



Processing of Livestock Waste into Manure in Mandiro Village, Bondowoso Regency Towards a Healthy Village

Pengolahan Limbah Ternak Menjadi Pupuk Kandang Di Desa Mandiro Kabupaten Bondowoso Menuju Desa Sehat

Syahrul Steven¹, Dina Yusrotul Imamah², Shofiya Amalia², Syarifil Hidayatul Akbar², Catryna Alfaidah², Siti Nurhalisa², Lailah Izza Fakhroh², Kirana³, Dewi Rokhmah*²

¹ Program Studi Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Jember, Jawa Timur, Indonesia

² Program Studi Gizi, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Jember, Jember, Jawa Timur, Indonesia

³ Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jember, Jawa Timur, Indonesia

E-Mail: dewirokhmah@unej.ac.id

Makalah: Diterima 10 Agustus 2024; Diperbaiki 21 April 2025; Disetujui 10 Mei 2025

Corresponding Author: Dewi Rokhmah

Abstrak

Penumpukan limbah kotoran ternak yang tidak terkelola dengan baik di daerah pedesaan menimbulkan ancaman serius terhadap kesehatan lingkungan dan masyarakat, terutama ketika limbah dibuang atau dibakar secara sembarangan. Di Desa Mandiro, Kecamatan Tegalampel, Kabupaten Bondowoso, praktik umum pembuangan dan pembakaran kotoran sapi di pinggir sungai menyebabkan pencemaran tanah dan air, serta pelepasan gas beracun seperti amonia dan hidrogen sulfida. Untuk mengatasi permasalahan ini, Program Penguatan Kapasitas Organisasi Kemahasiswaan (PPK Ormawa) Himpunan Mahasiswa Gizi Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember menyelenggarakan pelatihan dan pendampingan kepada sembilan kader lingkungan. Kegiatan ini menggunakan metode partisipatif dengan menggabungkan materi edukasi melalui leaflet dan demonstrasi langsung teknik fermentasi sederhana menggunakan kotoran sapi, EM4, molase, dan air. Evaluasi dilakukan melalui pre-test dan post-test yang menunjukkan peningkatan pemahaman peserta secara signifikan. Jika sebelumnya hanya 66% hingga 88% peserta menjawab dengan benar pada pre-test, seluruh peserta mencapai 100% jawaban benar dalam post-test. Hasil ini menunjukkan bahwa pendekatan yang menggabungkan teori dan praktik sangat efektif. Lebih dari itu, kegiatan ini berhasil mengubah pandangan masyarakat terhadap limbah ternak dari yang awalnya dianggap sebagai masalah menjadi sumber daya bernilai ekonomis dan pertanian. Program ini membuktikan bahwa pendekatan berbasis masyarakat dapat menjadi solusi praktis dan berkelanjutan, serta direkomendasikan untuk diadopsi sebagai program rutin desa dan didukung melalui kebijakan pengelolaan limbah berbasis potensi lokal.

Kata Kunci: limbah kotoran ternak, pupuk organik, pelatihan masyarakat, kesehatan lingkungan, fermentasi EM4, desa sehat, zero waste

Abstract

The accumulation of unmanaged livestock manure in rural areas poses serious threats to environmental and public health, especially when waste is carelessly disposed of or burned. In Mandiro Village, Tegalampel Subdistrict, Bondowoso Regency, East Java, the common practice of dumping and burning cattle manure along riverbanks has led to soil and water pollution, as well as the release of toxic gases such as ammonia and hydrogen sulfide. To address this issue, the Student Organization Capacity Strengthening Program (PPK Ormawa) of the Nutrition Student Association at the Faculty of Public Health, University of Jember, conducted training and mentoring for nine environmental cadres. This activity employed a participatory method, combining educational materials via leaflets with hands-on demonstrations of simple fermentation techniques using cattle manure, EM4, molasses, and water. Evaluation through pre-tests and post-tests showed a significant increase in participants' understanding. Initially, only 66% to 88% of participants answered the pre-test questions correctly, but all participants achieved 100% correct answers in the post-test. These results

demonstrate the effectiveness of combining theoretical and practical learning approaches. More importantly, the program succeeded in shifting public perception of livestock waste—from being seen as a problem to being recognized as a valuable economic and agricultural resource. This initiative proves that community-based approaches can offer practical and sustainable solutions, and it is recommended that such programs be adopted as part of regular village initiatives and supported through locally driven waste management policies.

Keywords: *livestock manure waste, organic fertilizer, community training, environmental health, EM4 fermentation, healthy village, zero waste*

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara agraris karena memiliki beberapa keunggulan seperti kondisi yang strategis, beriklim tropis yang memiliki intensitas hujan yang relatif tinggi sehingga menyebabkan tanah menjadi subur, dan memiliki ketersediaan air yang melimpah sehingga sebagian besar masyarakat Indonesia menjadikan sektor pertanian dan peternakan sebagai pekerjaan primer [22]. Provinsi Jawa Timur menjadi salah satu provinsi sebagai pusat peternakan di Indonesia khususnya pada komoditas sapi potong. Menurut Badan Pusat Statistik Dinas Peternakan Provinsi Jawa Timur, Jumlah komoditas ternak sapi potong di Jawa Timur pada tahun 2019 tercatat berjumlah 4.705.067 ekor dan meningkat menjadi 4.823.972 ekor pada tahun 2020.

Ternak sapi potong merupakan salah satu komoditas unggul di Indonesia, hal ini disebabkan oleh tingginya jumlah konsumen dan permintaan pasar [6]. Produksi sapi potong menyumbang sekitar 19.8% dari total pendapatan rumah tangga peternak kecil di sekitar hutan jati, menjadikannya strategi penghidupan penting setelah produksi tanaman [23]. Sapi yang dternakkan di Indonesia merupakan sapi lokal dan sapi persilangan yang diimpor dari negara luar. Sapi lokal yang banyak dternakkan adalah jenis sapi bali yang dapat beradaptasi pada iklim tropis dan memiliki kualitas daging yang baik [10]. Sedangkan sapi persilangan yang umum dternakkan di Indonesia antara lain sapi simental dan sapi limosin yang memiliki produksi daging yang tinggi dengan harapan mampu memenuhi permintaan konsumen akan penyediaan daging sapi [13]. Daging yang dihasilkan oleh sapi dapat dimanfaatkan menjadi sumber pangan yang memiliki kandungan protein tinggi dalam berbagai macam produk olahan ternak. Selain daging, Sapi juga memiliki hasil ikutan ternak seperti kulit, tulang, dan kotoran sapi. Kotoran sapi sering digunakan sebagai pupuk organik yang kaya akan nutrisi untuk meningkatkan kesuburan tanah. Penggunaan kotoran sapi sebagai pupuk dapat mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia dan meningkatkan keberlanjutan pertanian [24][25]. Menurut Saputro (2022), sapi dapat menghasilkan 25 kg limbah kotoran ternak serta terdapat 3 problem higienis oleh peliharaan ternak yang dapat mempengaruhi kesehatan manusia, kesehatan lingkungan, dan kesehatan ternak itu sendiri antara lain produksi gas noxious atau gas beracun hasil pembakaran, kontaminasi tanah akibat pencampuran kotoran ternak, dan pencemaran air [18]. Kotoran ternak yang dibakar menghasilkan gas seperti amonia, hidrogen sulfat, karbon dioksida dan metana [26][27]. Gas tersebut berpotensi mengganggu kesehatan lingkungan dan makhluk hidup dikarenakan mengeluarkan bau yang tidak sedap [4]. Gas yang dihasilkan oleh hidrogen sulfida dan amonia jika dihirup secara berlebihan dapat mengganggu kesehatan manusia serta dapat menyebabkan kematian [8]. Asam fosfat, sulfat, dan nitrat dapat mencemari tanah dan air jika tanah tidak mampu lagi menahan kapasitas kotoran ternak yang tercampur pada tanah. Hal tersebut dapat mengakibatkan penurunan kesuburan tanah dengan melarutkan nutrisi penting dari tanah, sehingga dapat menyebabkan degradasi hutan dan penurunan produktivitas tanaman [29][30][31]. Selain itu, pencemaran tanah dapat mengganggu aktivitas enzim dan fungsi metabolik mikroba tanah yang berperan penting dalam siklus nutrisi dan kesuburan tanah [31][32].

Pemanfaatan limbah peternakan sapi merupakan isu penting dalam konteks keberlanjutan lingkungan dan pertanian. Limbah peternakan, terutama dalam bentuk feses sapi, memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi primer, pupuk organik siap pakai, dan bahan baku lainnya [2]. Pengelolaan kotoran yang baik, termasuk pengomposan, dapat mengurangi emisi gas berbahaya. Misalnya, pengomposan dapat mengurangi emisi amonia dan metana [28]. Namun pemanfaatan limbah peternakan masih belum optimal, terutama karena beberapa permasalahan yang menghambat prosesnya. Salah satu permasalahan utama adalah kurangnya kesadaran dan pemahaman akan nilai limbah peternakan [11]. Peningkatan kesadaran para peternak dan petani akan pentingnya pertanian berkelanjutan mampu mendorong minat para pelaku sektor pertanian dan peternakan dalam mengembangkan inovasi dan solusi untuk meningkatkan kualitas kesehatan lingkungan, meningkatkan kualitas peternakan, dan meningkatkan kualitas pertanian di Indonesia. Salah satu solusi yang diterapkan adalah pemanfaatan limbah kotoran ternak menjadi pupuk kandang [19]. Produk pupuk yang berasal dari kotoran ternak dapat menjadi solusi dari penggunaan pupuk kimia yang dapat mempengaruhi kesehatan konsumen dalam jangka panjang [14].

Di Kabupaten Bondowoso, Provinsi Jawa Timur, komoditas ternak sapi pedaging pada tahun 2020 sejumlah 234.300 ekor yang tercatat pada Badan Pusat Statistik Dinas Peternakan Provinsi Jawa Timur. Sebanyak 8.706 ekor ternak sapi potong berada di Kecamatan Tegalampel pada tahun 2018 [3]. Populasi ternak yang tinggi dalam satu kecamatan menyebabkan ternak sapi potong sulit untuk dikelola khususnya pada pengelolaan limbah ternak [7]. Mengingat jumlah populasi ternak dalam satu kecamatan dan jumlah produksi

kotoran ternak sapi dalam sehari, diperoleh hasil perkiraan jumlah kotoran ternak per hari dalam satu Kecamatan Tegalampel sebanyak 43.530 kg kotoran ternak per hari. Menurut hasil observasi di lapangan dan wawancara kepada pemilik ternak oleh Tim PPK Ormawa HIMA Gizi Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Jember (Tim PPK Ormawa HIMA Gizi FKM UNEJ), masyarakat pada umumnya membuang dan membakar limbah kotoran ternak pada pinggir sungai sehingga terjadi penumpukan kotoran. Penumpukan kotoran ternak dapat mencemari lingkungan dan mempengaruhi kesehatan masyarakat [1]

Berdasarkan Permasalahan Tersebut, Tim PPK Ormawa HIMA Gizi FKM UNEJ bekerja sama dengan perangkat desa dalam melaksanakan pelatihan dan pendampingan kepada masyarakat dan kader lingkungan dengan fokus utama upaya peningkatan kesadaran masyarakat tentang pentingnya pengolahan limbah kotoran ternak menjadi pupuk kandang. Pelatihan dan pendampingan pengolahan limbah kotoran ternak ini penting dilaksanakan untuk mencegah pencemaran pada lingkungan Desa Mandiro dan meningkatkan kualitas kesehatan pada masyarakat serta kualitas masyarakat dalam memanfaatkan peluang dalam bentuk pengolahan limbah ternak menjadi pupuk kandang yang dapat dimanfaatkan oleh petani sehingga terbentuknya konsep *zero waste* antara petani dan peternak.

2. Materi dan Metode

Pelatihan pengolahan limbah ternak menjadi pupuk kandang diselenggarakan pada 9 Agustus 2024 di Balai Desa Lama Mandiro, Kecamatan Tegalampel, Kabupaten Bondowoso. Kegiatan ini merupakan bagian dari program PPK Ormawa HIMA Gizi FKM Universitas Jember yang bertujuan untuk memberdayakan masyarakat dalam mengelola limbah ternak secara ramah lingkungan dan ekonomis. Sebanyak sembilan peserta dari kalangan peternak lokal mengikuti kegiatan ini, yang dirancang untuk meningkatkan pengetahuan dan keterampilan mereka dalam memproduksi pupuk kandang secara mandiri. Pelatihan diawali dengan penyampaian materi edukatif menggunakan media leaflet, yang dilanjutkan dengan demonstrasi langsung agar peserta dapat mengamati dan memahami setiap tahapan proses pembuatan pupuk.

Metode pelatihan menggabungkan pendekatan edukatif dan praktik langsung. Penyampaian materi mencakup pentingnya pengelolaan limbah ternak, dampaknya terhadap lingkungan, dan potensi nilai tambahnya sebagai pupuk organik. Setelah itu, dilakukan demonstrasi pembuatan pupuk kandang menggunakan bahan-bahan lokal dan teknik fermentasi sederhana. Proses ini dilakukan secara partisipatif, di mana peserta secara aktif terlibat dalam mencampur bahan, mengamati perubahan tekstur dan warna, serta berdiskusi mengenai hasil akhir yang diharapkan. Metode ini dipilih untuk meningkatkan pemahaman praktis serta memperkuat kemampuan peserta dalam mengaplikasikan teknik tersebut di lingkungan masing-masing. Adapun teknologi pengolahan limbah yang digunakan dalam pelatihan bersifat sederhana dan dapat diakses oleh masyarakat. Bahan utama yang digunakan meliputi kotoran ternak (sapi atau kambing), EM4 (Effective Microorganisms 4), molase (tetes tebu), dan air. Proses dimulai dengan menjemur kotoran ternak selama 2–3 hari untuk menurunkan kadar air dan meminimalkan bau. Selanjutnya, larutan fermentasi dibuat dengan mencampur EM4 dan molase dalam perbandingan 1:2, kemudian dilarutkan ke dalam 10 liter air. Larutan ini disiramkan ke tumpukan kotoran ternak secara merata sambil diaduk, lalu ditutup dan dibiarkan berfermentasi selama 14–21 hari. Selama proses fermentasi, dilakukan pemantauan terhadap bau, warna, dan suhu untuk memastikan hasil akhir berkualitas.

Kegiatan ini dilakukan di Desa Mandiro, Kecamatan Tegalampel, Kabupaten Bondowoso—desa binaan Universitas Jember yang didominasi oleh lahan pertanian dan peternakan. Lokasi ini dipilih karena memiliki potensi besar dalam pengelolaan limbah ternak menjadi produk bernilai ekonomis. Jarak desa dari kampus sekitar 7,3 km dengan waktu tempuh sekitar 15 menit. Proses persiapan kegiatan dimulai sejak Juli 2024, meliputi survei lokasi, pengadaan bahan, dan koordinasi dengan perangkat desa setempat. Metode pelatihan yang diterapkan dirancang agar mudah direplikasi oleh peserta maupun masyarakat lainnya, sehingga diharapkan dapat menciptakan dampak jangka panjang dalam pengelolaan limbah dan peningkatan kesejahteraan petani dan peternak lokal.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Persiapan

Pengajuan Kegiatan dan Diskusi dengan Pihak Desa Mandiro



Gambar 1. Diskusi dengan Perangkat Desa Mandiro Terkait Pelaksanaan Kegiatan

Proses persiapan kegiatan diawali dengan pengajuan perizinan resmi oleh Tim Pelaksana, Tim Ormawa, serta Dosen Pendamping dari PPK Ormawa HIMA Gizi FKM Universitas Jember kepada Perangkat Desa Mandiro. Pengajuan ini mencakup penjelasan mengenai latar belakang, tujuan, manfaat, serta rencana pelaksanaan kegiatan pengolahan limbah kotoran ternak menjadi pupuk kandang. Respon dari Perangkat Desa Mandiro sangat positif dan antusias. Mereka menyambut baik inisiatif ini karena selama ini permasalahan limbah ternak menjadi isu yang belum tertangani dengan maksimal. Banyak limbah kotoran ternak yang menumpuk di sekitar pemukiman warga, khususnya di pinggir sungai, yang kemudian dibakar sehingga menimbulkan bau menyengat serta menghasilkan gas beracun yang berdampak pada kenyamanan dan kesehatan masyarakat. Kegiatan ini diharapkan mampu meningkatkan kesadaran masyarakat mengenai bahaya dari pengelolaan limbah yang tidak tepat, serta memberikan alternatif pemanfaatan limbah menjadi produk bernilai guna tinggi berupa pupuk kandang. Selain itu, kegiatan ini juga bertujuan untuk membangun kolaborasi antara petani dan peternak dalam menciptakan ekosistem pertanian yang berkelanjutan. Setelah perizinan disetujui dari pihak Desa, proses persiapan dilanjutkan dengan pelaksanaan tahap uji coba pembuatan pupuk kandang secara langsung guna memastikan efektivitas metode yang akan digunakan saat pelatihan berlangsung.

Tahap Uji Coba Pembuatan Pupuk Kandang



Gambar 2 Uji Coba Pengolahan Pupuk Kandang

Tahap uji coba pembuatan pupuk kandang dilaksanakan di kandang Program Studi Peternakan UNEJ Kampus Bondowoso. Proses ini bertujuan untuk menghasilkan pupuk kandang berkualitas dari limbah ternak. Bahan-bahan yang digunakan dalam tahap uji coba ini meliputi kotoran ternak dari domba dan kambing, air. Penggunaan EM4 (*Effective Microorganisms*) dan molases untuk menunjang proses pembuatan pupuk [17]. Untuk memulai proses pembuatan pupuk kandang, langkah pertama adalah mengumpulkan kotoran ternak yang sudah kering sebanyak 25 kg. Kotoran ini kemudian ditempatkan di atas banner atau terpal yang telah disiapkan sebelumnya. Pastikan area kerja bersih dan terhindar dari kontaminasi untuk menjaga kualitas pupuk yang dihasilkan. Selanjutnya, tahap pembuatan campuran cairan dilakukan. Ambil 5 liter air bersih dan tuangkan ke dalam wadah yang sesuai. Kemudian, tambahkan 1 tutup botol EM4 dan 2 tutup botol molases ke

dalam air tersebut. EM4 berfungsi untuk mempercepat proses fermentasi, sedangkan molases berperan sebagai sumber makanan bagi mikroorganisme yang ada dalam EM4 [15]. Setelah campuran cairan siap, siramkan larutan tersebut secara merata ke atas kotoran hewan yang telah disiapkan. Pastikan semua kotoran terdistribusi dengan baik agar proses fermentasi dapat berlangsung merata. Setelah itu, aduk campuran tersebut dengan hati-hati untuk memastikan bahwa semua bahan tercampur dengan baik.

Survey Lokasi Pelaksanaan

Sebelum melaksanakan program pelatihan dan pendampingan kepada kader lingkungan Desa Mandiro terkait pengolahan limbah kotoran ternak menjadi pupuk kandang yang telah direncanakan dan disetujui oleh Desa Mandiro, Tim PPK Ormawa HIMA Gizi FKM UNEJ melakukan survei lokasi yang akan digunakan untuk kegiatan nantinya. Berdasarkan pertimbangan dan kesepakatan Tim Pelaksana, Tim Ormawa, dan Dosen Pendamping PPK Ormawa FKM UNEJ, disepakati bahwa kegiatan pelatihan dan pendampingan pengolahan limbah kotoran ternak menjadi pupuk kandang dilaksanakan di Pokso ELANGGHU. Setelah lokasi kegiatan disepakati, dilanjutkan dengan kegiatan implementasi program.

3.2 Tahap Implementasi Program

Kegiatan dilaksanakan di Posko ELANGGHU, Desa Mandiro, Kecamatan Tegalampel, Kabupaten Bondowoso. Kegiatan yang dilaksanakan dihadiri oleh 9 anggota Kader ELANGGHU divisi lingkungan. Kegiatan diawali dengan pembukaan oleh pemateri kemudian melaksanakan pre-test yang berisikan tiga pertanyaan mengenai pengolahan limbah kotoran ternak menjadi pupuk kandang. Pertanyaan pre-test antara lain mengenai jenis sampah atau kotoran yang dijadikan pupuk, manfaat pengolahan limbah kotoran ternak, dan cara pengaplikasian pupuk kandang. Setelah melakukan pre-test, kegiatan dilanjutkan dengan kegiatan demonstrasi pembuatan pupuk kandang menggunakan limbah kotoran ternak. Kegiatan demonstrasi diselingi dengan pemberian materi mengenai pengolahan limbah kotoran ternak. Pada akhir kegiatan, dilaksanakan kegiatan post-test.

Situasi dan kondisi responden selama kegiatan berlangsung sangat mendukung keberhasilan kegiatan ini. Para peserta hadir dalam keadaan sehat dan semangat, serta menunjukkan antusiasme yang tinggi sejak awal hingga akhir sesi. Selama sesi demonstrasi, mereka aktif bertanya, mencatat, dan terlibat langsung dalam praktik pembuatan pupuk kandang. Hal ini menandakan adanya ketertarikan dan kesiapan untuk menerima pengetahuan baru. Beberapa peserta bahkan menyampaikan pengalaman pribadi terkait permasalahan limbah ternak yang selama ini belum tertangani dengan baik. Hasil pre-test menunjukkan bahwa mayoritas peserta belum memahami secara menyeluruh konsep dasar pengolahan limbah kotoran ternak. Banyak jawaban yang masih umum dan belum tepat sasaran. Namun, setelah menerima materi dan menyaksikan langsung proses pembuatan pupuk, hasil post-test menunjukkan peningkatan signifikan. Sebagian besar peserta mampu menjawab dengan lebih rinci dan akurat. Kegiatan ini diharapkan menjadi langkah awal dalam membentuk kebiasaan baru masyarakat dalam mengelola limbah ternak secara bijak, mendorong kader ELANGGHU menjadi agen perubahan di lingkungan sekitar. Sehingga dapat mengubah kebiasaan masyarakat yang semula membuang dan membakar limbah kotoran ternak menjadi lebih peduli terhadap dampak berbahaya limbah tersebut, serta masyarakat mulai mengolah limbah kotoran ternak menjadi pupuk kandang yang bermanfaat bagi sektor pertanian di Desa Mandiro.

3.3 Monitoring dan Evaluasi

Tabel 1. *Pre-test* dan *Post-test*

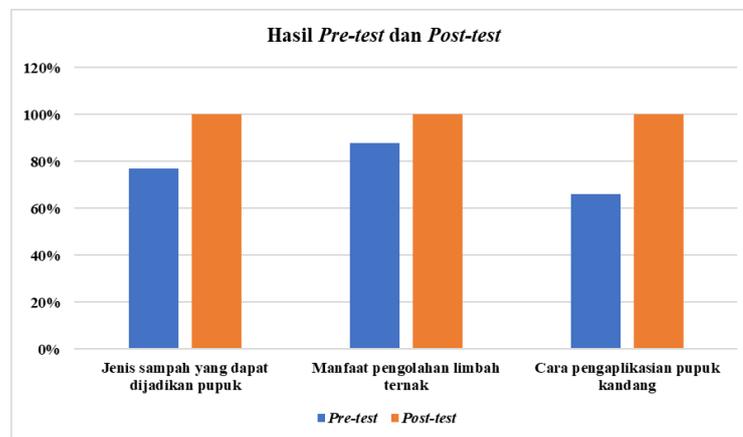
No.	Soal	<i>Pre-test</i> Benar	<i>Pre-test</i> Salah	<i>Post-test</i> Benar	<i>Post-test</i> Salah
1.	Jenis sampah yang dapat dijadikan pupuk	77%	23%	100%	0%
2.	Manfaat pengolahan limbah ternak	88%	12%	100%	0%
3.	Cara pengaplikasian pupuk kandang	66%	34%	100%	0%



Gambar 3 Penyampaian Materi dan Pengerjaan Evaluasi Pembelajaran Mengenai Pupuk Kandang

Saat sebelum pelatihan dan pendampingan kepada masyarakat dan kader lingkungan mengenai pengolahan limbah ternak diberikan *pre-test* yang berisi 3 pertanyaan meliputi Jenis sampah yang dapat dijadikan pupuk, Manfaat pengolahan limbah ternak dan cara pengaplikasian pupuk kandang. Dari hasil *pre-test* didapatkan jawaban benar pada pertanyaan pertama, 7 responden (77%) yang menjawab pertanyaan dengan benar sedangkan 2 responden (23%) memberikan jawaban salah. Kemudian pertanyaan kedua, 8 responden (88%) yang menjawab dengan benar dan 1 responden (12%) yang menjawab dengan salah. Setelah itu pada pertanyaan ketiga terdapat 6 responden (66%) memberikan jawaban yang benar dan 3 (34%) responden menjawab dengan salah. Pengisian *pre-test* bertujuan untuk mengetahui wawasan dan pengetahuan kader lingkungan mengenai pengolahan limbah kotoran ternak menjadi pupuk kandang.

Setelah dilakukan pengisian *pre-test* dilanjutkan pemberian materi mengenai pengolahan limbah kotoran ternak menjadi pupuk kandang yang diselingi dengan demonstrasi. Setelah pemaparan materi dilanjutkan pengisian *post-test* dengan pertanyaan yang sama. Dari pertanyaan pertama yaitu jenis sampah yang dapat dijadikan pupuk, sebanyak 9 responden (100%) yang menjawab dengan benar. Pada pertanyaan kedua mengenai manfaat pengolahan limbah ternak juga terdapat peningkatan pengetahuan responden, sebanyak 9 responden (100%) berhasil menjawab semua pertanyaan dengan benar. Kemudian pada pertanyaan ketiga mengenai cara pengaplikasian pupuk kandang juga terdapat peningkatan pengetahuan responden, sebanyak 9 responden (100%) menjawab pertanyaan dengan benar.



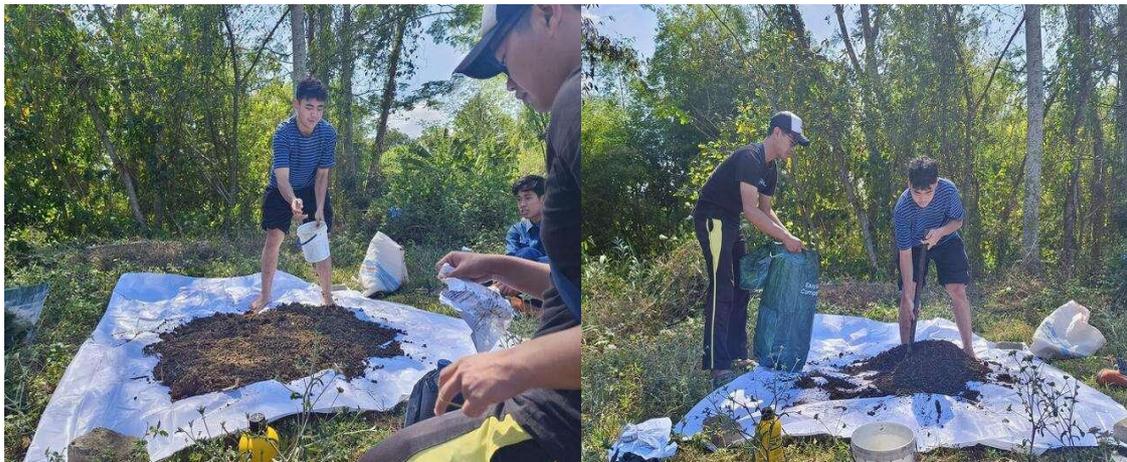
Gambar 4 Grafik Hasil *Pre-test* dan *Post-test*
 Sumber: data primer PPK Ormawa HIMA Gizi 2024

Berdasarkan hasil *pre-test* dan *post-test*, tampak adanya peningkatan pemahaman peserta terhadap materi yang diberikan. Secara keseluruhan, kegiatan pelatihan ini membawa dampak positif yang besar bagi masyarakat dan dapat menjadi langkah awal dalam merumuskan kebijakan di tingkat desa. Hasil *post-test* menunjukkan bahwa metode pelatihan dengan pendekatan demonstrasi efektif dalam menyampaikan informasi kepada masyarakat, khususnya kader lingkungan. Metode yang digunakan langsung dan melibatkan partisipasi aktif peserta terbukti mampu meningkatkan kesadaran serta keterampilan warga dalam mengolah limbah ternak dengan cara yang lebih bijaksana dan berkelanjutan. Dalam praktik di lapangan, kegiatan ini mendorong perubahan cara pandang masyarakat terhadap limbah ternak, dari yang semula dianggap sebagai masalah, menjadi sesuatu yang dapat dimanfaatkan menjadi pupuk organik yang berguna. Keberhasilan pelatihan ini juga bisa dijadikan dasar bagi pemerintah desa untuk menyusun kebijakan atau peraturan desa yang mendukung pengelolaan limbah berbasis masyarakat.

Kegiatan pelatihan ini sangat mungkin dimasukkan ke dalam program rutin desa, terutama dalam mendukung pelestarian lingkungan. Kerja sama antara pemerintah desa, tim pelaksana dari perguruan tinggi, dan warga masyarakat merupakan contoh sinergi yang baik dan bisa diterapkan pada program lain yang mendukung pembangunan dan pemberdayaan masyarakat. Dengan demikian, pelatihan ini bukan hanya menambah pengetahuan peserta, tetapi juga membuka peluang terjadinya perubahan yang lebih besar di masyarakat melalui kebijakan yang mendukung lingkungan. Hasil *pre-test* dan *post-test* juga terlihat bahwa pemahaman responden mengenai pengolahan limbah kotoran ternak menjadi pupuk kandang mengalami peningkatan yang cukup nyata secara deskriptif. Sebagian besar responden memahami dengan baik tentang jenis limbah yang bisa dijadikan pupuk, manfaat dari pengolahan limbah ternak, serta cara penggunaannya. Selain itu, terdapat respon emosional dari responden yang secara langsung mengaitkan materi pelatihan dengan pengalaman pribadi, khususnya terkait dampak negatif dari pembakaran limbah ternak terhadap kesehatan masyarakat di lingkungan sekitar. Pengakuan ini menjadi indikator penting bahwa pelatihan tidak hanya memberikan pemahaman konseptual, tetapi juga membangkitkan kesadaran reflektif dan komitmen perubahan perilaku. Pelaksanaan *pre-test* dan *post-test* dalam pelatihan ini menjadi cara yang efektif untuk menilai peningkatan pemahaman para kader, sehingga diharapkan mereka mampu memanfaatkan limbah kotoran ternak menjadi pupuk kandang yang dapat membantu peningkatan hasil pertanian. Di samping itu, metode *pre-test* dan *post-test* juga merupakan cara yang tepat untuk mengetahui seberapa jauh materi pelatihan dipahami oleh peserta [21].

3.4 Pembahasan

Kegiatan pengolahan limbah kotoran ternak menjadi pupuk kandang dihadiri oleh kader ELANGGHU divisi lingkungan. Kegiatan dilaksanakan pada tanggal 8 Agustus 2024 yang bertempat di Posko ELANGGHU. Secara garis besar, kegiatan sosialisasi ini menjelaskan tentang pentingnya pengolahan limbah kotoran ternak, cara mengolah limbah kotoran ternak, dan dampak yang terjadi jika desa tidak mengelola limbah ternak dengan baik. Kader ELANGGHU Divisi Lingkungan yang hadir mayoritas memiliki ternak sapi di rumahnya. Hal ini mendukung terjadinya penerapan secara langsung kepada masing-masing Kader ELANGGHU Divisi Lingkungan pada setiap ternak yang dimiliki.



Gambar 5 Trial Pembuatan Pupuk Kandang

Sebelum melaksanakan implementasi program, Tim Pelaksana PPK Ormawa HIMA Gizi FKM UNEJ terlebih dahulu melakukan tahap uji coba program secara mandiri. Kegiatan uji coba pembuatan pupuk kandang dilakukan di Kandang Program Studi Peternakan UNEJ Kampus Bondowoso. Kegiatan uji coba penting untuk dilakukan untuk memaksimalkan materi dan demonstrasi ketika program pengolahan limbah kotoran ternak menjadi pupuk kandang dilaksanakan. Dalam tahap uji coba, pengolahan limbah ternak menggunakan bahan baku utama yaitu kotoran ternak domba dan kambing namun dalam tahap implementasi program bahan utama yang digunakan adalah kotoran ternak sapi. Terdapat perbedaan bahan baku berpengaruh terhadap kandungan pada pupuk kandang.

Tabel 2 Perbandingan Kualitas Pupuk Kotoran Sapi dan Kambing dengan Baku Mutu SNI 19-7030-2004

No	Parameter	Kotoran		SNI 19-7030-2004	
		Sapi	Kambing	Minimum	Maksimum
1	C - Organik	14,78%	23,19%	9,80%	32%
2	Nitrogen	1,53%	1,99%	0,40%	-
3	Fosfor	1,18%	1,35%	0,10%	-
4	Kalium	1,30%	1,82%	0,20%	-
5	Rasio C/N	14,32	13,38	10	20
6	Kadar Air	28,73%	34,41%	-	50

Sumber: Analisa Novitasari, D., & Caroline, J. (2021)

Kandungan Unsur Organik yang terkandung pada kotoran ternak mampu menunjang produktivitas tanaman [20]. Kotoran sapi banyak mengandung serat seperti selulosa dan memiliki rasio C/N yang tinggi. Kandungan C yang tinggi ini menghambat pertumbuhan tanaman utama sehingga mencegah pemanfaatan langsungnya di lahan pertanian. Penghambatan pertumbuhan ini disebabkan oleh kekurangan nitrogen pada tanaman karena mikroorganisme menggunakan nitrogen yang tersedia untuk menguraikan bahan organik. Kotoran sapi dapat lebih cepat dikomposkan menjadi pupuk dengan rasio C/N kurang dari 20 [12]. Selain itu, penggunaan kotoran sapi secara langsung menyebabkan proses pengomposan memakan waktu dan tenaga lebih lama karena pelepasan amonia yang terus menerus. Sedangkan kotoran kambing berbentuk butiran dan sangat sulit terurai. Oleh karena itu, kotoran kambing sebaiknya dibuat kompos dengan rasio C/N 30 hingga 20 (atau kurang). Penggunaan kotoran kambing secara langsung akan memberikan hasil yang maksimal pada musim tanam kedua [9]. Kemudian kadar air pada kotoran kambing akan lebih rendah dibandingkan dengan kotoran sapi. Kandungan nutrisi kotoran kambing relatif tinggi kandungan kalium dibandingkan pupuk lainnya, serta kandungan unsur hara N dan P hampir sama dengan pupuk lainnya. Namun setelah melakukan survey lapangan, didapati fakta bahwa masyarakat Desa Mandiro mayoritas hanya memiliki ternak sapi sehingga bahan baku yang digunakan pada saat implementasi adalah kotoran ternak sapi.



Gambar 6 Demonstrasi Pembuatan Pupuk Kandang kepada Kader Lingkungan

Pada kegiatan implementasi program, diawali dengan pengerjaan *pre-test* sebanyak tiga soal yang dikerjakan dengan baik dan mendekati nilai sempurna dikarenakan mayoritas kader sudah memahami pentingnya pengolahan limbah ternak sebelumnya namun tidak merealisasikannya. Pada pemahaman jenis sampah yang dapat dijadikan pupuk kandang, persentase kader menjawab benar sebanyak 77% dan menjawab salah sebesar 23%. Soal kedua manfaat pengolahan limbah ternak, persentase kader menjawab benar sebesar 88% dan salah sebesar 12%. Pada soal pengamplifikasian pupuk kandang, persentase kader menjawab benar sebesar 66% dan salah sebesar 34%. Dari hasil *pre-test* yang dilakukan, kader sudah memiliki pemahaman mengenai pengolahan limbah ternak menjadi pupuk kandang namun pemahaman yang dimiliki belum mendalam. Soal *pre-test* nomor tiga memiliki persentase terendah dengan jumlah benar sebesar 66% menandakan bahwa pemahaman materi yang dipunyai oleh kader tidak diimplementasikan di kehidupan sehari-hari. Pemberian materi dan demonstrasi pembuatan pupuk dilaksanakan secara bersama-sama dengan tujuan pemberian materi tidak hanya terfokus dengan penalaran dan pemahaman namun perlu adanya materi visual sehingga Kader ELANGGHU memiliki gambaran mengenai pengolahan limbah ternak menjadi pupuk

kandang. Cara penyampaian materi secara audio visual diharapkan dapat menunjang pemahaman para kader. Kegiatan diakhiri dengan pengerjaan *post-test* dengan soal yang tidak berbeda. Dari hasil pengerjaan *post-test* didapatkan hasil yang sempurna kepada seluruh responden atau Kader ELANGGHU sebesar 100% benar di setiap soal yang menandakan bahwa seluruh kader memahami secara keseluruhan materi yang disampaikan serta didemonstrasikan oleh Tim Pelaksana PPK Ormawa HIMA Gizi FKM UNEJ. Beberapa kader sangat antusias dan ikut serta dalam membantu pemateri dalam mendemonstrasikan langkah-langkah pembuatan pupuk kandang. Pada wawancara pribadi dari salah satu tim pelaksana kepada seorang kader ELANGGHU, beliau memberikan pernyataan bahwa kegiatan yang dilakukan sangat bagus dan bermanfaat jika direalisasikan oleh masyarakat Desa Mandiro.

Meskipun kegiatan pengolahan limbah kotoran ternak menjadi pupuk kandang menunjukkan hasil yang positif dalam hal peningkatan pengetahuan kader ELANGGHU, diskusi ini perlu dikaitkan dengan literatur dan hasil penelitian sebelumnya untuk memperkuat kontribusi program ini terhadap pengembangan masyarakat desa berbasis lingkungan. Misalnya, menurut Li et al. (2023), pengelolaan limbah ternak yang baik tidak hanya mengurangi pencemaran lingkungan, tetapi juga meningkatkan kualitas tanah dan hasil pertanian secara signifikan [34]. Penelitian Chaudhary et al. (2023) juga menekankan bahwa siklus hara, khususnya sulfur dan nitrogen, sangat dipengaruhi oleh metode pengolahan limbah organik di lahan pertanian, yang relevan dengan konteks penggunaan pupuk kandang oleh masyarakat Mandiro [33].

Dari segi refleksi kritis, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu dicermati. Salah satunya adalah keterbatasan bahan baku yang hanya berfokus pada kotoran sapi, sedangkan kandungan unsur hara dan potensi pupuk dapat berbeda antara kotoran ternak satu dengan lainnya [12]. Selain itu, keterlibatan masyarakat masih terbatas pada kelompok kader, dan belum dilakukan pemantauan jangka panjang terhadap praktik berkelanjutan setelah sosialisasi. Kegiatan ini memiliki potensi keberlanjutan yang kuat jika ditindaklanjuti dengan proyek lanjutan seperti pembuatan *pilot project* kebun percontohan yang menggunakan pupuk kandang hasil olahan kader sebagai media tanam, penyusunan video tutorial yang bisa diakses masyarakat umum, serta monitoring dan evaluasi (*monev*) berkala untuk menilai keberlanjutan praktik ini di tingkat rumah tangga maupun kelompok tani.

Di masa yang akan datang, kolaborasi yang lebih erat dengan pemerintah desa, dinas pertanian, dinas lingkungan hidup, maupun LSM lokal sangat disarankan guna memperluas dampak positif pelaksanaan program. Pemerintah dapat memfasilitasi pelatihan lanjutan dan membantu distribusi pupuk organik hasil produksi lokal. Keterlibatan LSM yang fokus pada ketahanan pangan dan pengembangan desa akan memperkuat pendekatan partisipatif masyarakat serta membuka akses terhadap program pendanaan mikro. Secara teori, pendekatan ini selaras dengan konsep *People-Centered Development* (PCD) yang menempatkan masyarakat sebagai pelaku utama pembangunan. Rokhmah (2023) menegaskan bahwa pendekatan ini akan berdampak pada peningkatan kualitas sumber daya manusia dan pembangunan berkelanjutan di desa [16].

Harapan dari kegiatan ini adalah adanya keberlangsungan penerapan pengolahan limbah ternak menjadi pupuk kandang. Kader ELANGGHU Divisi Lingkungan sebagai pelopor masyarakat Desa Mandiro dibekali dengan pengetahuan akan pentingnya pengolahan pupuk kandang diharapkan mampu menyadarkan masyarakat Desa Mandiro tentang bahayanya penumpukan kotoran ternak dan cara pemanfaatan kotoran ternak yang membahayakan lingkungan. Masyarakat yang berada pada lingkungan yang tercemar memiliki potensi besar mengidap *stunting* atau tumbuh kembang yang terhambat [5]. Selain itu, kegiatan ini diharapkan bisa menjadi inspirasi bagi kader ELANGGHU Divisi Lingkungan dan masyarakat luas untuk menyebarluaskan pentingnya pengolahan limbah kotoran ternak menjadi pupuk kandang.

4. Kesimpulan

Kegiatan pelatihan pengolahan limbah kotoran ternak menjadi pupuk kandang di Desa Mandiro memberikan dampak yang nyata. Warga, khususnya kader lingkungan, tidak hanya mendapatkan pengetahuan baru, tetapi juga mulai sadar akan pentingnya mengelola limbah ternak dengan cara yang lebih ramah lingkungan. Hasil *post-test* yang menunjukkan peningkatan pemahaman hingga 100% membuktikan bahwa pendekatan yang digunakan dengan menggabungkan materi edukatif dengan praktik langsung merupakan langkah yang sangat efektif.

Penelitian ini memberikan gambaran bahwa solusi sederhana, seperti mengolah kotoran ternak menjadi pupuk organik dengan bahan yang mudah dijangkau, bisa menjadi langkah awal menuju desa yang lebih sehat dan mandiri. Selain membantu mengurangi pencemaran lingkungan, kegiatan ini juga membuka peluang pemanfaatan limbah menjadi produk bernilai guna, sekaligus memperkuat hubungan antara peternak dan petani.

5. Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan teknologi (Kemendikbud Ristek), Direktorat Pembelajaran dan Kemahasiswaan (BELMAWA), Dosen Pendamping, Kepala Desa Mandiro, Perangkat Desa Mandiro, Kader Lingkungan serta Pengembangan Desa Mandiro, Tim Pendukung PPK Ormawa HIMA Gizi, dan Tim PPK Ormawa Hima Gizi yang berperan aktif dalam pelatihan

pengolahan limbah ternak menjadi pupuk kandang untuk mengurangi limbah ternak, sehingga dapat mengurangi pencemaran lingkungan, serta meningkatkan nilai ekonomi dari limbah tersebut.

Daftar Pustaka

- [1] F. Astuti, I. Fatimah, L. Silvia, S. Y. Purwaningsih, dan Y. Cahyono, "Pemrosesan Limbah Kotoran Ternak Sapi Menjadi Pupuk Organik Ramah Lingkungan Di Desa Slumbung, Kecamatan Gandusari, Kabupaten Blitar," *Sewagati*, vol. 8, no. 1, pp. 1188–1194, 2024.
- [2] S. Bima dan F. Prambudi, "Potensi Pemanfaatan Limbah Peternakan Sapi Pedaging Di SPR Ngudi Rejeki, Kabupaten Kediri," *J. Pusat Inovasi Masyarakat*, vol. 2, no. 3, pp. 343–347, 2020.
- [3] Badan Pusat Statistik Kabupaten Bondowoso, "Populasi Ternak Menurut Kecamatan Dan Jenis Ternak Di Kabupaten Bondowoso 2018," [Online]. Available: https://bondowosokab.bps.go.id/id/statistics-table/1/MjMwIzE=
- [4] A. Herdianto dan M. E. Defriatno, "Pemanfaatan Limbah Kotoran Sapi Menjadi Biogas Di Desa Ledokombo," *Indonesian Journal of Community Service Science and Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 7–14, 2024.
- [5] K. Khoiron, D. Rokhmah, N. Astuti, G. Nurika, dan D. Putra, "Pencegahan Stunting Melalui Penguatan Peran Kader Gizi Dan Ibu Hamil Serta Ibu Menyusui Melalui Participatory Hygiene And Sanitation Transformation (PHAST)," *ABDIKAN: Jurnal Pengabdian Masyarakat Bidang Sains Dan Teknologi*, vol. 1, no. 1, pp. 74–80, 2022.
- [6] W. Kuntari, "Strategi Pemasaran Sapi Potong Berdasarkan Tinjauan Studi Literatur," *Jurnal Teknologi Pangan Dan Ilmu Pertanian*, vol. 2, no. 3, pp. 01–14, 2024.
- [7] S. A. Kurniawan dan N. Cholis, "Pengaruh Penggunaan Feses Domba, Feses Sapi Dan Blotong Tebu Sebagai Media Hidup Terhadap Populasi, Bobot Badan, Konsumsi Dan Konversi Pakan Pada Cacing Tanah *Eudrilus Eugeniae*," *Ternak Tropika: Journal of Tropical Animal Production*, vol. 25, no. 1, pp. 22–33, 2024.
- [8] L. Lubis, "Analisis Paparan Gas Hidrogen Sulfida (H₂S) Dan Keluhan Saluran Pernapasan Pada Pemulung Di TPA Terjun Kecamatan Medan Marelan Tahun 2024," Disertasi Doktoral, Universitas Sumatera Utara, 2024.
- [9] I. M. Maula, "Pengelolaan Limbah Pertanian: Pemanfaatan Kotoran Kambing Sebagai Pupuk Organik," *Action Research Literate*, vol. 7, no. 1, pp. 70–76, 2023.
- [10] U. Mawaddah, S. Sudirman, A. Amrullah, C. Budiman, dan A. Yani, "Analisis Komparasi Rumus Djagra Dalam Memperkirakan Bobot Badan Ternak Sapi Bali (Studi Kasus Di UPTD. BPT HMT Serading)," *Ternak Tropika: Journal of Tropical Animal Production*, vol. 25, no. 1, pp. 34–40, 2024.
- [11] M. Natania, F. L. Fitri, M. S. Burhan, dan A. Bakhrudin, "Analisis Kesadaran Masyarakat Terhadap Dampak Pembakaran Sampah Terhadap Lingkungan Di Desa Sidomulyo Gunungwungkal Pati," in *SANDIMAS: Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 1, no. 1, pp. 911–914, Aug. 2024.
- [12] D. Novitasari dan J. Caroline, "Kajian Efektivitas Pupuk Dari Berbagai Kotoran Sapi, Kambing Dan Ayam," in *Prosiding Seminar Teknologi Perencanaan, Perancangan, Lingkungan Dan Infrastruktur*, pp. 442–447, Feb. 2021.
- [13] B. A. Radiv, P. N. Indah, dan D. Atasa, "Analisis Impor Daging Sapi Di Indonesia Tahun 1993–2022," *Jurnal Ilmiah Respati*, vol. 15, no. 2, pp. 129–137, 2024.
- [14] M. Ridho, H. Hafifah, N. Nilahayati, I. Ismadi, dan N. Nasruddin, "Respon Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Selada Merah (*Lactuca Sativa L.*) Terhadap Pemberian Pupuk Kandang Sapi Dan Pupuk Organik Cair Daun Lamtoro," *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agroekoteknologi*, vol. 3, no. 1, pp. 17–20, 2024.
- [15] K. Riyanto, D. Dudi, dan I. Hernaman, "Improving The Quality Of Liquid Organic Fertilizer (POC) Based On Cow Urine By Providing Molase And EM4: A Review," *Majalah Ilmiah Peternakan*, vol. 27, no. 1, pp. 50–53, 2024.
- [16] D. Rokhmah, S. Handayani, K. Khoiron, R. S. Pujiati, dan N. U. Luthfiyana, "Social Capital Dan Kesehatan Masyarakat: Respon Terhadap Post Covid-19," 2023.
- [17] W. T. M. Saputra et al., "Program Pembuatan Pupuk Kompos Padat Limbah Kotoran Sapi Dan Ampas Kopi Dengan Metode Fermentasi Menggunakan EM4 Dan Molases Di Desa Mekar Indah," *Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat Indonesia*, vol. 3, no. 1, pp. 30–36, 2024.
- [18] D. D. Saputro, B. R. Wijaya, dan Y. Wijayanti, "Pengelolaan Limbah Peternakan Sapi Untuk Meningkatkan Kapasitas Produksi Pada Kelompok Ternak Patra Sutera," *Rekayasa: Jurnal Penerapan Teknologi Dan Pembelajaran*, vol. 12, no. 2, pp. 91–98, 2022.
- [19] D. M. Sefira et al., "Pemberdayaan Kelompok Ternak Melalui Sosialisasi Dan Praktik Pembuatan Pupuk Organik Di Desa Suco Kecamatan Mumbulsari Kabupaten Jember," *Jurnal Pengabdian Masyarakat Applied*, vol. 2, no. 2, pp. 93–100, 2023.
- [20] P. D. Sukmawati dan D. Wahyuningtyas, "Efektivitas Penambahan Limbah Kotoran Sapi Dalam Pengolahan Kompos Dari Limbah Daun Jati Menggunakan EM-4 Di Desa Tuksono Kecamatan Sentolo Kabupaten Kulonprogo," *Jurnal Serambi Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 8105–8110, 2024.

- [21] F. M. Suradi, T. Prasetyo, dan I. I. S. Utami, "Pengaruh Model Pembelajaran Team-Based Learning (TBL) Terhadap Keterampilan Berpikir Kritis Siswa," *Jurnal Pengajaran Sekolah Dasar*, vol. 3, no. 1, pp. 66–74, 2024.
- [22] W. Waluyo, Y. A. Nurohman, R. S. Qurniawati, A. Waluyo, dan F. A. Ahzar, "Peningkatan Ekonomi Petani Dan Komunitas Peternak Melalui Pola Syirkah Di Kecamatan Kaloran Kabupaten Temanggung," *Abdi Makarti*, vol. 3, no. 1, pp. 65–72, 2024.
- [23] M. Komarudin, M. Hadiatry, dan S. J. Oosting, "Contribution Of Cattle Production To Livelihood Of Smallholders Living Around Teak Forest In Bojonegoro, East Java," *Proceedings of the International Seminar on Livestock Production and Veterinary Technology*, pp. 124–131, 2020. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.14334/PROC.INTSEM.LPVT-2018-P.124-131>
- [24] T. Davis dan R. White, "Breeding animals to feed people: The Many Roles Of Animal Reproduction In Ensuring Global Food Security," *Theriogenology*, 2020. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.01.041>
- [25] M. Thoma, T. McAllister, K. Stanford, A. Mengistu, B. Gunte, M. Marcos, K. Wittenberg, A. Omonijo, R. White, dan G. Legesse, "Animal Sourced Foods' Role In Sustainable Nutrition: The Role Of Livestock As Up-Cyclers Of Food By-Products and Waste," 2022.
- [26] M. Zhuang, N. Shan, Y. Wang, D. Caro, R. Fleming, dan L. Wang, "Different Characteristics Of Greenhouse Gases And Ammonia Emissions From Conventional Stored Dairy Cattle And Swine Manure In China," *The Science of the Total Environment*, vol. 722, p. 137693, 2020. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137693>
- [27] C. Hidayat, Y. Widiawati, B. Tiesnamurti, A. Pramono, R. Krisnan, dan M. I. Shiddieqy, "Comparison Of Methane Production From Cattle, Buffalo, Goat, Rabbit, Chicken, and Duck Manure," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 648, no. 1, 2021. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/648/1/012112>
- [28] L. Li, Y. Liu, Y. Kong, J. Zhang, Y. Shen, G. Li, G. Wang, dan J. Yuan, "Relating Bacterial Dynamics And Functions To Greenhouse Gas And Odor Emissions During Facultative Heap Composting Of Four Kinds Of Livestock Manure," *Journal of Environmental Management*, vol. 345, p. 118589, 2023. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118589>
- [29] A.-M. V. Cisleanu, V. A. Prisacaru, dan S. R. Alamoreanu, "Impact Of Acid Rain On The Environment," *ԴՆՏԱԿԱՆ ՓՈՐՁԱՔՆՆՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ՔՐԵՍԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՀԱՆԴԵՍ (Jurnal Armenia untuk Ilmu Forensik dan Kriminologi)*, 2023. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.53587/25792865-2023.10-28>
- [30] S. Chaudhary, S. Sindhu, R. Dhanker, dan A. Kumari, "Microbes-Mediated Sulphur Cycling In Soil: Impact On Soil Fertility, Crop Production And Environmental Sustainability," *Microbiological Research*, vol. 271, p. 127340, 2023. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127340>
- [31] C. Li, X. Liu, M. Meng, L. Zhai, B. Zhang, Z. Jia, Z. Gu, Q. Liu, Y. Zhang, dan J. Zhang, "The Use Of Biolog Eco Microplates To Compare The Effects Of Sulfuric And Nitric Acid Rain On The Metabolic Functions Of Soil Microbial Communities In A Subtropical Plantation Within The Yangtze River Delta Region," *Catena*, 2020, p. 105039. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.105039>
- [32] X. Liu, C. Li, M. Meng, L. Zhai, B. Zhang, Z. Jia, Z. Gu, Q. Liu, Y. Zhang, dan J. Zhang, "Comparative Effects Of The Recovery From Sulfuric And Nitric Acid Rain On The Soil Enzyme Activities And Metabolic Functions Of Soil Microbial Communities," *The Science of the Total Environment*, vol. 714, p. 136788, 2020. [Online]. Tersedia: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136788>
- [33] S. Chaudhary, S. Sindhu, R. Dhanker, and A. Kumari, "Microbes-Mediated Sulphur Cycling In Soil: Impact On Soil Fertility, Crop Production And Environmental Sustainability," *Microbiological Research*, vol. 271, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127340>
- [34] M. Zhuang et al., "Different Characteristics Of Greenhouse Gases And Ammonia Emissions From Conventional Stored Dairy Cattle And Swine Manure In China," *Science of the Total Environment*, vol. 722, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137693>