy plants in polybags. This study used completely randomized block design with two-factor, the type of LOF and NPK fertilizer. The treatments were V (vinasse without fermentation, without NPK); VK (vinasse without fermentation + NPK); V7 (vinasse fermented for 7 days + NPK); V14 (vinasse fermented for 14 days + NPK); K (NPK); KN (without NPK, without vinasse) and repeated six times. The results showed that the duration of fermentation affected the levels of organic carbon, K₂O, pH and sugar content, but had no effect on organic nitrogen and P₂O₅ levels. Treatments with vinasse fermented for 7 and 14 days yielded the best results for vegetative growth and production of pakchoy. In contrast, the application of non-fermented vinasse is not recommended as it appears to inhibit plant growth. This finding is important as a reference for fermentation and utilization of vinasse waste.

1. PENDAHULUAN

Pemenuhan kebutuhan pangan nasional dan menjaga keseimbangan ekosistem sangat penting untuk pertanian berkelanjutan. Untuk meningkatkan produktivitas pertanian bersamaan dengan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, penggunaan pupuk organik cair (POC) yang berasal dari limbah industri seperti vinasse dapat menjadi solusi. POC memiliki unsur hara (mikro dan makro) tinggi karena senyawa organik dari bahan alami yang mengandung mikroorganisme aktif dan aman bagi lingkungan (Respatie *et al.*, 2020). Menurut Juhriah *et al.*, (2018) pupuk organik memiliki kemampuan untuk menambah bahan organik dan unsur hara, memperbaiki sifat fisik tanah dan mengembalikan nutrisi yang terangkut dari hasil panen. POC dapat berasal dari berbagai limbah organik, yaitu sisa yang dihasilkan dari proses produksi industri dan rumah tangga (Santoso *et al.*, 2019).

Vinasse adalah limbah cair yang dihasilkan dari proses produksi etanol dari limbah pabrik gula ataupun kecap yang mengandung bahan organik 350 g/kg, nitrogen 30 g/kg dan kalium 30 g/kg (Banowati, 2017; Vyatrissa *et al.*, 2017). Limbah vinasse memiliki sifat asam dengan pH antara 3 - 4, sehingga dapat menimbulkan masalah jika langsung dibuang ke lingkungan maupun diaplikasikan (Umami *et al.*, 2014). Agar limbah vinasse dapat digunakan sebagai POC, metode tertentu harus digunakan, salah satunya adalah fermentasi dengan EM4 yang dilanjutkan dengan penambahan basa. Ma'rufah *et al.*, (2020) berhasil meningkatkan pertumbuhan bunga kol dengan pemanfaatan vinasse sebagai POC yang difermentasikan dengan EM4.

Pencampuran vinasse dan EM4 yang difermentasi selama 9 hari dapat meningkatkan pH awal vinasse dari 4,05 menjadi 4,42, selanjutnya penambahan dolomit 8 g/L vinasse menaikkan pH menjadi 6,65. Kenaikan pH vinasse dari 4,05 menjadi 4,42 setelah fermentasi dengan EM4 mengindikasikan adanya pemanfaatan asam organik oleh bakteri fotosintetik dan awal dari proses penetralan (Hidayat dan Yuliani, 2017). Hal senada juga dijelaskan oleh Nurdiana dan Herlina (2020), bahwa peningkatan pH selama fermentasi dengan EM4 menandakan terjadinya suksesi mikroba, dimana mikroba penghasil asam digantikan oleh mikroba dekomposer yang menghasilkan senyawa bersifat basa. Hasil ini memperlihatkan bahwa fermentasi vinasse dengan EM4 mampu menurunkan tingkat keasaman awal namun belum terlalu optimal. Penambahan inokulan seperti EM4 sebagai aktivator akan membantu proses fermentasi pemecahan senyawa organik kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana, sehingga nutrisi makro (N, P, K) dan mikronutrien lebih mudah diserap oleh tanah maupun tanaman (Andriyanto *et al.*, 2019; Rahmawati *et al.*, 2020).

Penambahan dolomit efektif dalam menaikkan pH menjadi netral. Hidayat dan Yuliani (2017) juga melaporkan bahwa penambahan dolomit meningkatkan pH vinasse hingga kisaran netral tanpa mengganggu kestabilan senyawa organik yang terbentuk selama fermentasi. Nilai pH mendekati netral merupakan salah satu indikator penting kualitas POC, karena pada kisaran tersebut unsur hara makro dan mikro cenderung berada dalam bentuk yang mudah diserap oleh tanaman (Isroi, 2011).

Penelitian ini akan membandingkan efek dari NPK, vinasse tanpa fermentasi, vinasse yang difermentasi 7 hari dan 14 hari (POC) terhadap pertumbuhan dan hasil panen tanaman pakcoy (*Brassica rapa* L.). Menurut Prasetyo & Evizal (2021), POC cenderung menunjukkan respon yang lebih cepat pada tanaman hortikultura. Tanaman pakcoy adalah salah satu jenis sayuran yang penting dalam pertanian karena nilai gizinya yang tinggi dan permintaan pasarnya yang terus meningkat (Maghfiroh *et al.*, 2016).

Kombinasi antara NPK dan POC berpotensi menciptakan efek sinergis, dimana POC meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk anorganik melalui perbaikan kondisi tanah serta stimulasi aktivitas mikroba, sementara NPK tetap berperan menyediakan unsur hara esensial secara cepat. Oleh karena itu, pengujian NPK dan POC, baik secara terpisah maupun kombinasi, penting dilakukan untuk memperoleh informasi ilmiah mengenai efektivitas, efisiensi dan dampak jangka panjang terhadap pertumbuhan serta hasil tanaman. Penelitian ini juga diharapkan dapat

memberikan kontribusi signifikan terhadap praktik pertanian berkelanjutan serta pemanfaatan limbah industri secara lebih efektif.

2. BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Puspiptek Serpong pada bulan Juni sampai Agustus 2024. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari vinasse, benih pakcoy, tanah merah, air, pupuk kandang (Pupuk Sapi Pak Tani) dan pupuk NPK Mutiara (16:16:16). Alat-alat yang digunakan adalah wadah semai, polibag ukuran 35 cm × 40 cm (5 kg), cangkul, penggaris, ember, botol selai, label, nampan plastik dan timbangan digital.

Vinasse diperoleh dari CV Resia Niaga, Bogor sebagai bagian dari kerjasama dengan BRIN. Studi mengenai POC dari vinasse ini meliputi tiga tahap, yaitu: formulasi POC, karakterisasi produk POC dan aplikasi POC pada tanaman pakcoy.

Tahapan formulasi POC adalah sebagai berikut: vinasse 24 L ditambah NaOH 40% 10 mL untuk menetralkan pH dan campuran diaduk hingga larutan homogen. Kemudian ditambahkan starter mikroba dari EM4 sebanyak 600 ml dan dilakukan fermentasi selama 7 hari dan 14 hari pada suhu 27-35 °C. Ada 3 perlakuan yaitu (V): Vinasse tanpa difermentasi; (V7): vinasse yang difermentasi selama 7 hari; dan (V14): vinasse yang difermentasi 14 hari. Setiap perlakuan diulang sebanyak 5 kali sehingga diperoleh 15 sampel. Selanjutnya dilakukan karakterisasi untuk semua sampel dan dilakukan pengukuran kadar gula dan pH di Laptiab, Puspiptek-Serpong. Kadar gula vinasse diukur dengan *refractometer* dan ditulis dengan satuan °Brix, sedangkan pH diukur menggunakan pH meter. Pengukuran C-organik, N total, P₂O₅ total dan K₂O total dilakukan di laboratorium pengujian Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, IPB Bogor.

Selanjutnya POC diaplikasikan pada tanaman pakcoy dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) faktor tunggal, terdiri dari 6 perlakuan dan diulang sebanyak 6 kali, sehingga terdapat 36 satuan percobaan. Setiap satuan percobaan terdiri dari 3 tanaman, sehingga total terdapat 108 tanaman. Perlakuannya terdiri dari : K = (NPK); KN = (tanpa NPK, tanpa vinasse); V = (vinasse tanpa fermentasi, tanpa NPK); VK = (vinasse tanpa fermentasi + NPK); V7 = (vinasse fermentasi 7 hari + NPK); V14 = (vinasse fermentasi 14 hari + NPK). NPK diberikan dengan dosis 1,5 g per tanaman pada 1 HST, 2 MST, dan 4 MST. Vinasse diberikan dengan dosis 25 ml/tanaman dan diencerkan 10x menjadi 250 ml/tanaman diberikan pada 1 MST, 3 MST, dan 5 MST.

Budidaya tanaman pakcoy yang dilakukan mengikuti tahapan – tahapan yang dilakukan oleh Misdiani *et al.* (2020). Pengukuran vegetatif tanaman pakcoy dilakukan setiap minggu sejak 2–6 MST. Parameter yang diamati terdiri dari tinggi tanaman, jumlah daun, panjang daun dan lebar daun. Panen dilakukan pada usia tanaman 7 MST dengan parameter yang diukur meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, panjang daun, lebar daun, berat basah tajuk dan berat basah akar. Data hasil penelitian dianalisis menggunakan sidik ragam (ANOVA) pada taraf 5%. Hasil pengolahan data yang berpengaruh nyata dilanjutkan dengan Uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf yang sama.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Produk Pupuk Organik Cair

Salah satu tujuan dari penelitian ini yaitu mengkaji kualitas produk pupuk organik cair menggunakan vinasse dari limbah industri bioetanol berbahan baku limbah kecap serta membandingkannya dengan baku mutu pupuk organik cair menurut Peraturan Menteri Pertanian Nomor 261 tahun 2019 tentang Persyaratan Teknis Minimal Pupuk Organik, Pupuk Hayati dan Pembenah Tanah (Tabel 1). Dilihat dari Tabel 2, secara keseluruhan, hasil pengukuran vinasse tanpa fermentasi dan vinasse yang difermentasi menunjukkan bahwa nilai C-organik, N total, fosfor (P₂O₅)

dan kalium (K_2O) semua perlakuan belum memenuhi standar teknis minimal pupuk organik cair tahun 2019.

Kadar C-organik vinasse tanpa fermentasi berbeda nyata dengan vinasse yang difermentasi. Kandungan C-organik vinasse tanpa fermentasi menunjukkan nilai tertinggi (2,52%) dibandingkan dengan vinasse yang difermentasi selama 7 hari dan 14 hari secara berturut-turut yaitu 2,23% dan 2,31%. Hal ini mengindikasikan nilai C-organik dipengaruhi oleh fermentasi, namun tidak dipengaruhi oleh lama fermentasi karena nilai C-organik antara 7 hari dan 14 hari fermentasi tidak berbeda nyata. Wijaksono *et al.* (2016) menyatakan bahwa fermentasi menyebabkan terjadinya penurunan kandungan bahan organik. Selama proses fermentasi, karbon digunakan oleh mikroorganisme sebagai sumber energi dan diubah menjadi CO_2 , sehingga kadar karbon menurun seiring waktu. Penurunan kadar C-organik disebabkan oleh pelepasan karbon dan proses dekomposisi mikroorganisme yang memerlukan karbon untuk nutrisi serta pelepasan CO_2 akibat aktivitas mikroorganisme pengurai yang menggunakan karbon untuk mengurai bahan organik (Pradiksa *et al.*, 2022).

Baik vinasse tanpa fermentasi dan vinasse yang difermentasi 7 hari dan 14 hari memiliki kandungan Nitrogen (N) yang sama yaitu 0,30 %. Hal ini menunjukkan tidak ada pengaruh lama fermentasi terhadap kandungan N. Kandungan fosfor (P) dari ketiga perlakuan memiliki hasil yang sama yaitu 0,01 %. Sama seperti kadar N, lama fermentasi tidak berpengaruh terhadap nilai P. Nilai Kalium (K) dari vinasse tanpa fermentasi maupun vinasse yang difermentasi 7 hari dan 14 hari tidak menunjukkan adanya perbedaan yang nyata (0,29%; 0,29%; 0,28%). Menurut Sihabuddin & Rasmito (2022), lama fermentasi tidak mempengaruhi kadar kalium. Durasi waktu fermentasi tidak berpengaruh signifikan terhadap kandungan unsur hara POC dari vinasse (Putra *et al.*, 2023). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Ma'rufah *et al.* (2020) fermentasi vinasse menggunakan EM4, didapatkan peningkatan kandungan N, P dan K masing-masing 0,4178%, 0,1782% dan 2,1636% pada hari ke-9 fermentasi.

Pada awal penelitian, baik vinasse kontrol maupun vinasse yang akan difermentasi ditambahkan dengan NaOH 40% untuk menaikkan pH hingga nilai pH menjadi 6. Tabel 2 menunjukkan lama fermentasi tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan nilai pH. Menurut Nurdiana dan Herlina (2020) EM4 memiliki sistem mikroba yang berperan saling melengkapi dan membentuk keseimbangan kimia dalam media, sehingga pH tetap relatif konstan selama proses berlangsung.

Tabel 1. Persyaratan Teknis Minimal Pupuk Organik Cair

Parameter	Satuan	Standar Mutu
C-organik	% (w/v)	min 10
Hara makro : N + P_2O_5 + K_2O	% (w/v)	2 – 6
N-organik	% (w/v)	Minimum 0,5
pH		4 – 9

Keterangan: Peraturan Menteri Pertanian No. 261/KPTS/SR.310/M/4/2019.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Vinasse Tanpa Fermentasi dan yang Difermentasi

Perlakuan	C-organik (%)	N total (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)	pH	Kadar gula ($^{\circ}$ Brix)
V	2,52 a	0,30 a	0,01 a	0,28 a	6,02 a	9,36 a
V7	2,23 bc	0,30 a	0,01 a	0,29 a	6,00 a	9,18 bc
V14	2,31 c	0,30 a	0,01 a	0,29 a	5,97 a	9,10 c
BNT	0,13					0,080

Keterangan : angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berbeda tidak nyata pada uji lanjut BNT 5%.

Tabel 3. Kriteria Kandungan C-organik, N, P dan K menurut Balai Penelitian Tanah (2012)

Kriteria	C-organik	N (%)	P (%)	K (%)
Sangat Tinggi	> 6	> 1	> 0,3	> 0,15
Tinggi	4,2 – 6,0	0,6 – 1,0	0,26 – 0,3	0,10 – 0,15
Sedang	2,1 – 4,2	0,3 – 0,6	0,16 – 0,25	0,06 – 0,10
Rendah	1,0 – 2,0	0,1 – 0,3	0,1 – 0,15	0,04 – 0,06
Sangat Rendah	< 1,0	< 0,1	< 0,1	< 0,04

Tabel 4. Tinggi Tanaman Saat Umur Panen 7 MST dan Laju Pertumbuhan Tinggi Tanaman

Perlakuan	Tinggi Tanaman 7 MST (cm)	Laju Pertumbuhan Tinggi Tanaman (cm)
K	21,46 a	15,07 a
KN	9,78 b	3,63 b
V	6,64 b	1,53 b
VK	21,86 a	14,81 a
V7	21,33 a	13,80 a
V14	22,94 a	15,58 a
BNT	3,67	2,60

Keterangan : angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berbeda tidak nyata pada uji lanjut BNT 5%.

Dari hasil pengukuran kandungan gula memperlihatkan perlakuan vinasse tanpa fermentasi (9,36 °Brix) berbeda nyata dengan vinasse yang difermentasi (9,18 dan 9,10 °Brix). Hal ini menunjukkan ada pengaruh lama fermentasi dengan kadar gula. Kandungan gula terlihat menurun dengan proses dekomposisi. Penurunan kandungan gula yang terjadi seiring dengan lama fermentasi disebabkan oleh berkurangnya substrat dan nutrisi yang digunakan mikroba untuk beraktivitas. Hasil ini linear dengan penelitian yang dilakukan oleh Fahrudin & Sulfahri (2019) yang menyebutkan bahwa pada akhir fermentasi POC, kadar gula menurun karena pertumbuhan mikroba yang meningkat, mengurangi nutrisi dalam medium fermentasi. Sebagai tambahan, Wijaksono *et al.* (2016) juga melaporkan bahwa aktivitas mikroorganisme mengubah glukosa menjadi asam laktat sehingga menciptakan lingkungan yang lebih asam.

Secara keseluruhan, lama fermentasi tidak mempengaruhi hasil pengukuran kandungan vinasse. Fathini *et al.*, (2014) melaporkan bahwa inkubasi vinasse hingga 20 hari tidak meningkatkan pH, kandungan N, P, K dan bahan organik vinasse yang difermentasi. Berdasarkan hasil pengukuran vinasse tanpa fermentasi dan vinasse yang difermentasi jika dibandingkan dengan Tabel 3, maka level dari C-organik dan N semua perlakuan masuk dalam kategori sedang, sebaliknya P dan K tergolong sangat rendah. Untuk itu diperlukan bahan tambahan yang mengandung unsur hara agar dapat meningkatkan kualitas pupuk organik cair yang dihasilkan. Limbah pertanian seperti abu sabut kelapa, abu tandan kosong kelapa sawit dan abu kayu dapat dimanfaatkan sebagai sumber hara K dan Ca yang tinggi (Maulinda & Jalaluddin 2012). Kadar N juga dapat ditingkatkan dengan penambahan kulit pisang, sedangkan penambahan air kelapa dapat meningkatkan kadar P dan K (Tanti *et al.*, 2019).

3.2 Aplikasi POC pada Tanaman Pakcoy

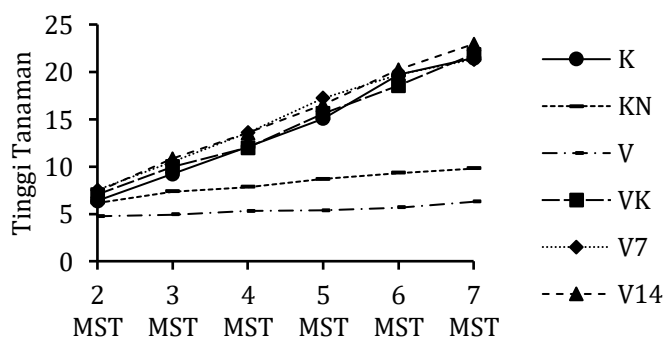
Pada Tabel 4, dapat dilihat bahwa tinggi tanaman pada perlakuan K (NPK) mencapai 21,46 cm dengan laju pertumbuhan 15,07 cm. Nilai ini menunjukkan bahwa penggunaan NPK secara tunggal memberikan hasil yang cukup baik dalam meningkatkan tinggi tanaman pakcoy. Tanaman yang tidak diberi NPK maupun vinasse (KN) memiliki tinggi tanaman rendah yaitu 9,78 cm dan laju pertumbuhan 3,63 cm. Hal ini mengindikasikan bahwa ketiadaan pupuk dan bahan tambahan menyebabkan pertumbuhan tanaman menjadi tidak optimal. Perlakuan vinasse tanpa fermentasi dan tanpa NPK (V) menghasilkan tinggi tanaman terendah yaitu 6,64 cm dan laju pertumbuhan 1,53 cm. Hal ini

mungkin dikarenakan vinasse tanpa fermentasi belum terurai sehingga belum optimal memberikan nutrisi atau bahkan mungkin mengandung zat yang menghambat pertumbuhan.

Kombinasi vinasse tanpa fermentasi dengan NPK (VK) memberikan hasil tinggi tanaman 21,86 cm dan laju pertumbuhan 14,81 cm (hampir setara dengan perlakuan K). Ini menunjukkan bahwa penambahan vinasse tanpa fermentasi tidak menurunkan efektivitas NPK dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman. Vinasse yang difermentasi selama 7 hari (V7) dan dikombinasikan dengan NPK menghasilkan tinggi tanaman 21,33 cm dengan laju pertumbuhan 13,80 cm. Hasil ini juga menunjukkan efektivitas yang baik, meskipun sedikit lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan vinasse tanpa fermentasi dan NPK (VK) dan NPK (K), tetapi masih termasuk kategori tinggi dan menunjukkan pertumbuhan yang sehat. Kombinasi perlakuan vinasse yang difermentasi selama 14 hari dan NPK memberikan hasil tertinggi yaitu 22,94 cm dan laju pertumbuhan 15,58 cm. Hal ini menandakan bahwa fermentasi vinasse selama 14 hari dan NPK (V14) dapat meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman pakcoy secara signifikan dibandingkan dengan perlakuan vinasse tanpa fermentasi (V), namun tidak berbeda nyata jika dibandingkan dengan perlakuan vinasse tanpa fermentasi dan NPK (VK) dan NPK (K). Vinasse yang difermentasi selama 14 hari dan NPK (V14) memberikan hasil terbaik dibandingkan dengan perlakuan lain, baik dari segi tinggi tanaman maupun laju pertumbuhan, yang menunjukkan vinasse yang difermentasi selama 14 hari dan NPK dapat bersinergi dengan baik terhadap pertumbuhan tinggi tanaman pakcoy.

Berdasarkan Gambar 1, pola pertumbuhan tinggi tanaman pakcoy dari minggu ke minggu menunjukkan aplikasi vinasse yang difermentasi 7 hari dan NPK (V7) serta vinasse yang difermentasi 14 hari dan NPK (V14) selalu bergantian berada di titik tertinggi. Sedangkan perlakuan kontrol negatif tanpa apa-apa (KN) dan vinasse tanpa fermentasi dan tanpa NPK (V) tidak mengalami kenaikan tinggi tanaman yang signifikan. Vinasse yang difermentasi 7 dan 14 hari telah mengalami proses penguraian bahan organik oleh aktivitas mikroba melalui proses fermentasi. Limbah vinasse yang mengandung bahan organik diubah oleh mikroba menjadi senyawa yang sederhana sehingga lebih mudah diserap oleh tanaman. Keunggulan pupuk organik cair dibanding pupuk padat yaitu mengandung nutrisi makro dan mikro yang lengkap dan sudah terurai (karena bentuknya cair) sehingga mudah diserap tanaman (Prasetyo dan Evizal, 2021). Hal ini didukung oleh Astuti & Mahatmanti (2017) yang menyebutkan bahwa fermentasi mempermudah penyerapan nutrisi oleh tanaman.

Hasil pengukuran tinggi tanaman menunjukkan bahwa perlakuan vinasse tanpa fermentasi dan tanpa NPK (V) belum mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman pakcoy. Hal ini didukung oleh Nurjasmi (2016) bahwa limbah organik yang tidak terdekomposisi dengan baik dapat mengganggu pertumbuhan tanaman dengan menyebabkan persaingan nutrisi antara tanaman dan mikroorganisme tanah. Hal serupa juga dinyatakan oleh Anindyawati *et al.*, (2023) bahwa limbah baglog jamur tiram yang diberikan pada tanaman tanpa proses fermentasi dapat menghambat pertumbuhan tanaman caisim. Ketiadaan NPK dalam media tanam juga terbukti menghambat pertumbuhan dan perkembangan tanaman secara signifikan.



Gambar 1. Pertumbuhan tinggi tanaman pakcoy 2–7 MST.

Tabel 5. Jumlah Daun Saat Umur 7 MST dan Laju Pertambahan Jumlah Daun

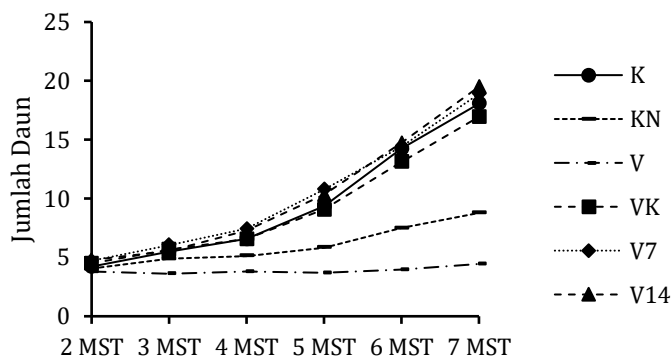
Perlakuan	Jumlah Daun 7 MST (helai)	Laju Pertambahan Jumlah Daun (helai)
K	18,06 a	13,83 a
KN	8,78 b	4,72 b
V	4,67 b	0,67 b
VK	16,94 a	12,44 a
V7	18,89 a	14,17 a
V14	19,50 a	14,72 a
BNT	4,22	3,86

Keterangan : angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berbeda tidak nyata pada uji lanjut BNT 5%.

Hasil penelitian pada Tabel 5 menunjukkan bahwa perlakuan K (NPK) menghasilkan jumlah daun 18,06 helai dan laju pertambahan daun 13,83 helai. Hal ini menunjukkan bahwa pemupukan NPK mampu menyediakan unsur hara makro esensial (N, P, K) yang langsung tersedia bagi tanaman sehingga mendukung pembentukan dan pertumbuhan daun. Pada perlakuan KN (tanpa NPK dan vinasse), jumlah daun 8,78 helai dan laju pertambahan daun 4,72 helai. Rendahnya hasil ini disebabkan tidak adanya asupan unsur hara tambahan, sehingga tanaman hanya mengandalkan cadangan nutrisi media tanam yang terbatas. Vinasse tanpa fermentasi dan tanpa NPK (V) menghasilkan jumlah daun terendah yaitu 4,67 helai dan juga laju pertambahan daun terendah yaitu 0,67 helai. Hal ini kemungkinan karena vinasse yang belum difermentasi masih mengandung senyawa yang bersifat toksik (misalnya kandungan organik tinggi atau senyawa fenolik) sehingga mungkin dapat menghambat pertumbuhan daun pakcoy.

Pada perlakuan vinasse tanpa fermentasi dan NPK (VK), jumlah daun 16,94 helai dan laju pertambahan daun 12,44 helai. Meskipun vinasse belum difermentasi, kombinasi dengan NPK mampu menekan efek negatif vinasse tanpa fermentasi serta tetap dapat memberikan nutrisi yang cukup bagi pertumbuhan daun. Perlakuan V7 (vinasse yang difermentasi 7 hari dan NPK) memberikan hasil jumlah daun 18,89 helai dan laju pertambahan daun 14,17 helai. Hasil ini lebih tinggi dari perlakuan K (NPK) namun tidak berbeda nyata. Fermentasi vinasse selama 7 hari diduga menurunkan kandungan zat beracun, meningkatkan ketersediaan unsur hara, serta menambah mikroba bermanfaat yang mendukung pertumbuhan daun pakcoy. Kombinasi perlakuan vinasse yang difermentasi 14 hari dan NPK (V14) menghasilkan jumlah daun dan laju pertambahan daun tertinggi (19,50 helai; 14,72 helai). Hasil ini menunjukkan bahwa fermentasi vinasse selama 14 hari lebih optimal dibanding 7 hari karena proses dekomposisi lebih sempurna, sehingga kandungan nutrisi lebih tersedia dan aman bagi tanaman. Koalisi vinasse yang difermentasi 14 hari dan NPK efektif dalam menambah jumlah daun.

Pada Gambar 2, dapat dilihat bahwa aplikasi vinasse yang difermentasi 7 hari dan NPK (V7) serta vinasse yang difermentasi 14 hari (V14) juga selalu bergantian menjadi perlakuan terbaik karena menunjukkan pola pertambahan jumlah daun tanaman pakcoy dari minggu ke minggu yang tertinggi. Sebaliknya hampir tidak ada pertambahan jumlah daun pakcoy dengan aplikasi vinasse tanpa fermentasi dan tanpa NPK (V). Daun adalah bagian utama dari tanaman sayuran yang berfungsi sebagai organ fotosintesis dan cadangan makanan. Semakin banyak daun yang ada, semakin banyak cahaya yang diserap untuk fotosintesis (Anindyawati *et al.* 2023). Pupuk vinasse berperan dalam meningkatkan hara tanah yang dibutuhkan oleh tanaman sehingga berpengaruh terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman (Ma'rufah *et al.*, 2020). Jumlah daun yang terbentuk bergantung pada ketersediaan unsur hara (Anindyawati *et al.* 2023). Jumlah daun terkait erat dengan tinggi tanaman; semakin tinggi tanaman, semakin banyak jumlah daun yang terbentuk (Anjani *et al.* 2022). Keterkaitan antara tinggi tanaman dan jumlah daun juga terlihat pada hasil pengukuran tinggi tanaman pakcoy dengan hasil tertinggi vinasse yang difermentasi 14 hari dan NPK (V14), sedangkan hasil terendah adalah vinasse tanpa fermentasi dan tanpa NPK (V).



Gambar 2. Pertambahan Jumlah Daun Tanaman Pakcoy 2-7 MST.

Tabel 6. Panjang Daun Saat Umur 7 MST dan Laju Pertumbuhan Panjang Daun

Perlakuan	Panjang Daun 7 MST (cm)	Laju Pertumbuhan Panjang Daun (cm)
K	12,94 a	9,54 a
KN	5,40 b	2,89 b
V	3,26 b	2,21 b
VK	12,18 a	8,36 a
V7	12,74 a	8,77 a
V14	13,62 a	9,86 a
BNT	2,25	1,84

Keterangan : angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berbeda tidak nyata pada uji lanjut BNT 5%.

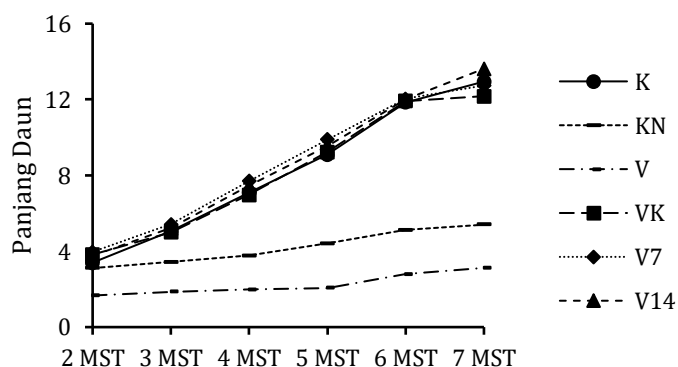
Pada Tabel 6, dapat dilihat perlakuan NPK (K) menghasilkan panjang daun 12,94 cm dan laju pertumbuhan panjang daun 9,54 cm. Hal ini menunjukkan bahwa pupuk NPK mampu mencukupi kebutuhan hara esensial, terutama nitrogen yang berperan dalam pembentukan daun dan memperpanjang ukuran helaian daun. Perlakuan tanpa NPK dan tanpa vinasse (KN) menghasilkan panjang daun 5,40 cm dan laju pertumbuhan panjang daun 2,89 cm. Kondisi ini disebabkan tidak adanya tambahan unsur hara, sehingga tanaman hanya mengandalkan ketersediaan nutrisi dari media tanam yang terbatas sehingga pertumbuhan daun terhambat. Perlakuan vinasse tanpa fermentasi dan tanpa NPK (V) memberikan panjang daun dan laju pertumbuhan panjang daun paling rendah (3,26 cm; 2,21 cm). Hal ini menunjukkan bahwa vinasse yang tidak difermentasi belum mampu menyuplai hara dengan baik.

Perlakuan vinasse tanpa fermentasi dikombinasikan dengan NPK (VK) menghasilkan panjang daun 12,18 cm dan laju pertumbuhan panjang daun 8,36 cm. Keberadaan NPK mampu menutupi efek negatif vinasse yang belum difermentasi, sehingga tanaman tetap dapat tumbuh baik. Perlakuan vinasse yang difermentasi 7 hari dan NPK (V7) memberikan panjang daun 12,74 cm dan laju pertumbuhan panjang daun 8,77 cm. Hasil ini menunjukkan bahwa vinasse yang difermentasi selama 7 hari lebih aman bagi tanaman dan berpotensi menambah nutrisi maupun mikroba bermanfaat sehingga mendukung pertumbuhan panjang daun. Kombinasi perlakuan vinasse yang difermentasi selama 14 hari dan NPK (V14) menunjukkan hasil terbaik dengan panjang daun 13,62 cm dan laju pertumbuhan panjang daun 9,86 cm. Fermentasi vinasse selama 14 hari diduga mampu menurunkan kandungan senyawa berbahaya lebih optimal sekaligus meningkatkan ketersediaan unsur hara, sehingga daun tumbuh lebih panjang. Secara keseluruhan, pemberian vinasse yang difermentasi 14 hari dengan kombinasi NPK (V14) memberikan hasil paling tinggi pada panjang daun maupun laju pertumbuhan panjang daun tanaman pakcoy. Hal ini membuktikan bahwa perpaduan fermentasi vinasse dan NPK mampu meningkatkan efektivitas vinasse sebagai pupuk organik cair.

Berdasarkan Gambar 3, aplikasi vinasse yang difermentasi 7 hari dan NPK (V7) serta vinasse yang difermentasi 14 hari dan NPK (V14) menunjukkan hasil terbaik karena bergantian menghasilkan pertambahan panjang daun tanaman pakcoy yang tertinggi. Sedangkan aplikasi vinasse tanpa fermentasi dan tanpa NPK (V) menunjukkan pertambahan panjang daun yang terkecil. Menurut Cahyono *et al.*, (2014) tinggi tanaman berkaitan dengan panjang daun dimana semakin panjang daun yang terbentuk diakibatkan oleh semakin tinggi tanaman. Aplikasi vinasse yang difermentasi 7 hari dan NPK (V7) serta vinasse yang difermentasi 14 hari dan NPK (V14) menghasilkan tinggi tanaman dan panjang daun tertinggi, sebaliknya nilai terendah terdapat pada hasil aplikasi vinasse tanpa fermentasi dan tanpa NPK (V). Pupuk organik cair memiliki keuntungan dalam memperbaiki struktur tanah, menjadikannya lebih gembur, meningkatkan daya serap terhadap air, memperbaiki kehidupan biologis tanah, serta menyediakan unsur hara penting seperti N, P dan K (Pradiksa *et al.*, 2022).

Anjani *et al.*, (2022) menyatakan bahwa pertumbuhan daun pakcoy dipengaruhi oleh ketersediaan unsur hara seperti N, P dan K. Ketersediaan unsur hara sangat penting untuk pertumbuhan tanaman sawi hijau, berpengaruh pada proses pertumbuhan tanaman, seperti pembelahan sel, fotosintesis dan pemanjangan sel pada fase vegetatif. Kekurangan hara pada tanaman dapat terlihat dari perubahan warna, ukuran dan bentuk daun, yang disebabkan oleh ketidaktersediaan unsur hara (Oktabriana, 2017).

Berdasarkan Tabel 7 perlakuan NPK (K) menghasilkan lebar daun 8,34 cm dan laju pertumbuhan lebar daun 6,57 cm. Hal ini menunjukkan bahwa NPK mampu memenuhi kebutuhan unsur hara makro yang esensial, khususnya nitrogen yang berperan dalam pembentukan jaringan daun, sehingga daun tumbuh lebih lebar. Perlakuan tanpa NPK dan tanpa vinasse (KN) menunjukkan hasil lebar daun 3,21 cm dan laju pertumbuhan lebar daun 1,64 cm. Hasil ini disebabkan oleh ketiadaan tambahan nutrisi dari pupuk sehingga tanaman hanya bergantung pada hara alami media tanam yang terbatas.

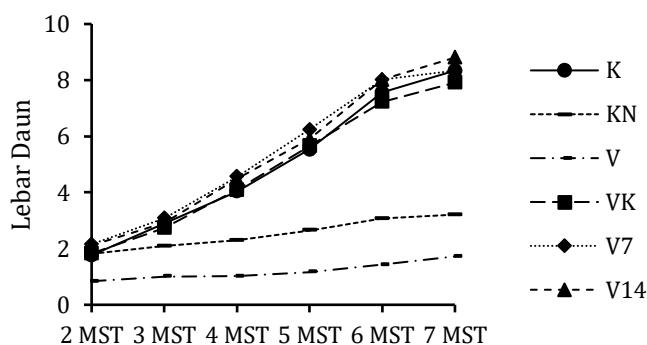


Gambar 3. Pertambahan Panjang Daun Tanaman Pakcoy 2–7 MST.

Tabel 7. Lebar Daun Saat Umur 7 MST dan Laju Pertumbuhan Lebar Daun

Perlakuan	Lebar Daun 7 MST (cm)	Laju Pertumbuhan Lebar Daun (cm)
K	8,34 a	6,57 a
KN	3,21 b	1,64 b
V	1,79 b	1,33 b
VK	7,91 a	6,08 a
V7	8,34 a	6,18 a
V14	8,81 a	6,69 a
BNT	1,52	1,26

Keterangan : angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berbeda tidak nyata pada uji lanjut BNT 5%.



Gambar 4. Pertambahan Lebar Daun Tanaman Pakcoy 2–7 MST.

Perlakuan vinasse tanpa fermentasi dan tanpa NPK (V) menghasilkan lebar daun dan laju pertumbuhan lebar daun terendah (1,79 cm; 1,33 cm). Kondisi ini menunjukkan bahwa vinasse tanpa fermentasi tidak efektif mendukung pertumbuhan, bahkan berpotensi menekan pertumbuhan karena masih mengandung senyawa organik berlebih atau senyawa toksik yang menghambat perkembangan daun. Perlakuan vinasse tanpa fermentasi dan NPK (VK) menghasilkan lebar daun 7,91 cm dan laju pertumbuhan lebar daun 6,08 cm. Kombinasi dengan NPK mampu menekan efek negatif vinasse yang belum difermentasi, sehingga tanaman tetap dapat menghasilkan daun dengan lebar yang baik. Perlakuan vinasse yang difermentasi 7 hari dan NPK (V7) menghasilkan lebar daun 8,34 cm dan laju pertumbuhan lebar daun 6,18 cm. Hal ini menunjukkan bahwa vinasse yang difermentasi 7 hari lebih aman bagi tanaman dan mulai berfungsi sebagai sumber nutrisi tambahan selain NPK. Perlakuan vinasse yang difermentasi 14 hari yang dipadukan dengan NPK (V14) menghasilkan lebar daun 8,81 cm dan laju pertumbuhan lebar daun 6,69 cm. Hasil ini mengindikasikan bahwa fermentasi vinasse selama 14 hari lebih optimal dalam menurunkan senyawa toksik dan meningkatkan ketersediaan unsur hara, sehingga pertumbuhan daun pakcoy lebih lebar dibanding perlakuan lainnya.

Gambar 4 memperlihatkan laju pertumbuhan lebar daun tanaman pakcoy dengan aplikasi vinasse yang difermentasi 7 hari dan NPK (V7) serta vinasse yang difermentasi 14 hari dan NPK (V14) bergantian menempati posisi tertinggi. Sebaliknya tanaman pakcoy dengan aplikasi vinasse tanpa fermentasi dan tanpa NPK (V) mengalami pertambahan lebar daun terkecil. Lebar daun menjadi indikator laju fotosintesis per tanaman, yang dipengaruhi oleh ketersediaan hara dalam media tanam (Anindyawati *et al.*, 2023). Pada fase vegetatif, unsur hara makro dan mikro sangat mempengaruhi pertumbuhan tanaman, terutama lebar daun (Oktabriana, 2017).

Pertumbuhan vegetatif tanaman seperti tinggi tanaman, jumlah daun dan lebar daun berkontribusi pada berat basah tanaman (Anjani *et al.*, 2022). Ketersediaan hara mempengaruhi berat basah tanaman (Anindyawati *et al.*, 2023). Media tanam yang baik mendukung pertumbuhan akar, yang berpengaruh pada penyerapan unsur hara dan berat basah akar (Damayanti *et al.*, 2019). Pada Tabel 8, dapat dilihat perlakuan NPK (K) menghasilkan berat basah tajuk 97,56 g dan berat basah akar 5,67 g. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian pupuk NPK mampu menyediakan unsur hara makro esensial (N, P, K) yang penting untuk pertumbuhan vegetatif, sehingga menghasilkan biomassa tajuk dan akar yang optimal. Perlakuan tanpa vinasse dan tanpa NPK (KN) menghasilkan berat basah tajuk 19,82 g dan berat basah akar 1,69 g. Kondisi ini disebabkan ketiadaan suplai nutrisi tambahan, sehingga tanaman hanya mengandalkan unsur hara terbatas dari media tanam yang tidak cukup untuk mendukung pertumbuhan optimal. Perlakuan vinasse tanpa fermentasi dan tanpa NPK (V) menunjukkan berat basah tajuk dan berat basah akar terendah (3,06 g; 0,31 g).

Rendahnya hasil ini diduga karena vinasse yang belum difermentasi masih mengandung senyawa toksik atau bahan organik berlebih yang tidak dapat langsung dimanfaatkan tanaman,

sehingga justru menghambat pertumbuhan tajuk dan akar. Perlakuan vinasse tanpa fermentasi dan NPK (VK) menghasilkan berat basah tajuk 81,67 g dan 4,78 g. Meskipun vinasse belum difermentasi, kombinasi dengan NPK mampu menekan efek negatif vinasse sehingga pertumbuhan tanaman tetap cukup baik. Perlakuan vinasse yang difermentasi selama 7 hari dan NPK (V7) menunjukkan berat basah tajuk 116,11 g dan akar 6,56 g. Hal ini membuktikan bahwa fermentasi vinasse selama 7 hari dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara, sehingga mendorong pertumbuhan biomassa tanaman lebih optimal. Perlakuan vinasse yang difermentasi selama 14 hari dan NPK (V14) menghasilkan berat basah tajuk dan berat basah akar tertinggi (119,56 g; 5,11 g). Hasil ini menunjukkan bahwa fermentasi vinasse selama 14 hari lebih optimal dibanding fermentasi 7 hari, karena proses dekomposisi lebih sempurna sehingga menghasilkan unsur hara yang lebih tersedia dan aman bagi tanaman.

Secara keseluruhan, perlakuan vinasse yang difermentasi 14 hari dan NPK (V14) memberikan hasil terbaik terhadap berat basah tajuk tanaman pakcoy, sedangkan berat basah akar tertinggi diperoleh pada perlakuan vinasse yang difermentasi 7 hari dan NPK (V7). Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi pupuk NPK dengan vinasse fermentasi, terutama 14 hari, sangat efektif meningkatkan pertumbuhan dan hasil biomassa pakcoy dibandingkan perlakuan lainnya. Cahyono *et al.*, (2014) menyatakan bahwa jumlah daun berkaitan dengan intensitas fotosintesis yang menentukan produktivitas tanaman. Jumlah daun dan berat segar tajuk tanaman pakcoy tertinggi terdapat pada pemberian vinasse yang difermentasi 14 hari dan NPK (V14).

Berat basah tajuk dan akar tanaman pakcoy yang diberi vinasse tanpa fermentasi dan tanpa NPK (V) memiliki hasil paling rendah kemungkinan disebabkan karena defisiensi unsur hara. Tanaman akan tumbuh dengan baik dan mencapai produksi tinggi jika unsur hara yang diperlukan tersedia dalam jumlah yang cukup dan seimbang di tanah, khususnya unsur N, P dan K yang merupakan hara makro penting. Kekurangan salah satu dari unsur hara ini dapat memengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman (Oktabriana, 2017).

Vinasse yang difermentasi mengandung mikroorganisme dari EM4 sehingga diduga ketika diaplikasikan ke tanah, jumlah mikroba tanah menjadi bertambah. Hal ini sesuai dengan pernyataan Suripto (2024) yang menyebutkan bahwa pupuk organik mempengaruhi kesuburan tanah, meningkatkan penyerapan air dan menambah populasi mikroba tanah. Romadhon *et al.*, (2023) juga menambahkan peran pupuk organik dalam menjaga kesehatan tanah, meningkatkan kandungan hara dan mendorong aktivitas mikroba tanah. Dekomposisi bahan organik akan menghasilkan unsur hara tersedia di dalam tanah yang menjadi sumber energi bagi mikroba tanah dalam beraktivitas (Mangungsong *et al.*, 2019). Ketika vinasse yang difermentasi 7 dan 14 hari diaplikasikan ke tanaman pakcoy di sekitar perakaran, diduga mikroba yang ada di dalam vinasse yang difermentasi bersinergi bersama dengan mikroba tanah dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman pakcoy. Sinergi antar mikroba ini diduga menghasilkan enzim/metabolit yang dapat mengubah ekosistem tanah.

Tabel 8. Berat Basah Tajuk dan Akar Tanaman Pakcoy Saat Panen

Perlakuan	Berat basah tajuk (g)	Berat basah akar (g)
K	97,56 a	5,67 a
KN	19,82 b	1,69 b
V	3,06 b	0,31 b
VK	81,67 a	4,78 a
V7	116,11 a	6,56 a
V14	119,56 a	5,11 a
BNT	50,99	2,39

Keterangan : angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berbeda tidak nyata pada uji lanjut BNT 5%.

Menurut Moridi *et al.*, (2021) aplikasi pupuk organik menyediakan media yang cocok untuk menstimulasi aktivitas mikroba sehingga biomassa mikroba bertambah. Selain itu, bertambahnya bahan organik di dalam tanah mengakibatkan peningkatan aktivitas dan populasi mikroorganisme sehingga dapat meningkatkan aktivitas enzimatis tanah. Mikroba berperan dalam meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman (Kalay *et al.*, 2019). Sehingga diduga bahwa vinasse tanpa fermentasi tidak mudah diserap oleh tanaman, sehingga ketersediaan unsur hara untuk kebutuhan tanaman tidak tercukupi dan menyebabkan penurunan jumlah mikroba di tanah. Hal ini yang menyebabkan pertumbuhan dan produktivitas pakcoy terhambat dengan aplikasi vinasse tanpa fermentasi.

Hasil analisis keragaman dari seluruh hasil pengukuran menunjukkan vinasse yang difermentasi baik 7 hari maupun 14 hari yang dikombinasikan dengan NPK memberikan pengaruh nyata terhadap tinggi tanaman, jumlah daun, panjang daun, lebar daun, berat basah tajuk, berat basah akar dibandingkan dengan vinasse tanpa fermentasi dan tanpa NPK. Dukungan pupuk NPK berperan penting dalam meningkatkan unsur hara pada media tanam dan efektif dalam mendorong pertumbuhan tanaman pakcoy secara optimal.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa proses fermentasi memberikan pengaruh signifikan terhadap perubahan kandungan vinasse, khususnya terhadap kadar C-organik dan total gula, namun tidak berpengaruh terhadap kandungan N total, P_2O_5 dan K_2O . Lama fermentasi tidak menunjukkan perbedaan nyata terhadap hasil pengukuran kandungan vinasse, sehingga baik fermentasi selama 7 hari maupun 14 hari memiliki efektivitas yang relatif sama. Kombinasi antara vinasse yang telah difermentasi (baik 7 hari maupun 14 hari) dengan pupuk NPK terbukti memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman pakcoy, meliputi peningkatan tinggi tanaman, jumlah daun, panjang dan lebar daun, serta berat basah tajuk dan akar, dibandingkan dengan perlakuan tanpa fermentasi dan tanpa NPK. Aplikasi vinasse hasil fermentasi mampu memacu pertumbuhan tanaman pakcoy, sedangkan penggunaan vinasse tanpa fermentasi tidak direkomendasikan karena berpotensi menghambat pertumbuhan tanaman. Hal ini menunjukkan bahwa proses fermentasi berperan penting dalam menurunkan senyawa toksik dan meningkatkan ketersediaan unsur hara organik. Selain itu, media tanam yang tidak memperoleh suplai NPK menunjukkan pertumbuhan tanaman yang tidak optimal dengan gejala defisiensi hara yang jelas. Oleh karena itu, kombinasi antara vinasse fermentasi sebagai sumber bahan organik dan pupuk NPK sebagai sumber hara makro anorganik diperlukan untuk mencapai pertumbuhan tanaman yang optimal.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Andriyanto, A., Budiarti, R. S., & Subagyo, A. (2019). Pengaruh penggunaan *Effective Microorganism 4* (EM4) pada budidaya jamur merang (*Volvariella volvaceae*) menggunakan media tandan kosong kelapa sawit. *Jurnal Biologi Universitas Andalas*, 7(1), 59–68. <https://doi.org/10.25077/jbioua.7.1.59-68.2019>
- Anindyawati, N., Kasih, N. N. A., & Novianto, E. D. (2023). Pengaruh pemberian limbah baglog jamur tiram pada pertumbuhan dan hasil tanaman caisim (*Brassica juncea* L.). *Biocelbes*, 17(1), 15–26.
- Anjani, B. P. T., Santoso, B. B., & Sumarjan. (2022). Pertumbuhan dan hasil sawi pakcoy (*Brassica rapa* L.) sistem tanam wadah pada berbagai dosis pupuk kascing. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agrokomplek*, 1(1), 1–9. <https://doi.org/10.29303/jima.v1i1.1091>

- Astuti, W., & Mahatmanti, W. (2017). Pembuatan pupuk fermentasi cair berbasis limbah vinasse. *Rekayasa: Jurnal Penerapan Teknologi dan Pembelajaran*, 15(1), 55–58.
- Banowati, G. (2017). Studi potensi kompos vinasse sebagai pupuk dan aplikasinya pada bibit kakao (*Theobroma cacao* L.). *Agrivet: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian dan Peternakan*, 23(2), 59–67.
- Cahyono, E. A., Ardian, & Silvina, F. (2014). Pengaruh pemberian beberapa dosis pupuk NPK terhadap pertumbuhan berbagai sumber tunas tanaman nanas (*Ananas comosus* (L.) Merr.) yang ditanam antara tanaman sawit belum menghasilkan di lahan gambut. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Pertanian*, 1(2), 1–13.
- Damayanti, N. S., Widjajanto, D. W., & Sutarno. (2019). Pertumbuhan dan produksi tanaman sawi pakcoy (*Brassica rapa* L.) akibat dibudidayakan pada berbagai media tanam dan dosis pupuk organik. *Journal of Agro Complex*, 3(3), 142–150. <https://doi.org/10.14710/joac.3.3.142-150>
- Fahrudin, F., & Sulfahri, S. (2019). Pengaruh molase dan bioaktivator EM4 terhadap kadar gula pada fermentasi pupuk organik cair. *Bioma: Jurnal Biologi Makassar*, 4(2), 138–144. <https://doi.org/10.20956/bioma.v4i2.6905>
- Fathini, D. N., Waluyo, S., & Handayani, S. (2014). Pengaruh masa inkubasi vinasse dan takaran pupuk kalium terhadap pertumbuhan dan hasil cabai merah (*Capsicum annum* L.). *Vegetalika*, 3(2), 13–24. <https://doi.org/10.22146/veg.5148>
- Hidayat, T., & Yuliani, N. (2017). Effect of fermentation duration and EM4 concentration on the quality of liquid organic fertilizer from vinasse. *Agritech*, 37(4), 412–419.
- Isroi, I. (2011). Effective microorganisms in organic waste decomposition. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 12(2), 99–106.
- Juhriah, J., Suhadiyah, S., Muhtadin, M., & Lestari, D. (2018). Pemanfaatan pupuk organik cair (POC) pada budidaya tanaman kol bunga *Brassica oleracea* var. *botrytis* L. subvar. *cauliflora* DC. *Bioma: Jurnal Biologi Makassar*, 3(1), 35–47. <https://doi.org/10.20956/bioma.v3i1.5492>
- Kalay, A. M., Sesa, A., Siregar, A., & Talahaturuson, A. (2019). Efek aplikasi pupuk hayati terhadap populasi mikroba dan ketersediaan unsur hara makro pada tanah entisol. *Agrologia*, 8(2), 63–70. <https://doi.org/10.30598/a.v8i2.1011>
- Ma'rufah, S., Rusdiana, R. Y., & Sari, V. K. (2020). Pemanfaatan vinasse sebagai pupuk organik cair untuk meningkatkan pertumbuhan dan hasil bunga kol (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.). *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 20(1), 18–24. <https://doi.org/10.25181/jppt.v20i1.1552>
- Maghfiroh, C. N., Muhartini, S., & Rogomulyo, R. (2016). Pengaruh takaran dan jenis pupuk hayati terhadap pertumbuhan dan hasil sawi hijau (*Brassica rapa* L.) pada sistem pertanian organik. *Vegetalika*, 5(4), 15–24.
- Mangungsong, A., Soemarsono, & Zudri, F. (2019). Pemanfaatan mikroba tanah dalam pembuatan pupuk organik serta peranannya terhadap tanah aluvial dan pertumbuhan bibit tanaman kakao. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 47(3), 318–325. <https://doi.org/10.24831/jai.v47i3.24721>
- Maulinda, L., & Jalaluddin. (2012). Pemanfaatan abu jerami padi sebagai pembuatan pupuk kalium. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 1(1), 12–22. <https://doi.org/10.29103/jtku.v1i1.33>
- Missdiani, Lusmaniar, & Wahyuni, A. U. (2020). Pengaruh pemberian pupuk organik cair dan dosis pupuk NPK terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman pakcoy (*Brassica rapa* L.) di polybag. *Jurnal Ilmu Pertanian Agronitas*, 2(1), 19–33.
- Moridi, A., Zarei, M., Moosavi, A. A., & Ronaghi, A. (2021). Effect of liquid organic fertilizers and soil moisture status on some biological and physical properties of soil. *Polish Journal of Soil Science*, 54(1), 41–58. <https://doi.org/10.17951/pjss.2021.54.1.41-58>
- Nurdiana, N., & Herlina, E. (2020). Effect of EM4 addition on vinasse fermentation process for liquid fertilizer production. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 21(3), 201–209.
- Nurjasmi, R. (2016). Karakteristik kompos asal berbagai jenis limbah organik dengan penambahan beberapa macam bioaktivator. *Jurnal Ilmiah Respati Pertanian*, 2(9), 618–625.

- Oktabriana, G. (2017). Upaya dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman sawi hijau (*Brassica juncea* L.) dengan pemberian pupuk organik cair. *Agrifo: Jurnal Agribisnis Universitas Malikussaleh*, 2(1), 12–18.
- Pradiksa, O. I., Setyati, W. A., & Widianingsih. (2022). Pengaruh bioaktivator EM4 terhadap proses degradasi pupuk organik cair serasah *Cymodocea serrulata*. *Journal of Marine Research*, 11(2), 136–144. <https://doi.org/10.14710/jmr.v11i2.33771>
- Prasetyo, D., & Evizal, R. (2021). Pembuatan dan upaya peningkatan kualitas pupuk organik cair. *Jurnal Agrotropika*, 20(2), 68–80. <https://doi.org/10.23960/ja.v20i2.5054>
- Putra, A. H., Mindari, W., & Purwadi. (2023). Karakteristik pupuk organik cair berbasis limbah vinasse melalui teknologi aktivasi. *Agrocentrum*, 1(2), 71–77. <https://doi.org/10.33005/agrocentrum.v1i2.13>
- Rahmawati, T. I., Asriany, A., & Hasan, S. (2020). Kandungan kalium dan rasio C/N pupuk organik cair (POC) berbahan daun-daunan dan urine kambing dengan penambahan bioaktivator ragi tape (*Saccharomyces cerevisiae*). *Buletin Nutrisi dan Makanan Ternak*, 14(2), 50–60.
- Respatie, D. W., Rohman, M. S., Widiyanto, D., & Widada, J. (2020). Pengaruh kombinasi pupuk anorganik dan vinase diperkaya mikrobial terhadap pertumbuhan dan hasil jagung (*Zea mays* L.). *Vegetalika*, 9(4), 547–561. <https://doi.org/10.22146/veg.60497>
- Romadhon, M. R., Mujiyo, M., Suntoro, S., Dewi, W. S., Syamsiyah, J., Rahayu, R., Widijanto, H., Herdiansyah, G., Herawati, A., Anggita, A., Hasanah, K., Hardian, T., Istiqomah, N. M., & Irmawati, V. (2023). Assessing the quality of organic fertilizer products made from cow dung in Wonogiri Regency, Indonesia. *Agroindustrial Journal*, 10(2), 65–74. <https://doi.org/10.22146/aij.v10i2.90130>
- Santoso, B., Laili, S., & Rahayu, T. (2019). Pengaruh air lindi dan bio slurry sebagai pupuk organik cair terhadap pertumbuhan tanaman mentimun (*Cucumis sativus* L.). *Jurnal Sains Alami (Known Nature)*, 1(2), 7–12. <https://doi.org/10.33474/j.sa.v1i2.2194>
- Sihabuddin, S., & Rasmito, A. (2022). Pengaruh lama fermentasi limbah cair tahu pada kadar kalium (K). *Jurnal Reaksi (Journal of Science and Technology)*, 20(1). <https://doi.org/10.30811/jstr.v20i01.2990>
- Suripto, N., Hidayati, N., & Ashiddiqi, M. A. (2024). Techniques for manufacture and utilizing liquid organic fertilizer (LOF) in student field work practices at the Gemilang Indah Tunas Utama Institute East Lombok. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 7(2), 611–617.
- Tanti, N., Nurjannah, N., & Kalla, R. (2019). Pembuatan pupuk organik cair dengan cara aerob. *ILTEK: Jurnal Teknologi*, 14(2), 2053–2058. <https://doi.org/10.47398/iltek.v14i2.415>
- Umami, M., Waluyo, S., Muhartini, S., & Rogomulyo, R. (2014). Pengaruh residu pemberian vinasse dan pupuk kalium terhadap pertumbuhan dan hasil kangkung darat (*Ipomoea reptans* Poir.). *Vegetalika*, 3(1), 12–21. <https://doi.org/10.22146/veg.4011>
- Vyatrissa, B., Muhartini, S., & Waluyo, S. (2017). Pengaruh vinase dan macam pupuk organik terhadap pertumbuhan dan hasil pak choi (*Brassica rapa* subsp. *chinensis* (L.) Hanelt). *Vegetalika*, 6(1), 12–21. <https://doi.org/10.22146/veg.25884>
- Wijaksono, R. A., Subiantoro, R., & Utoyo, B. (2016). Pengaruh lama fermentasi pada kualitas pupuk kandang kambing. *Jurnal Agro Industri Perkebunan*, 4(2), 88–96.