

Pemanfaatan Kascing Berbasis Kearifan Lokal untuk Meningkatkan Kualitas Pupuk Organik

Maroeto¹, Rossyda Priyadarshini², Dewi Puspa Arum³, Agung Winarno⁴, Ken Bening Jiwa Jeni⁵

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Indonesia^{1,2,3,5}

Universitas Negeri Malang, Indonesia⁴

{maroeto@upnjatim.ac.id¹, rossyda_p@upnjatim.ac.id²,
dewiarum.agrotek@upnjatim.ac.id³, agung.winarno.fe@um.ac.id⁴,
Ken.beningjj321@gmail.com⁵}

Submission: 2025-11-24

Received: 2025-12-29

Published: 2025-12-30

Keywords: Agriculture; Organic Fertilizer; Local Wisdom; Kascing; Wonosalam Jombang.

Abstract. This community service program was implemented at the Sabilus Salam Sharia Cooperative, Notorejo Hamlet, Wonosalam District, Jombang Regency, East Java. It involved 25 farmers and 10 cooperative members, and was facilitated by a service team consisting of four lecturers and one master's (S2) student. The uniqueness of this program lies in the utilization of kascing (earthworm castings) based on the local wisdom of Wonosalam, integrated with the use of local organic waste and the strengthening of cooperative institutions through a Participatory Action Research (PAR) approach. This distinguishes the program from conventional organic fertilizer training, which is typically one-directional. The objective of the activity was to enhance farmers' capacity to produce and apply both liquid and solid organic fertilizers based on kascing, in order to reduce dependence on chemical fertilizers and improve soil quality. The methods employed included socialization, participatory training, field assistance, and experimental demonstration plots. Standardized laboratory test results indicated an increase in soil pH from 3.25 to 5.42, organic carbon (C-organic) from 0.23% to 0.53%, as well as improvements in the levels of nitrogen, phosphorus, and potassium. Post-training evaluation showed that 84% of participants understood the stages of kascing fertilizer production, and 72% had applied it on their respective farms. Overall, the program proved effective in measurably improving soil quality and strengthening the independence of farmers and the cooperative in developing sustainable agriculture based on local resources.

Katakunci:
Pertanian; Pupuk Organik; Kearifan Lokal; Kascing; Wonosalam Jombang.

Abstrak. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dilaksanakan di Koperasi Syariah Sabilus Salam, Dusun Notorejo, Kecamatan Wonosalam, Kabupaten Jombang, Jawa Timur, dengan melibatkan 25 petani dan 10 anggota koperasi, serta didampingi oleh tim pengabdian yang terdiri dari 4 dosen dan 1 mahasiswa S2. Keunikan program ini terletak pada pemanfaatan kascing (kotoran cacing tanah) berbasis kearifan lokal Wonosalam yang diintegrasikan dengan pemanfaatan limbah organik lokal dan penguatan

kelembagaan koperasi melalui pendekatan participatory action research (PAR), sehingga berbeda dari pelatihan pupuk organik konvensional yang bersifat satu arah. Tujuan kegiatan adalah meningkatkan kapasitas petani dalam memproduksi dan mengaplikasikan pupuk organik cair dan padat berbasis kasring guna mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia dan memperbaiki kualitas tanah. Metode meliputi sosialisasi, pelatihan partisipatif, pendampingan lapangan, dan demplot uji coba. Hasil uji laboratorium terstandar menunjukkan peningkatan pH tanah dari 3,25 menjadi 5,42, C-organik dari 0,23% menjadi 0,53%, serta peningkatan unsur hara nitrogen, fosfor, dan kalium. Evaluasi pascapelatihan menunjukkan 84% peserta memahami tahapan produksi pupuk kasring dan 72% menerapkannya di lahan masing-masing. Kegiatan ini terbukti meningkatkan kualitas tanah secara terukur dan memperkuat kemandirian petani serta koperasi dalam mengembangkan pertanian berkelanjutan berbasis sumber daya lokal.

1 Pendahuluan

Kecamatan Wonosalam merupakan salah satu wilayah agraris di Kabupaten Jombang, Provinsi Jawa Timur yang secara geografis terletak di lereng Pegunungan Arjuno–Welirang pada ketinggian 300–800 mdpl. Kondisi agroklimat dataran tinggi ini menjadikan Wonosalam sebagai sentra pertanian hortikultura dan perkebunan, dengan komoditas utama berupa kopi, vanili, serta sayuran dataran tinggi. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kabupaten Jombang (2024), sekitar 63% penduduk Wonosalam menggantungkan mata pencarian pada sektor pertanian, menunjukkan tingginya ketergantungan ekonomi masyarakat terhadap keberlanjutan sistem produksi pertanian lokal.

Meskipun memiliki kondisi tanah yang relatif subur dan iklim yang stabil, petani Wonosalam menghadapi persoalan struktural berupa peningkatan biaya produksi yang signifikan, khususnya pada komponen input pupuk. Data BPS Jombang (2024) menunjukkan bahwa pengeluaran petani untuk pupuk meningkat setiap tahun, seiring dengan kenaikan harga pupuk kimia non-subsidi dan keterbatasan kuota pupuk bersubsidi. Dalam praktik lapangan, kenaikan harga pupuk urea dan NPK non-subsidi menyebabkan petani mengurangi dosis pemupukan hingga di bawah rekomendasi teknis atau menunda aplikasi pupuk. Indikasi konkret dari kondisi ini terlihat pada stagnasi bahkan penurunan

produktivitas beberapa komoditas hortikultura, serta meningkatnya keluhan petani terkait menurunnya kesuburan tanah dan kualitas hasil panen. Fluktuasi harga pupuk yang tidak diimbangi dengan kenaikan harga jual hasil pertanian semakin memperlemah posisi ekonomi petani dan meningkatkan kerentanan usaha tani.

Dari sisi ekologis, ketergantungan jangka panjang terhadap pupuk kimia sintetis telah terbukti berdampak negatif terhadap kualitas tanah. Penggunaan pupuk kimia secara terus-menerus tanpa imbalan bahan organik menyebabkan penurunan kandungan bahan organik tanah, peningkatan keasaman (pH), serta penurunan aktivitas dan keanekaragaman mikroorganisme tanah yang berperan penting dalam siklus hara (Bai et al., 2020). Kondisi ini berpotensi menciptakan vicious cycle, di mana penurunan kesuburan tanah mendorong penggunaan pupuk kimia yang semakin tinggi, sehingga memperbesar biaya produksi dan mempercepat degradasi lahan.

Ironisnya, di tengah permasalahan tersebut, Wonosalam memiliki potensi sumber daya lokal yang melimpah namun belum dimanfaatkan secara optimal, yaitu kascing (kotoran cacing tanah) yang dihasilkan dari aktivitas peternakan dan budidaya cacing tanah skala rumah tangga. Secara ilmiah, kascing memiliki kandungan unsur hara makro dan mikro yang esensial bagi pertumbuhan tanaman, antara lain nitrogen (N) sebesar 1,2–2,5%, fosfor (P) 0,9–1,7%, dan kalium (K) 1,5–2,5%, serta kaya akan asam humat, enzim, dan hormon pertumbuhan alami yang mampu memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah (Oyege & Bhaskar, 2023; Badagliacca et. al., 2024).

Namun, hasil observasi awal menunjukkan bahwa sebagian besar kascing masih diaplikasikan secara langsung tanpa pengolahan yang tepat, digunakan dalam jumlah terbatas, atau bahkan belum dimanfaatkan sama sekali akibat rendahnya literasi teknis, keterbatasan pengetahuan pascapanen, serta belum adanya model kelembagaan produksi pupuk organik berbasis kascing yang berkelanjutan. Kesenjangan antara potensi sumber daya lokal dan praktik pemanfaatan inilah yang menjadi practice gap utama dan landasan dilaksanakannya kegiatan pengabdian ini.

Permasalahan yang dihadapi petani Wonosalam tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga sosial-ekologis, khususnya rendahnya literasi ekologis. Literasi ekologis dalam konteks ini merujuk pada kemampuan petani memahami keterkaitan antara praktik budidaya, karakteristik tanah lereng pegunungan, keseimbangan unsur hara, serta peran bahan organik dalam menjaga keberlanjutan agroekosistem. Rendahnya literasi tersebut tercermin dari pola penggunaan pupuk kimia sebagai solusi instan tanpa mempertimbangkan dampak jangka panjang terhadap fungsi tanah sebagai sistem hidup. Padahal, pendekatan pertanian berkelanjutan menuntut adanya keseimbangan antara produktivitas dan pelestarian lingkungan (Badagliacca et al., 2024).

Kegiatan pengabdian ini dirancang dengan pendekatan green economy, yaitu konsep pembangunan ekonomi yang menekankan efisiensi sumber daya, rendah emisi, serta pemanfaatan potensi lokal secara berkelanjutan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat tanpa merusak lingkungan. Dalam konteks Wonosalam, green economy diwujudkan melalui pemanfaatan kascing sebagai pupuk organik berbasis sumber daya lokal, yang tidak hanya menekan biaya produksi, tetapi juga mengurangi ketergantungan pada input eksternal berbasis kimia. Dengan pendekatan ini, pertanian tidak hanya dipandang sebagai aktivitas produksi, tetapi juga sebagai bagian dari sistem ekonomi lokal yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Kebaruan (novelty) dari pengabdian ini terletak pada integrasi antara pendampingan teknis pembuatan pupuk organik padat dan cair berbasis kasping, peningkatan literasi ekologis petani, serta penguatan kelembagaan koperasi sebagai pusat produksi dan distribusi pupuk organik lokal. Berbeda dengan kegiatan pengabdian yang bersifat sporadis atau hanya berfokus pada transfer teknologi, program ini menempatkan koperasi sebagai hub keberlanjutan, sehingga praktik pemupukan organik tidak berhenti pada level individu, tetapi terinstitusionalisasi dalam sistem kolektif petani.

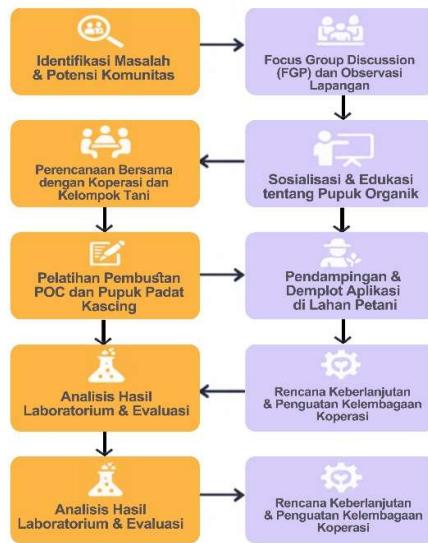
Pemilihan lokasi pengabdian di Kecamatan Wonosalam didasarkan pada tiga pertimbangan utama: (1) tingginya ketergantungan masyarakat terhadap sektor pertanian (63% penduduk), (2) ketersediaan kasping yang melimpah namun belum dimanfaatkan optimal, dan (3)

keberadaan Koperasi Syariah Sabilus Salam di Dusun Notorejo, Desa Wonosalam, yang memiliki kesiapan kelembagaan dan peran aktif dalam pemberdayaan petani. Pemilihan objek pengabdian berupa petani anggota koperasi dinilai strategis karena mereka merupakan pelaku utama sistem produksi pertanian lokal, sehingga perubahan pola pemupukan pada kelompok ini akan memberikan dampak langsung terhadap kualitas lahan, efisiensi biaya produksi, dan keberlanjutan usaha tani.

Secara ekonomi, pemanfaatan kascing sebagai pupuk organik berpotensi menekan biaya produksi hingga sekitar 30% serta meningkatkan efisiensi penggunaan input lahan (Toor et al., 2024). Dalam jangka panjang, kegiatan ini diharapkan mampu mendorong kemandirian petani, mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia dan pupuk bersubsidi, serta membentuk model pertanian berkelanjutan berbasis sumber daya lokal yang dapat direplikasi di wilayah lain di Jawa Timur. Dengan demikian, kegiatan pengabdian ini berkontribusi langsung terhadap pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs), khususnya tujuan 2 (Zero Hunger) dan tujuan 8 (Decent Work and Economic Growth).

2 Metode

Program Pengabdian Kepada Masyarakat (PKM-IMRIS) ini dirancang dan dilaksanakan menggunakan pendekatan community-based participatory action yang secara konseptual selaras dengan kerangka Participatory Action Research (PAR). Pendekatan ini menempatkan masyarakat sebagai subjek utama sekaligus mitra aktif dalam seluruh tahapan kegiatan, mulai dari identifikasi masalah, perencanaan, aksi, observasi, hingga refleksi dan perencanaan keberlanjutan. Adapun alur pelaksanaan pengabdian sebagaimana gambar dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Kegiatan Pengabdian Masyarakat

Subjek pengabdian adalah para petani dan anggota Koperasi Wonosalam, Kecamatan Wonosalam, Kabupaten Jombang, Provinsi Jawa Timur. Komunitas ini dipilih karena memiliki potensi sumber daya lokal berupa limbah organik dan kascing hasil budidaya cacing tanah yang relatif melimpah, namun belum didukung oleh kemampuan teknis, ekologis, dan manajerial yang memadai dalam mengolahnya menjadi pupuk organik cair dan padat yang berkualitas serta bernilai ekonomi. Selain itu, komunitas ini masih menghadapi permasalahan ketergantungan terhadap pupuk kimia, keterbatasan akses pupuk bersubsidi, serta indikasi penurunan kualitas tanah, sehingga relevan untuk dilakukan pengabdian berbasis PAR.

a. Perencanaan dan Pengorganisasian Komunitas

Tahap perencanaan dan pengorganisasian merupakan fase awal dalam siklus PAR yang berfokus pada identifikasi masalah dan perencanaan partisipatif. Proses ini dilakukan secara kolaboratif melalui beberapa kali pertemuan antara tim pengabdian, pengurus koperasi, dan perwakilan kelompok tani. Pada tahap awal, dilakukan analisis situasi untuk mengidentifikasi permasalahan utama yang dihadapi petani, khususnya terkait pola pemupukan, kondisi kesuburan tanah, tingginya ketergantungan terhadap pupuk kimia, serta rendahnya pemanfaatan kascing sebagai sumber pupuk organik.

Kegiatan perencanaan dan pengorganisasian komunitas dideskripsikan dalam Gambar 1.



Gambar 2. Kegiatan perencanaan dan pengorganisasian komunitas

Identifikasi masalah dan potensi difasilitasi melalui focus group discussion (FGD), wawancara terbuka, dan observasi lapangan, sehingga permasalahan yang dirumuskan benar-benar berasal dari pengalaman empiris dan kebutuhan riil masyarakat. Hasil tahap ini digunakan untuk memetakan kebutuhan pelatihan, menentukan jenis pupuk organik (cair dan padat) yang akan dikembangkan, serta menyusun strategi pelaksanaan kegiatan yang sesuai dengan konteks sosial, budaya, dan ekonomi masyarakat Wonosalam.

Dalam proses pengorganisasian komunitas, Koperasi Syariah Sabilus Salam berperan sebagai mediator dan pusat koordinasi kegiatan, yang menjembatani komunikasi antara tim pengabdian dan kelompok petani. Para petani dilibatkan secara aktif dalam pengambilan keputusan mengenai waktu pelaksanaan, pembagian peran, pemilihan bahan baku lokal, serta penentuan lokasi demplot uji coba pupuk organik kasring. Pendekatan ini bertujuan membangun rasa memiliki (sense of belonging), memperkuat kapasitas kolektif masyarakat, serta menyiapkan kelembagaan koperasi agar mampu melanjutkan dan mengembangkan kegiatan secara mandiri setelah program pengabdian berakhir.

b. Metode dan Strategi Pelaksanaan

Pelaksanaan kegiatan pengabdian dilakukan secara bertahap dan terintegrasi mengikuti siklus PAR, sebagaimana dirangkum dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Tahapan Participatory Action Research (PAR) dalam Kegiatan Pengabdian

Tahap PAR	Kegiatan	Uraian Singkat	Peran Masyarakat
Aksi	Sosialisasi dan edukasi	Pengenalan manfaat organik dan negatif penggunaan pupuk kimia berlebihan terhadap kesuburan tanah dan lingkungan	Mengikuti diskusi, menyampaikan pengalaman dan permasalahan lapangan
Aksi	Pelatihan teknis	Praktik pembuatan pupuk organik cair dan padat berbasis kascing menggunakan bahan lokal (daun lamtoro, air kelapa, <i>Streptomyces</i>)	Terlibat langsung dalam proses produksi pupuk
Aksi–Observasi	Demplot dan pendampingan	Aplikasi pupuk kascing di lahan mitra dan pengamatan awal perubahan tanah dan tanaman	Menerapkan pupuk dan mengamati respons tanaman
Observasi	Monitoring dan evaluasi	Pengukuran pH tanah, C-organik, serta unsur hara N, P, dan K	Membantu pencatatan hasil dan diskusi evaluatif

Refleksi	Evaluasi dan keberlanjutan	Refleksi bersama dan penyusunan rencana tindakan lanjut koperasi	Memberi umpan balik dan menyusun rencana keberlanjutan
-----------------	----------------------------	--	--

Pendekatan ini mengintegrasikan transfer teknologi, pendampingan sosial, dan pemberdayaan ekonomi, sehingga hasil pengabdian tidak hanya bersifat aplikatif, tetapi juga mendorong perubahan perilaku masyarakat dalam pengelolaan sumber daya lokal secara berkelanjutan. Metode dan strategi pelaksanaan kegiatan pengabdian masyarakat dideskripsikan dalam Gambar 2. Selanjutnya, diagram alir keseluruhan kegiatan pengabdian masyarakat disajikan pada Gambar 3.



Gambar3. Metode dan strategi pelaksanaan pengabdian masyarakat

c. Keterlibatan Subjek dan Dampak Proses

Keterlibatan subjek pengabdian bersifat aktif dan berkelanjutan sejak tahap identifikasi masalah hingga refleksi akhir kegiatan. Sebanyak 25 petani dan 10 anggota koperasi terlibat langsung dalam proses pelatihan, pendampingan, serta pengelolaan demplot pupuk organik kascing. Selama pelaksanaan kegiatan, dilakukan observasi bersama terhadap perubahan kondisi tanah, respons tanaman, serta

dinamika sosial ekonomi petani setelah penerapan pupuk organik. Keterlibatan subjek tampak dalam Gambar 4.



Gambar 4. Keterlibatan subjek

Hasil evaluasi menunjukkan dampak yang signifikan. Secara kualitatif, terjadi peningkatan pemahaman peserta terhadap prinsip pertanian organik sebesar 82%. Secara kuantitatif, hasil uji laboratorium memperlihatkan peningkatan pH tanah dari 3,2 menjadi 5,4 serta kenaikan kandungan C-organik hingga 0,53% setelah aplikasi pupuk kasning. Hasil observasi dan evaluasi ini direfleksikan bersama masyarakat melalui diskusi kelompok untuk menilai keberhasilan, kendala, serta peluang pengembangan kegiatan sebagai dasar penyusunan rencana tindak lanjut dalam siklus PAR berikutnya.

Dengan pendekatan ini, komunitas dampingan tidak hanya menjadi penerima manfaat, tetapi bertransformasi menjadi aktor utama perubahan sosial dan ekologis di wilayah Wonosalam, dengan koperasi sebagai pusat keberlanjutan praktik pertanian ramah lingkungan berbasis sumber daya lokal.

3 Hasil

Kegiatan pengabdian diawali dengan sosialisasi dan edukasi lingkungan kepada masyarakat mengenai dampak negatif penggunaan pupuk kimia secara berlebihan serta potensi kasning sebagai alternatif pupuk organik berbasis sumber daya lokal. Kegiatan ini dihadiri oleh 42 peserta, dan respons peserta diukur melalui tingkat kehadiran lanjutan dan partisipasi aktif, yang ditunjukkan oleh meningkatnya jumlah petani

yang mendaftar dan mengikuti sesi pelatihan teknis pada tahap berikutnya. Meskipun demikian, pada tahap awal ditemukan adanya resistensi dari sebagian petani yang masih meragukan efektivitas pupuk organik dibandingkan pupuk kimia, terutama terkait kecepatan respons tanaman. Dinamika ini menjadi bahan refleksi awal yang kemudian direspon melalui pendekatan praktik langsung dan demplot lapangan.

Tahap selanjutnya adalah pelatihan pembuatan pupuk organik cair dan pupuk padat berbasis kasing yang difasilitasi oleh tim dosen dan mahasiswa. Peserta dibagi ke dalam lima kelompok kerja, masing-masing bertanggung jawab memproduksi pupuk secara mandiri dengan memanfaatkan bahan lokal seperti daun lamtoro, air kelapa, dan buah busuk. Bioaktivator *Streptomyces* dipilih karena kemampuannya menghasilkan enzim selulase dan lignase yang efektif dalam mempercepat dekomposisi bahan organik serta meningkatkan ketersediaan unsur hara, sehingga dinilai lebih stabil dan adaptif terhadap kondisi tanah dibandingkan bioaktivator komersial seperti EM4. Dalam proses ini, peserta tidak hanya mempraktikkan pembuatan pupuk, tetapi juga memahami prinsip fermentasi dan proses biokimia dekomposisi bahan organik.

Setelah tahap produksi, dilakukan pendampingan teknis melalui demplot lapangan pada lahan pertanian milik anggota koperasi. Aplikasi pupuk kasing diuji pada tanaman cabai dan sawi selama empat minggu, dengan pengamatan mingguan terhadap pH tanah, kandungan C-organik, serta unsur hara N, P, dan K. Untuk memperkuat validitas hasil, pengamatan dilakukan dengan membandingkan lahan perlakuan pupuk kasing dan lahan kontrol yang tidak diberi pupuk kasing. Seluruh data hasil pengamatan dicatat dan dianalisis secara deskriptif berdasarkan hasil uji laboratorium terstandar.

Hasil Analisis Laboratorium

Hasil pengukuran menunjukkan adanya peningkatan signifikan terhadap beberapa parameter kesuburan tanah setelah aplikasi pupuk kasing. Data disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Descriptive Statistics-Perubahan Kandungan Tanah
Setelah Aplikasi POC Kascing

Paramete r	Mingg u ke-0	Mingg u ke-2	Mingg u ke-3	Mingg u ke-4	Rata- rata (Mean)	Std. Deviatio n
pH Tanah	3.25	4.58	5.09	5.42	4.58	0.87
C-Organik (%)	0.23	0.41	0.48	0.53	0.41	0.13
N-Total (%)	0.01	0.05	0.06	0.07	0.05	0.03
P-Total (%)	0.02	0.04	0.045	0.04	0.036	0.01
K-Total (%)	0.02	0.09	0.12	0.13	0.09	0.05

*Sumber: Hasil uji laboratorium Tanah dan Pupuk, Fakultas
Pertanian UPN "Veteran" Jawa Timur, 2025.*

Hasil uji laboratorium menunjukkan adanya peningkatan bertahap pada seluruh parameter kesuburan tanah setelah aplikasi pupuk kascing selama empat minggu pengamatan. Pada kondisi awal (minggu ke-0), pH tanah berada pada nilai 3,25 yang tergolong sangat asam. Setelah dua minggu aplikasi pupuk kascing, pH tanah meningkat menjadi 4,58 dan terus mengalami kenaikan hingga mencapai 5,42 pada minggu ke-4. Peningkatan ini menunjukkan peran kascing sebagai amelioran alami yang mampu menurunkan tingkat keasaman tanah secara bertahap, sehingga menciptakan kondisi yang lebih mendukung bagi pertumbuhan tanaman dan aktivitas mikroorganisme tanah.

Kandungan C-organik tanah juga mengalami peningkatan yang konsisten, dari 0,23% pada awal pengamatan menjadi 0,53% pada minggu ke-4. Kenaikan ini mengindikasikan bertambahnya bahan organik tanah yang berfungsi memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas menahan air, serta memperkuat aktivitas mikroba tanah. Nilai rata-rata C-organik sebesar 0,41% dengan deviasi standar 0,13 menunjukkan bahwa peningkatan terjadi relatif merata selama periode pengamatan.

Unsur hara makro nitrogen total (N-total) menunjukkan kenaikan dari 0,01% menjadi 0,07% dalam empat minggu. Pola kenaikan yang bertahap ini mencerminkan mekanisme pelepasan hara secara perlahan (*slow release*) dari pupuk kascing, yang lebih stabil dibandingkan pupuk kimia. Kandungan fosfor total (P-total) dan kalium total (K-total) juga mengalami peningkatan meskipun dengan fluktuasi yang relatif kecil. Fosfor meningkat dari 0,02% menjadi 0,04–0,045%, sedangkan kalium menunjukkan kenaikan yang lebih tajam dari 0,02% menjadi 0,13%. Peningkatan kedua unsur ini berperan penting dalam mendukung perkembangan perakaran, metabolisme tanaman, dan ketahanan terhadap cekaman lingkungan.

Secara keseluruhan, hasil uji laboratorium ini menunjukkan bahwa aplikasi pupuk kascing memberikan dampak positif terhadap perbaikan sifat kimia tanah dalam waktu relatif singkat, yang ditandai oleh peningkatan pH tanah, kandungan bahan organik, serta ketersediaan unsur hara makro utama. Temuan ini memperkuat potensi kascing sebagai alternatif pupuk organik yang efektif untuk mendukung sistem pertanian berkelanjutan.

Penjelasan Hasil

Tabel 1 menunjukkan bahwa selama empat minggu pengamatan, terjadi peningkatan pH tanah dari kondisi sangat asam (3,25) menjadi agak asam (5,42). Peningkatan ini mengindikasikan fungsi kascing sebagai amelioran alami yang mampu menetralkan keasaman tanah. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Barrow & Hartemink (2023) yang menyebutkan bahwa kandungan kalsium dan asam humat dalam pupuk organik berperan penting dalam meningkatkan pH tanah.

Kandungan C-organik meningkat dua kali lipat dari 0,23% menjadi 0,53%. Peningkatan ini memperbaiki agregasi tanah, meningkatkan aktivitas mikroba, dan memperbesar kapasitas tukar kation (CEC). Sementara nitrogen total mengalami kenaikan dari 0,01% menjadi 0,07%, menunjukkan adanya proses mineralisasi yang berkelanjutan dan pelepasan unsur hara secara lambat (*slow release*). Unsur fosfor dan kalium juga meningkat signifikan, yang berperan dalam pembentukan akar dan ketahanan tanaman terhadap cekaman lingkungan.

Selain data kuantitatif, evaluasi lapangan menunjukkan bahwa 84% peserta mengaku memahami teknik pembuatan pupuk organik secara benar setelah mengikuti pelatihan, dan 72% telah menerapkan pupuk kascing di lahan masing-masing dalam waktu satu bulan setelah kegiatan berakhir. Petani juga melaporkan penurunan penggunaan pupuk kimia sebesar 40% serta penghematan biaya produksi rata-rata Rp 350.000 per musim tanam.

Perubahan Sosial dan Ekologis

Proses pendampingan selama program ini memunculkan berbagai perubahan sosial yang positif di tingkat komunitas. Pertama, terbentuk Kelompok Kerja Organik Wonosalam (Pokja Organik) di bawah naungan Koperasi Syariah Sabilus Salam sebagai wadah kolaborasi antara petani dan pengurus koperasi dalam memproduksi pupuk kascing secara berkelanjutan. Kelompok ini menjalankan jadwal produksi mingguan dengan sistem bagi hasil sederhana, di mana hasil penjualan pupuk dibagi antara kelompok produksi dan koperasi sesuai kontribusi bahan baku dan tenaga kerja, sehingga mendorong partisipasi aktif serta rasa kepemilikan bersama.

Kedua, muncul pemimpin lokal (*local leader*) di antara anggota koperasi yang berperan sebagai fasilitator lapangan pada setiap tahap pelatihan dan pendampingan. Keberadaan pemimpin lokal ini memperkuat komunikasi antarpetani, mempermudah transfer pengetahuan teknis, serta mempercepat adopsi inovasi di tingkat komunitas. Ketiga, terjadi perubahan perilaku yang nyata terkait kesadaran ekologis, yang ditunjukkan oleh kebiasaan baru masyarakat dalam mengumpulkan dan memanfaatkan limbah organik rumah tangga dan ternak untuk bahan baku pupuk, menggantikan praktik sebelumnya yang membuang atau membakarnya.

Perubahan kelembagaan dan perilaku ini menjadi indikator transformasi sosial menuju sistem pertanian berkelanjutan berbasis kearifan lokal. Melalui proses belajar bersama dan praktik langsung, petani tidak hanya memperoleh keterampilan teknis, tetapi juga menginternalisasi nilai keberlanjutan, kerja kolektif, dan kemandirian dalam pengelolaan sumber daya lokal.

Dampak Ekonomi dan Keberlanjutan

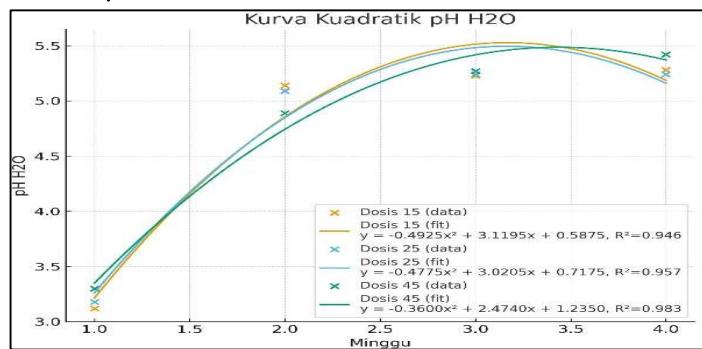
Secara ekonomi, koperasi telah berhasil memproduksi rata-rata 120 liter pupuk organik cair dan 80 kg pupuk padat setiap minggu setelah program berjalan selama tiga bulan. Produk tersebut digunakan sebagian untuk kebutuhan internal dan sebagian dijual dengan harga Rp 8.000 per liter, menghasilkan pendapatan tambahan bagi koperasi. Kegiatan ini telah menjadi model wirausaha sosial pertanian yang berorientasi pada lingkungan dan kesejahteraan masyarakat.

Untuk memastikan keberlanjutan, tim pengabdian membantu koperasi menyusun rencana bisnis sederhana dan panduan teknis produksi, serta menjalin kemitraan dengan Dinas Pertanian Kabupaten Jombang untuk mendukung sertifikasi produk organik. Dengan demikian, program ini tidak berhenti pada transfer pengetahuan, tetapi berlanjut menjadi model ekonomi sirkular berbasis masyarakat.

4 Pembahasan

Pengamatan laboratorium terhadap sampel tanah setelah aplikasi pupuk organik berbasis kascing memberikan gambaran yang jelas mengenai perubahan sifat kimia tanah dari minggu pertama hingga minggu keempat. Data yang diperoleh kemudian divisualisasikan melalui grafik kuadratik, sehingga pola dinamika unsur hara dapat dilihat secara lebih komprehensif. Hasil tersebut, tidak hanya menunjukkan respon tanah terhadap aplikasi kascing, tetapi juga memberikan bukti empiris atas relevansi program pengabdian yang dirancang dalam proposal PKM-IMRIS.

Perubahan pH Tanah



Gambar 5. Grafik Kuadratik Analisa pH POC

Hasil analisis laboratorium menunjukkan bahwa tanah percobaan pada awal pengamatan memiliki tingkat keasaman yang sangat tinggi (pH 3,12–3,30), sehingga secara agronomis dikategorikan sebagai tanah sangat asam. Kondisi tanah dengan pH rendah seperti ini biasanya menimbulkan berbagai permasalahan bagi kesuburan tanah maupun pertumbuhan tanaman. Dari sisi ketersediaan hara, keasaman yang ekstrem dapat menyebabkan terjadinya ikatan fosfor dengan aluminium dan besi, sehingga fosfor yang tersedia bagi tanaman menjadi sangat terbatas. Selain itu, unsur hara basa seperti kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) mudah tercuci dan jumlahnya menurun drastis. Kekurangan unsur-unsur ini dapat menghambat perkembangan akar, memperlambat pembelahan sel, dan mengganggu proses fisiologis tanaman (Barrow & Hartemink, 2023).

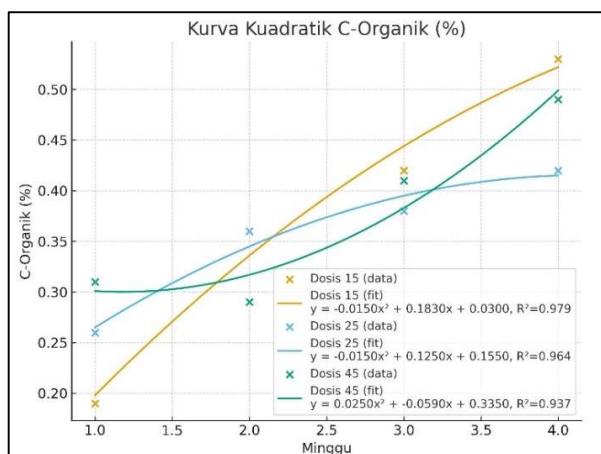
Di sisi lain menurut pendapat Wang et al., (2015) tanah yang sangat asam mendorong peningkatan kelarutan logam beracun, terutama aluminium (Al) dan mangan (Mn). Konsentrasi aluminium yang tinggi dapat meracuni akar tanaman, menghambat pemanjangan akar, serta menyebabkan sistem perakaran menjadi pendek dan bercabang tidak normal. Hal ini berdampak langsung pada kemampuan tanaman menyerap air dan unsur hara. Demikian pula, kadar mangan yang berlebihan dapat menyebabkan klorosis dan nekrosis pada daun, sehingga menurunkan laju fotosintesis dan produktivitas tanaman.

Selain berpengaruh terhadap tanaman, kondisi keasaman tanah yang tinggi juga berdampak pada aktivitas biologi tanah. Mikroba-mikroba yang bermanfaat, seperti bakteri penambat nitrogen atau pelarut fosfat, cenderung terhambat pertumbuhannya pada kondisi pH sangat rendah. Akibatnya, proses dekomposisi bahan organik melambat, ketersediaan hara yang dihasilkan dari mineralisasi menurun, dan siklus hara tanah menjadi terganggu. Secara keseluruhan, kombinasi dari faktor-faktor tersebut menjadikan tanah sangat asam kurang mendukung bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman tanpa adanya tindakan ameliorasi, misalnya melalui pengapuran atau pemberian bahan organik yang mampu menetralkan keasaman tanah (Etesami, 2025).

Setelah diberikan aplikasi pupuk organik berbasis kascing, terjadi peningkatan pH secara signifikan hingga mencapai kisaran 5,09–5,42 pada minggu kedua hingga minggu keempat. Walaupun kondisi tersebut masih termasuk agak asam, tren kenaikan menunjukkan perbaikan gradual menuju kondisi lebih netral. Pola kuadratik yang terbentuk menggambarkan bahwa respons perbaikan berlangsung bertahap dan relatif stabil. Peran amelioratif kascing dapat dikaitkan dengan kandungan kalsium, magnesium, serta fraksi organik aktif (asam humat dan fulvat) yang mampu meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) serta menetralkan keasaman tanah (Zhang et al., 2023).

Peningkatan pH juga menegaskan fungsi ganda kascing, tidak hanya sebagai sumber hara tetapi juga sebagai pemberah tanah yang mendukung keberlanjutan produktivitas jangka panjang (Mulatu & Bayata, 2024). Transformasi sifat kimia tanah ini konsisten dengan arah pembangunan pertanian berkelanjutan, di mana kesehatan tanah menjadi fondasi dalam menghadapi degradasi lahan dan ketidakpastian iklim.

Kadar C-Organik



Gambar 6. Grafik Kuadratik hasil Analisa C-Organik POC

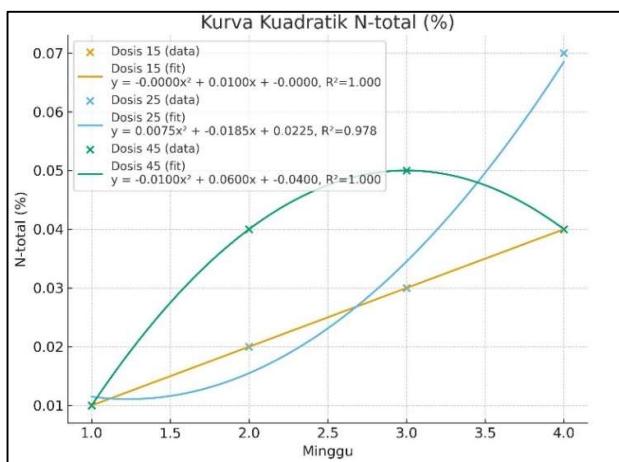
Karbon organik tanah menunjukkan tren kenaikan yang konsisten, dari kisaran awal 0,19–0,31 menjadi 0,42–0,53 pada minggu keempat. Peningkatan ini merefleksikan kontribusi nyata dari pemberian kascing yang tidak hanya menyuplai bahan organik segar, tetapi juga memperkaya tanah dengan fraksi organik yang lebih stabil. Proses ini

berhubungan erat dengan restorasi kesuburan kimia tanah, di mana kandungan C-organik yang lebih tinggi berfungsi memperbaiki agregasi partikel tanah, meningkatkan kapasitas tanah dalam menahan air dan unsur hara, serta menciptakan habitat yang lebih kondusif bagi kehidupan mikroorganisme tanah (Uddin et al., 2025). Tanah dengan kadar C-Organik yang rendah cenderung miskin hara dan rentan terhadap degradasi fisik maupun biologis (Derpsch et al., 2024).

Bentuk grafik kuadratik yang teramat memperlihatkan bahwa respons optimal terjadi pada dosis 15 dan 45, yang menandakan adanya titik efisiensi pemanfaatan kascing. Fenomena ini sering ditemukan pada hubungan dosis-respons, di mana pada dosis tertentu peningkatan kadar C-organik berjalan signifikan, tetapi cenderung menurun pada dosis berlebih akibat keterbatasan ruang pori tanah serta berkurangnya aktivitas mikroba dekomposer. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa aplikasi kascing tidak sekadar memberikan efek jangka pendek, melainkan juga meninggalkan residu organik yang relatif stabil sehingga berpotensi menjaga keberlanjutan kesuburan tanah dalam jangka panjang (Goswami et al., 2017).

Lebih jauh, pemanfaatan kascing memiliki dimensi ekologis dan ekonomis. Dari perspektif ekologi, kascing berperan dalam menutup siklus hara dan meningkatkan kualitas lingkungan dengan menurunkan ketergantungan pada input anorganik. Dari perspektif ekonomi, pemanfaatan limbah organik sebagai bahan baku kascing sejalan dengan prinsip circular economy, yaitu mendaur ulang residu organik menjadi produk pertanian bernilai tambah. Dengan demikian, penerapan kascing tidak hanya meningkatkan kualitas tanah, tetapi juga mendukung pembangunan sistem pertanian yang lebih berkelanjutan, ramah lingkungan, serta efisien dalam penggunaan sumber daya (Kamar Zaman & Yaacob, 2022).

Kadar N-total



Gambar 7. Grafik Kuadratik hasil Analisa N- Total

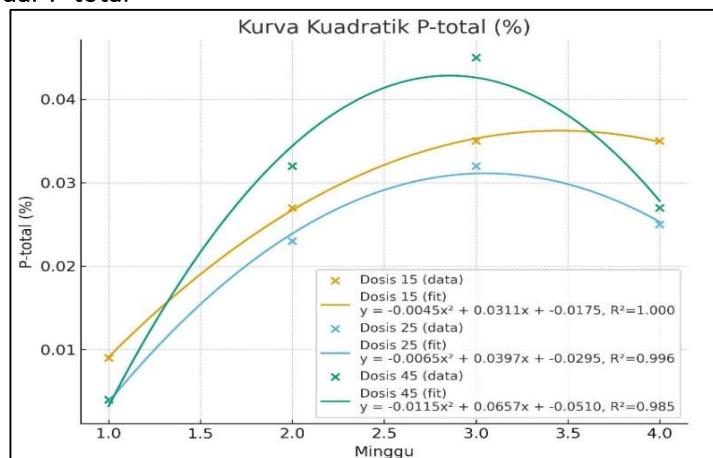
Kandungan nitrogen total mengalami peningkatan signifikan, dari 0,01% pada minggu pertama menjadi 0,07% pada minggu keempat. Walaupun angka tersebut tampak relatif kecil, kenaikan ini sangat bermakna dalam konteks tanah tropis yang pada umumnya miskin nitrogen akibat intensitas pelindian (leaching) yang tinggi dan laju dekomposisi bahan organik yang cepat. Puncak peningkatan terlihat pada minggu ketiga, khususnya pada perlakuan dosis kascing 45. Fenomena ini menggambarkan proses mineralisasi bertahap, yakni transformasi nitrogen organik dari kascing menjadi bentuk anorganik yang tersedia, seperti amonium (NH_4^+) dan nitrat (NO_3^-), yang dapat langsung dimanfaatkan oleh tanaman (Zare & Ronaghi, 2019). Proses ini umumnya berlangsung bertahap dan dipengaruhi oleh faktor biologis, seperti aktivitas mikroorganisme, kelembapan, suhu tanah, dan kualitas bahan organik yang dimineralisasi (Chiriac et al., 2025).

Efek puncak pada minggu ketiga mengindikasikan bahwa pelepasan nitrogen dari kascing tidak bersifat langsung (slow-release), yang justru menjadi keuntungan dari pupuk organik (Kumar et al., 2018). Pola pelepasan nitrogen dari kascing menunjukkan karakteristik slow-release, yang berbeda dengan pupuk anorganik konvensional. Nitrogen yang dilepaskan secara bertahap mampu meminimalkan kehilangan melalui pencucian maupun volatilisasi, dua jalur utama kehilangan nitrogen pada lahan pertanian tropis (Wang J et al., 2024). Mekanisme

ini mendukung prinsip efisiensi pemupukan, sekaligus mengurangi risiko pencemaran lingkungan, misalnya eutrofikasi perairan akibat limpasan nitrogen atau pelepasan gas rumah kaca dari volatilisasi amonia (Badagliacca et al., 2024). Hal ini sangat mendukung prinsip efisiensi pemupukan, sekaligus mengurangi potensi pencemaran lingkungan akibat residu pupuk.

Tren stabilisasi setelah minggu ketiga menunjukkan bahwa sebagian nitrogen telah diambil oleh tanaman dan sebagian lain diserap atau dimanfaatkan oleh mikroba tanah. Hal tersebut penting karena interaksi antara nitrogen mineral dengan mikroorganisme tanah berperan besar dalam menjaga ketersediaan hara jangka panjang (Luo et al., 2023). Dengan demikian, kacung tidak hanya menyediakan pasokan nitrogen instan, tetapi juga menciptakan cadangan nitrogen organik yang dapat terurai secara berkesinambungan. Peran ganda kacung, yakni sebagai penyumbang bahan organik sekaligus penyedia hara makro, menjadikannya kandidat utama dalam sistem pemupukan berkelanjutan. Aplikasinya mendukung integrasi pertanian ramah lingkungan melalui pengurangan ketergantungan pada pupuk kimia sintetis, peningkatan efisiensi pemupukan, serta perbaikan kualitas tanah secara fisik, kimia, dan biologi (Sanchez-Hernandez & Domínguez, 2019). Dengan kata lain, kacung berfungsi tidak hanya sebagai input hara, melainkan juga sebagai agen restorasi ekosistem tanah yang mendukung produktivitas jangka panjang.

Kadar P-total



Gambar 8. Grafik Kuadratik hasil Analisa P-Total

Perubahan kadar P-total memperlihatkan pola kuadratik, dengan peningkatan signifikan pada minggu kedua hingga ketiga, kemudian diikuti sedikit penurunan pada minggu keempat. Nilai tertinggi dicapai pada dosis kascing 45, dengan kadar maksimum sebesar 0,045%. Pola tersebut menegaskan bahwa kascing berkontribusi nyata terhadap peningkatan ketersediaan fosfor dalam jangka pendek, terutama pada dua hingga tiga minggu pertama setelah aplikasi.

Fosfor merupakan unsur hara makro esensial yang sangat menentukan pertumbuhan tanaman, khususnya pada fase pembentukan akar, pembungaan, dan pematangan biji (Malhotra et al., 2018). Pada tanah masam, ketersediaan fosfor umumnya sangat rendah karena terikat oleh ion besi (Fe) dan aluminium (Al) membentuk senyawa tidak larut sehingga sulit diserap tanaman (Johan et al., 2021). Oleh sebab itu, peningkatan ketersediaan fosfor sebagaimana tercermin dari data membuktikan bahwa kascing mampu melepaskan fosfor dari bentuk terfiksasi menjadi bentuk yang tersedia bagi tanaman (Ferron et al., 2025).

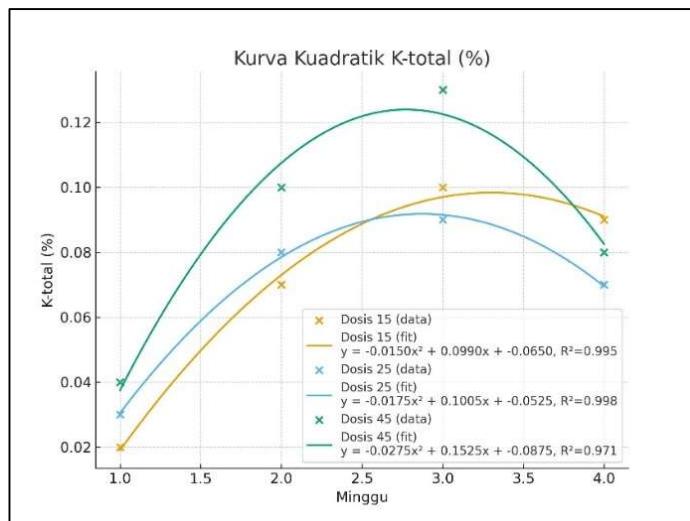
Mekanisme yang mendasari kemungkinan besar dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu (1) Aktivitas mikroorganisme tanah yang terbawa dalam kascing, mampu menghasilkan asam organik serta enzim fosfatase untuk melarutkan fosfat terikat (Sun et al., 2022); dan (2) Kandungan asam humat dan fulvat dalam kascing, yang dapat membentuk kompleks dengan Al dan Fe, sehingga mengurangi tingkat fiksasi fosfor serta meningkatkan kelarutannya di zona perakaran (Jindo et al., 2020).

Penurunan kadar P-total pada minggu keempat menunjukkan bahwa ketersediaan fosfor dari kasding bersifat temporal. Hal ini dapat terjadi karena sebagian fosfor telah dimanfaatkan oleh tanaman dan mikroba tanah, sementara proses re-fiksasi kembali berlangsung setelah pengaruh bahan organik berkurang. Selain itu, pasokan fosfor dari kasding mungkin mulai menipis dan belum diimbangi oleh mineralisasi lanjutan (Vos et al., 2014).

Fakta tersebut menegaskan bahwa meskipun kasding efektif meningkatkan ketersediaan fosfor pada fase awal, aplikasi berulang atau kombinasi dengan bahan lain mungkin diperlukan untuk menjaga ketersediaan fosfor dalam jangka panjang (Nadeem et al., 2022). Temuan

ini sejalan dengan gagasan utama dalam proposal, sebagaimana ditegaskan Destia et al., (2021) bahwa pupuk organik berperan memperkaya unsur hara makro yang terbatas, khususnya fosfor pada tanah masam. Dengan demikian, kascing dapat diposisikan sebagai agen bio-ameliorasi yang tidak hanya memperbaiki sifat kimia tanah, tetapi juga mendukung keberlanjutan sistem pemupukan melalui pemanfaatan sumber daya lokal.

Kadar K-total



Gambar 9. Grafik Kuadratik hasil Analisa K-Total

Kadar kalium menunjukkan peningkatan konsisten sepanjang periode pengamatan. Pada awalnya, kandungan kalium berada pada kisaran relatif rendah, yaitu 0,02–0,04, kemudian terus bertambah hingga mencapai 0,13 pada minggu ketiga. Pola kuadratik yang tergambar memperlihatkan adanya kenaikan tajam pada fase awal, sebelum akhirnya mendekati titik stabil. Perkembangan tersebut erat kaitannya dengan proses dekomposisi kascing yang secara perlahan melepaskan ion kalium ke dalam tanah melalui aktivitas mikroba.

Perlakuan dengan dosis 45 menghasilkan respons paling optimal, menegaskan bahwa semakin besar aplikasi kascing, semakin tinggi pula kontribusinya terhadap ketersediaan kalium di dalam tanah (Degwale et al., 2025). Kondisi tersebut dapat dipahami karena kascing tidak hanya berfungsi sebagai sumber kalium, tetapi juga berperan dalam

memperbaiki struktur fisik tanah, menyeimbangkan sifat kimia, serta meningkatkan aktivitas biologis, sehingga pelepasan dan ketersediaan hara menjadi lebih efisien (Rayne & Aula, 2020).

Peningkatan kadar kalium memberikan implikasi positif terhadap fisiologi tanaman. Unsur ini memiliki peran sentral dalam mekanisme osmoregulasi untuk menjaga keseimbangan air, mengaktifkan berbagai enzim yang berhubungan dengan proses fotosintesis, serta memperlancar translokasi fotosintat dari daun menuju organ penyimpanan dan hasil panen (Hasanuzzaman et al., 2018). Kalium juga diketahui meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman abiotik seperti kekeringan maupun salinitas, memperkuat jaringan tanaman, serta memperbaiki mutu hasil, baik dari sisi bobot, ukuran, maupun kandungan gizi (Bhardwaj et al., 2025).

Selain aspek agronomis ketersediaan kalium yang lebih tinggi turut mempercepat pemulihan kesuburan tanah yang sebelumnya tergolong miskin hara (De Corato et al., 2024). Dalam jangka panjang, kontribusi kascing terhadap kalium dapat meningkatkan efisiensi pemupukan dengan cara mengurangi ketergantungan pada pupuk anorganik berbasis KCl. Pemanfaatan sumber daya lokal tersebut tidak hanya memperkaya cadangan hara, tetapi juga memperkuat sistem pertanian berkelanjutan dengan mengurangi input eksternal yang berbiaya tinggi. Dengan demikian, peningkatan kandungan kalium akibat aplikasi kascing dapat dipandang sebagai faktor kunci yang menghubungkan perbaikan kualitas tanah dengan peningkatan produktivitas dan ketahanan pertanian secara keseluruhan.

5 Kesimpulan

Aplikasi pupuk organik berbasis kascing terbukti mampu memperbaiki sifat kimia tanah melalui peningkatan pH, kandungan C-organik, N-total, P-total, dan K-total secara bertahap dengan pola kuadratik yang mencerminkan respons berkelanjutan. Peran ganda kascing sebagai sumber hara sekaligus pemberah tanah alami menjadikannya solusi efektif dalam memperkaya nutrisi sekaligus memperbaiki kualitas fisik, kimia, dan biologi tanah. Dampak tersebut tidak hanya mendukung produktivitas tanaman dalam jangka pendek,

tetapi juga memperkuat fondasi pertanian berkelanjutan dengan mengurangi ketergantungan pada input sintetis, menekan risiko degradasi lahan, serta meningkatkan resiliensi agroekosistem terhadap tekanan lingkungan dan perubahan iklim.

6 Pengakuan

Ucapan terima kasih disampaikan kepada LPPM UPN Veteran Jawa Timur atas pendanaan hibah internal Tahun 2025 pada skema pengabdian masyarakat PKM-IMRIS yang berjudul "Pemanfaatan Kotoran Cacing (Kascing) Berdasarkan Kearifan Lokal sebagai Alternatif Peningkatan Kualitas Pupuk Organik".

7 Referensi

- Badagliacca, G., Testa, G., La Malfa, S. G., Cafaro, V., Lo Presti, E., & Monti, M. (2024). Organic fertilizers and bio-waste for sustainable soil management to support crops and control greenhouse gas emissions in Mediterranean agroecosystems: A review. *Horticulturae*, 10(5), 427. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10050427>
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Jombang. (2024). *Kecamatan Wonosalam dalam Angka 2024*. Jombang: BPS Statistics of Jombang Regency.
- Bai, Y., Chang, Y., Hussain, M., Lu, B., Zhang, J., Song, X., Lei, X., & Pei, D. (2020). Soil Chemical and Microbiological Properties Are Changed by Long-Term Chemical Fertilizers That Limit Ecosystem Functioning. *Microorganisms*, 8. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8050694>.
- Barrow, N. J., & Hartemink, A. E. (2023). The effects of pH on nutrient availability depend on both soils and plants. *Plant and Soil*, 487(1–2), 21–37. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-06068-7>
- Bhardwaj, S., Kapoor, B., Kapoor, D., Thakur, U., Dolma, Y., & Raza, A.

(2025). Manifold roles of potassium in mediating drought tolerance in plants and its underlying mechanisms. *Plant Science*, 351, 112337. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2024.112337>

Chiriac, O. P., Pittarello, M., Moretti, B., & Zavattaro, L. (2025). Factors influencing nitrogen derived from soil organic matter mineralisation: Results from a long-term experiment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 381(October 2024), 109444. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109444>

De Corato, U., Viola, E., Keswani, C., & Minkina, T. (2024). Impact of the sustainable agricultural practices for governing soil health from the perspective of a rising agri-based circular bioeconomy. *Applied Soil Ecology*, 194(November 2023), 105199. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105199>

Degwale, A., Kebede, G., Woldezelassie, A., & Laekemariam, F. (2025). Combined application of vermicompost and mineral K fertilizer improves root yield of sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] in Southern Ethiopia. *Helixon*, 11(3), e42250. <https://doi.org/10.1016/j.helixon.2025.e42250>

Derpsch, R., Kassam, A., Reicosky, D., Friedrich, T., Calegari, A., Basch, G., Gonzalez-Sanchez, E., & dos Santos, D. R. (2024). Nature's laws of declining soil productivity and conservation agriculture. *Soil Security*, 14(January 2023), 100127. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2024.100127>

Destia, S., Walida, H., Siti, S. H. Y., Novilda, M. E., & Fitra, H. S. (2021). Analysis of the quality of vermicompost from mixed of sawdust, banana stems, manure, and vegetable waste. *Jurnal Agronomi Tanaman Tropika (Juatika)*, 3(2), 128–134. <https://doi.org/10.36378/juatika.v3i2.1397>

Etesami, H. (2025). The dual nature of plant growth-promoting bacteria: Benefits, risks, and pathways to sustainable deployment. *Current Research in Microbial Sciences*, 9, 100421. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2025.100421>

Ferron, L. M. E., Van Groenigen, J. W., Koopmans, G. F., & Vidal, A. (2025).

Can earthworms and root traits improve plant struvite-P uptake? A field mesocosm study. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 377(March 2024), 109255. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109255>

Goswami, L., Nath, A., Sutradhar, S., Bhattacharya, S. S., Kalamdhad, A., Vellingiri, K., & Kim, K.-H. (2017). Application of drum compost and vermicompost to improve soil health, growth, and yield parameters for tomato and cabbage plants. *Journal of Environmental Management*, 200, 243–252. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.073>

Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. H. M. B., Nahar, K., Hossain, M. S., Al Mahmud, J., Hossen, M. S., Masud, A. A. C., Moumita, & Fujita, M. (2018). Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Agronomy*, 8(3), 31. <https://doi.org/10.3390/agronomy8030031>

Jindo, K., Canellas, L. P., Albacete, A., Dos Santos, L. F., Frinhani Rocha, R. L., Baia, D. C., Aguiar Canellas, N. O., Goron, T. L., & Olivares, F. L. (2020). Interaction between humic substances and plant hormones for phosphorous acquisition. *Agronomy*, 10(5), 640. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050640>

Johan, P. D., Ahmed, O. H., Omar, L., & Hasbullah, N. A. (2021). Phosphorus transformation in soils following co-application of charcoal and wood ash. *Agronomy*, 11(10), 2010. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102010>

Kamar Zaman, A. M., & Yaacob, J. S. (2022). Exploring the potential of vermicompost as a sustainable strategy in circular economy: Improving plants' bioactive properties and boosting agricultural yield and quality. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(9), 12948–12964. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18006-z>

Kumar, A., Paul, S. C., Singh, M., Rakshit, R., & Kumar, S. (2018). Effect of vermicompost application on nitrogen transformation in soil. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 31(4), 1–10. <https://doi.org/10.9734/cjast/2018/45988>

- Luo, J., Liao, G., Banerjee, S., Gu, S., Liang, J., Guo, X., Zhao, H., Liang, Y., & Li, T. (2023). Long-term organic fertilization promotes the resilience of soil multifunctionality driven by bacterial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 177, 108922. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108922>
- Malhotra, H., Vandana, Sharma, S., & Pandey, R. (2018). Phosphorus nutrition: Plant growth in response to deficiency and excess. In M. Hasanuzzaman, M. Fujita, H. Oku, K. Nahar, & B. Hawrylak-Nowak (Eds.), *Plant nutrients and abiotic stress tolerance* (pp. 171–190). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-9044-8_7
- Mulatu, G., & Bayata, A. (2024). Vermicompost as organic amendment: Effects on soil physical, biological properties and crops performance on acidic soil: A review. *Frontiers in Environmental Microbiology*, 10(4), 66–73. <https://doi.org/10.11648/j.fem.20241004.11>
- Nadeem, M., Wu, J., Ghaffari, H., Kedir, A. J., Saleem, S., Mollier, A., Singh, J., & Cheema, M. (2022). Understanding the adaptive mechanisms of plants to enhance phosphorus use efficiency on podzolic soils in boreal agroecosystems. *Frontiers in Plant Science*, 13(March), 804058. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.804058>
- Oyege, I., & Bhaskar, M. S. (2023). Effects of vermicompost on soil and plant health and promoting sustainable agriculture. *Soil Systems*, 7(4), 10101. <https://doi.org/10.3390/soilsystems7040101>
- Rayne, N., & Aula, L. (2020). Livestock manure and the impacts on soil health: A review. *Soil Systems*, 4(4), 64. <https://doi.org/10.3390/soilsystems4040064>
- Sanchez-Hernandez, J. C., & Domínguez, J. (2019). Dual role of vermicomposting in relation to environmental pollution. In *Bioremediation of agricultural soils* (pp. 273–298). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315205137-11>
- Sun, H., Wu, Y., Zhou, J., Yu, D., & Chen, Y. (2022). Microorganisms drive stabilization and accumulation of organic phosphorus: An incubation experiment. *Soil Biology and Biochemistry*, 172, 108750. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2022.108750>

- Toor, M. D., Kizilkaya, R., Anwar, A., Koleva, L., & Eldesoky, G. E. (2024). Vermicompost rate effects on soil fertility and morpho-physio-biochemical traits of lettuce. *Horticulturae*, 10(4), 418. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10040418>
- Uddin, M. K., Saha, B. K., Wong, V. N. L., & Patti, A. F. (2025). Organo-mineral fertilizer to sustain soil health and crop yield for reducing environmental impact: A comprehensive review. *European Journal of Agronomy*, 162, 127433. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127433>
- Vos, H. M. J., Ros, M. B. H., Koopmans, G. F., & van Groenigen, J. W. (2014). Do earthworms affect phosphorus availability to grass? A pot experiment. *Soil Biology and Biochemistry*, 79, 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.08.018>
- Wang, J., Qian, R., Li, J., Wei, F., Ma, Z., Gao, S., Sun, X., Zhang, P., Cai, T., Zhao, X., Chen, X., & Ren, X. (2024). Nitrogen reduction enhances crop productivity, decreases soil nitrogen loss and optimizes its balance in wheat–maize cropping area of the Loess Plateau, China. *European Journal of Agronomy*, 161, 127352. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127352>
- Wang, W., Zhao, X. Q., Hu, Z. M., Shao, J. F., Che, J., Chen, R. F., Dong, X. Y., & Shen, R. F. (2015). Aluminium alleviates manganese toxicity to rice by decreasing root symplastic Mn uptake and reducing availability to shoots of Mn stored in roots. *Annals of Botany*, 116(2), 237–246. <https://doi.org/10.1093/aob/mcv090>
- Zare, L., & Ronaghi, A. (2019). Comparison of N mineralization rate and pattern in different manure- and sewage sludge-amended calcareous soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(5), 559–569. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1573247>
- Zhang, M., Liu, Y., Wei, Q., Liu, L., Gu, X., Gou, J., & Wang, M. (2023). Effects of biochar and vermicompost on growth and economic benefits of continuous cropping pepper at karst yellow soil region in Southwest China. *Agronomy*, 13(3), 663. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030663>