



PEMBERDAYAAN KELOMPOK TERNAK MELALUI INOVASI PUPUK ORGANIK PADAT DIPERKAYA NANOKITOSAN BERBASIS LIMBAH TERNAK DALAM MENDUKUNG PERTANIAN SIRKULAR DI DESA KLUNGKUNG

Fandyka Yufriza Ali^{1*}, Refa Firgiyanto², Hanif Fatur Rohman³, Rizky Nirmala Kusumaningtyas⁴, Mochamat Bintoro⁵

¹Politeknik Negeri Jember, Jember, Jawa Timur, Indonesia

²Politeknik Negeri Jember, Jember, Jawa Timur, Indonesia

³Politeknik Negeri Jember, Jember, Jawa Timur, Indonesia

⁴Politeknik Negeri Jember, Jember, Jawa Timur, Indonesia

⁵Politeknik Negeri Jember, Jember, Jawa Timur, Indonesia

Correspondent Email: fandyka.yufriza@polije.ac.id Authors Email: refa_firgiyanto@polije.ac.id; haniffaturrohman@polije.ac.id; rizky.nk@polije.ac.id; bintoro@polije.ac.id

ABSTRACT. Unstandardized livestock waste management in Klungkung Village has the potential to cause environmental problems, yet it also offers economic value when processed into organic fertilizer. This community service program aimed to empower the Santoso Livestock Group by improving its capacity to process livestock waste into solid organic fertilizer enriched with nanochitosan to support circular agriculture. The implementation method applied a participatory-educational approach through socialization, technical training, production practice, packaging, branding, simple marketing assistance, and pre-test and post-test evaluation. The results showed the development of two products, namely solid organic fertilizer and nanochitosan-enriched organic fertilizer; an increase in technical knowledge from 48% to 82%; an improvement in the partners' average understanding from 43% to 82%; and technical skills among members reaching $\geq 85\%$. This program demonstrates that appropriate technology innovation based on local waste can strengthen group independence, product added value, and village-level green economy development.

Keywords: Circular Agriculture, Community Empowerment, Livestock Waste, Nanochitosan, Organic Fertilizer

ABSTRAK. Pengelolaan limbah ternak yang belum terstandar di Desa Klungkung berpotensi menimbulkan masalah lingkungan, tetapi juga memiliki nilai ekonomi jika diolah menjadi pupuk organik. Kegiatan pengabdian ini bertujuan memberdayakan Kelompok Ternak Santoso melalui peningkatan kapasitas pengolahan limbah ternak menjadi pupuk organik padat diperkaya nanokitosan untuk mendukung pertanian sirkular. Metode pelaksanaan menggunakan pendekatan partisipatif-edukatif melalui sosialisasi, pelatihan teknis, praktik produksi, pengemasan, branding, pemasaran sederhana, serta evaluasi pre-test dan post-test. Hasil kegiatan menunjukkan terbentuknya dua produk, yaitu pupuk organik padat dan pupuk organik diperkaya nanokitosan; peningkatan pengetahuan teknis dari 48% menjadi 82%; rata-rata pemahaman mitra dari 43% menjadi 82%; serta kemampuan teknis anggota mencapai $\geq 85\%$. Kegiatan ini membuktikan bahwa inovasi teknologi tepat guna berbasis limbah lokal dapat meningkatkan kemandirian kelompok, nilai tambah produk, dan mendukung ekonomi hijau desa.

Kata Kunci: Limbah Ternak, Nanokitosan, Pemberdayaan Masyarakat, Pertanian Sirkular, Pupuk Organik

Article History

Submission: 05-07-2026

Revised: 07-07-2026

Accepted: 07-07-2026

Published: 07-07-2026

PENDAHULUAN

Pengelolaan limbah ternak menjadi salah satu isu strategis dalam pengembangan pertanian berkelanjutan, terutama pada wilayah pedesaan yang memiliki aktivitas peternakan rakyat dan budidaya tanaman secara berdampingan. Limbah ternak yang tidak dikelola secara tepat berpotensi menimbulkan bau, pencemaran lingkungan, dan gangguan sanitasi; sebaliknya, melalui teknologi tepat guna, limbah tersebut dapat diolah menjadi pupuk organik yang bernilai agronomis dan ekonomi. Pemanfaatan kotoran ternak sebagai sumber bahan organik selaras

dengan prinsip ekonomi sirkular, yaitu mengembalikan biomassa ke dalam siklus produksi sebagai input baru bagi sistem pertanian (Sadeghpour & Afshar, 2024; Mustafa *et al.*, 2025). Penggunaan kompos juga terbukti berkontribusi terhadap perbaikan sifat tanah, peningkatan ketersediaan hara, serta penguatan fungsi ekologis tanah (Iraji *et al.*, 2025; Firgiyanto *et al.*, 2026), sedangkan pengomposan limbah agro-peternakan dipandang sebagai pendekatan efektif untuk mengurangi beban limbah sekaligus menghasilkan produk yang bermanfaat bagi pertanian (Valverde-Orozco *et al.*, 2024). Pada Kelompok Ternak Santoso di Desa Klungkung, potensi limbah ternak relatif besar, namun sebelum kegiatan dilakukan, pemanfaatannya belum berjalan secara terstandar sebagai produk pupuk organik bernilai tambah.

Kualitas pupuk organik padat sangat dipengaruhi oleh ketepatan proses produksi, mulai dari pemilahan bahan, pencacahan, pencampuran, pengaturan kelembapan, fermentasi, pembalikan, pematangan, hingga pengemasan. Ukuran partikel bahan menjadi faktor penting karena menentukan luas permukaan kontak, homogenitas campuran, dan efektivitas kerja mikroorganisme selama proses dekomposisi (Liu *et al.*, 2025). Oleh sebab itu, penggunaan mesin pencacah, bak komposter, serta penerapan alur kerja berbasis SOP diperlukan agar proses pengolahan limbah lebih higienis, terukur, dan mudah direplikasi oleh anggota kelompok. Nilai inovatif kegiatan ini diperkuat melalui pengayaan pupuk organik padat dengan nanokitosan. Kitosan merupakan biopolimer turunan kitin yang biodegradable, biokompatibel, dan potensial digunakan sebagai pembawa bahan aktif dalam sistem pemupukan. Kitosan dapat berperan dalam pelepasan hara secara lebih lambat dan terkendali (Riseh *et al.*, 2023), sedangkan nanopartikel kitosan berpotensi meningkatkan efisiensi penggunaan hara tanaman melalui mekanisme pelepasan ion bertahap dan dukungan terhadap aktivitas mikroorganisme tanah (Nandini *et al.*, 2025; Ali, 2025).

Berbagai penelitian memperkuat dasar ilmiah penggunaan nanokitosan dalam sistem pemupukan. Ha *et al.* (2019) melaporkan bahwa pupuk nano-NPK berbasis nanopartikel kitosan mampu meningkatkan serapan hara, fotosintesis, dan pertumbuhan bibit kopi pada kondisi rumah kaca. Sementara itu, Elshayb *et al.* (2024) menunjukkan bahwa formulasi NPK berbasis struktur kitosan berpotensi menekan penggunaan pupuk NPK sintetis tanpa menurunkan produktivitas dan kualitas tanaman. Berdasarkan dasar tersebut, kegiatan pemberdayaan Kelompok Ternak Santoso diarahkan tidak hanya pada produksi pupuk organik padat, tetapi juga pada peningkatan kapasitas masyarakat dalam mengolah limbah ternak menjadi produk inovatif berbasis nanokitosan.

METODE PELAKSANAAN

Lokasi, Mitra, dan Sasaran Kegiatan

Kegiatan pengabdian masyarakat ini dilaksanakan di Desa Klungkung, Kecamatan Sukorambi, Kabupaten Jember, selama 6 bulan dengan mitra utama Kelompok Ternak Santoso dan didampingi oleh Tim Dosen Jurusan Pertanian Politeknik Negeri Jember. Sasaran kegiatan adalah anggota kelompok ternak yang memiliki aktivitas peternakan sapi dan kambing serta menghasilkan limbah ternak yang berpotensi diolah menjadi produk bernilai tambah. Fokus kegiatan diarahkan pada pemberdayaan mitra melalui peningkatan pengetahuan, keterampilan, dan kemandirian dalam mengolah limbah ternak menjadi pupuk organik padat yang diperkaya nanokitosan, sekaligus memperkuat aspek pengemasan, *branding*, dan pemasaran produk sebagai bagian dari pengembangan pertanian sirkular berbasis sumber daya lokal.

Pendekatan Pelaksanaan

Metode pelaksanaan menggunakan pendekatan partisipatif-edukatif, yaitu mitra dilibatkan secara aktif dalam seluruh tahapan kegiatan, mulai dari identifikasi masalah, penyusunan kebutuhan pelatihan, praktik produksi, hingga evaluasi hasil. Pendekatan ini dipilih agar proses transfer teknologi tidak bersifat satu arah, melainkan mendorong keterlibatan langsung anggota kelompok dalam memahami, mempraktikkan, dan mengembangkan teknologi pembuatan pupuk organik diperkaya nanokitosan secara mandiri. Dengan pendekatan tersebut, kegiatan tidak hanya menghasilkan produk pupuk, tetapi juga membangun kapasitas teknis dan kelembagaan mitra (Setyohadi *et al.*, 2024).

Tahapan Pelaksanaan Kegiatan

Tahapan pelaksanaan kegiatan terdiri atas persiapan, sosialisasi, pelatihan teknis, praktik produksi, pengemasan, dan evaluasi. Pada tahap persiapan, tim pelaksana melakukan koordinasi dengan mitra untuk memetakan permasalahan, memastikan ketersediaan bahan baku, menentukan lokasi praktik, menyusun jadwal kegiatan, serta menyiapkan alat, bahan, dan materi pelatihan. Selanjutnya, kegiatan dilanjutkan dengan sosialisasi mengenai pentingnya pengelolaan limbah ternak, potensi ekonomi pupuk organik, prinsip dasar pengomposan, serta konsep pertanian sirkular sebagai dasar pemanfaatan kembali limbah organik menjadi input produksi pertanian.

Tahap berikutnya adalah pelatihan dan praktik pembuatan pupuk organik padat. Bahan utama yang digunakan meliputi kotoran ternak, limbah kulit kopi, jerami kering, dan dedak halus.

Bahan dicacah menggunakan mesin *chopper*, dicampur hingga homogen, diatur kelembapannya, kemudian ditambahkan dekomposer untuk memulai fermentasi awal. Setelah fermentasi awal berlangsung, bahan kompos diperkaya dengan nanokitosan, lalu difermentasi kembali hingga matang. Tahap akhir meliputi pengayakan, pengemasan, pemberian label, serta pendampingan branding dan pemasaran sederhana agar produk pupuk organik memiliki identitas, tampilan, dan nilai jual yang lebih baik.

Prosedur Teknis Pembuatan Pupuk Organik Diperkaya Nanokitosan

Prosedur teknis diawali dengan penyiapan bahan baku berupa kotoran ternak, kulit kopi, jerami kering, dan dedak halus dengan komposisi proporsional. Seluruh bahan dicacah untuk memperkecil ukuran partikel dan meningkatkan keseragaman campuran, kemudian dicampur, dilembapkan, dan diberi dekomposer seperti EM4 atau mikroba pengurai lainnya. Fermentasi awal dilakukan selama kurang lebih tujuh hari dengan pembalikan berkala. Setelah itu, nanokitosan ditambahkan dengan konsentrasi sekitar 0,3–0,5% per 10 kg bahan, lalu campuran difermentasi lanjutan selama 14–21 hari dengan pemantauan suhu dan pembalikan setiap tiga hari. Pupuk yang telah matang kemudian diayak dan dikemas hingga menghasilkan produk dengan tekstur remah, warna seragam, bau rendah, dan homogen.

Evaluasi Kegiatan

Evaluasi kegiatan dilakukan untuk menilai perubahan pengetahuan, keterampilan, dan kemandirian mitra setelah mengikuti pelatihan dan praktik produksi. Instrumen evaluasi meliputi observasi lapangan, diskusi bersama mitra, penilaian proses praktik, serta kuesioner sebelum dan sesudah kegiatan. Aspek yang dinilai mencakup pemahaman tentang pengelolaan limbah ternak, kemampuan melakukan pencacahan dan pencampuran bahan, keterampilan mengatur fermentasi, ketepatan penambahan nanokitosan, serta kemampuan melakukan pengemasan produk. Indikator keberhasilan kegiatan ditunjukkan melalui meningkatnya kapasitas teknis mitra, terbentuknya produk pupuk organik padat diperkaya nanokitosan, serta adanya kemasan dan identitas awal produk yang siap dikembangkan lebih lanjut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peningkatan Kapasitas Mitra dalam Pengolahan Limbah Ternak

Kegiatan pemberdayaan pada Kelompok Ternak Santoso menunjukkan adanya perubahan kapasitas mitra dalam mengelola limbah ternak dari bahan sisa yang belum termanfaatkan menjadi produk pupuk organik bernilai tambah. Sebelum kegiatan, limbah ternak belum dikelola melalui sistem produksi yang terarah, sedangkan setelah kegiatan mitra mampu menghasilkan dua jenis produk, yaitu pupuk organik padat dan pupuk organik yang diperkaya nanokitosan. Capaian ini menunjukkan terjadinya peningkatan diversifikasi produk dari tidak adanya produk olahan menjadi dua produk berbasis limbah ternak. Selain itu, kemampuan teknis anggota meningkat dari kurang dari 20% menjadi $\geq 85\%$ dalam melakukan pencacahan, pencampuran, fermentasi, penambahan nanokitosan, hingga pengemasan pupuk secara mandiri. Skor pengetahuan teknis juga meningkat dari 48% pada kondisi awal menjadi 82% setelah pelatihan, sehingga menunjukkan bahwa kegiatan pelatihan berbasis praktik langsung efektif dalam meningkatkan kompetensi teknis mitra.



Gambar 1. Sosialisasi dan praktik pembuatan pupuk organik padat pada Kelompok Ternak Santoso.

Peningkatan tersebut memperlihatkan bahwa pemberdayaan masyarakat berbasis teknologi tepat guna dapat menjadi instrumen penting dalam mendorong transisi dari pola pengelolaan limbah pasif menuju pengelolaan limbah produktif. Secara ilmiah, hasil ini sejalan dengan konsep ekonomi sirkular dalam sektor peternakan, yang menempatkan kotoran ternak bukan sebagai residu akhir, melainkan sebagai sumber daya yang dapat dimanfaatkan kembali untuk menghasilkan pupuk dan memperkuat keberlanjutan sistem pertanian. Sadeghpour dan Afshar (2024) menegaskan bahwa manure memiliki peran penting dalam ekonomi sirkular karena dapat dikonversi menjadi pupuk dan sumber energi, sementara Valverde-Orozco *et al.* (2024) menunjukkan bahwa pengomposan limbah pertanian dan peternakan mampu menghasilkan kompos berkualitas agronomis serta memberikan manfaat ekonomi dalam siklus produksi pertanian. Dengan demikian, hasil kegiatan ini tidak hanya menunjukkan keberhasilan teknis,

tetapi juga memperlihatkan arah transformasi sosial-ekologis melalui pemanfaatan limbah lokal sebagai input produktif pertanian.

Perbaikan Mutu Pupuk melalui Fermentasi Terstandar dan Pengayaan Nanokitosan

Produk pupuk organik yang dihasilkan setelah pelatihan menunjukkan perbaikan karakteristik fisik dibandingkan kondisi awal pengelolaan limbah. Pupuk yang dihasilkan memiliki warna lebih coklat tua, bau lebih rendah, tekstur lebih remah, serta campuran bahan yang lebih homogen. Perbaikan tersebut berkaitan dengan penerapan tahapan produksi yang lebih sistematis, mulai dari pencacahan bahan, pencampuran, pengaturan kelembapan, fermentasi, pembalikan, hingga pengayaan dengan nanokitosan. Penggunaan mesin *chopper* berperan penting dalam menghasilkan ukuran bahan yang lebih seragam, sehingga proses dekomposisi berjalan lebih efektif. Dalam proses komposting, ukuran partikel menjadi faktor teknis yang penting karena memengaruhi luas permukaan bahan, aerasi, aktivitas mikroba, dan pembentukan humus (Rosdiana *et al.*, 2025). Xu *et al.* (2025) menunjukkan bahwa ukuran partikel memengaruhi aktivitas mikroba dan transformasi bahan organik selama pengomposan kotoran ternak, sedangkan Liu *et al.* (2025) menegaskan bahwa ukuran partikel bahan organik berpengaruh terhadap performa dekomposisi aerobik dan efisiensi komposting.



Gambar 2. Praktik pengayaan pupuk organik dengan nanokitosan.

Pengayaan pupuk organik dengan nanokitosan menjadi unsur inovasi utama karena memberikan nilai fungsional tambahan pada produk. Kitosan dan turunannya dikenal sebagai biopolimer yang biodegradable, biokompatibel, serta potensial digunakan sebagai pembawa bahan aktif dalam bidang pertanian. Mujtaba *et al.* (2020) menjelaskan bahwa kitosan dapat digunakan sebagai sistem penghantaran bahan aktif untuk tanaman, termasuk nutrisi, pestisida, herbisida, dan zat pengatur tumbuh. Riseh *et al.* (2023) juga menegaskan bahwa kitosan berpotensi sebagai pembawa pupuk karena mampu mendukung pelepasan unsur hara secara lebih terkendali. Dalam skala nano, kitosan memiliki peluang lebih besar untuk

meningkatkan efisiensi pemanfaatan hara karena dapat membantu pelepasan ion secara bertahap serta mendukung aktivitas mikroorganisme dan enzim tanah. Hal ini diperkuat oleh Nandini *et al.* (2025), yang menyatakan bahwa nanopartikel kitosan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan hara tanaman melalui mekanisme pelepasan nutrisi yang lebih perlahan dan dukungan terhadap aktivitas mikroba tanah.



Gambar 3. Pelatihan pengemasan, branding, dan pupuk organik diperkaya nanokitosan.

Penguatan Sarana Produksi, Kemandirian Kelompok, dan Prospek Keberlanjutan

Kegiatan ini juga berdampak pada penguatan sarana produksi dan kemandirian teknis kelompok. Sebelum kegiatan, Kelompok Ternak Santoso belum memiliki aset khusus untuk pengolahan limbah, sedangkan setelah kegiatan tersedia dua aset utama, yaitu mesin *chopper* untuk pencacahan bahan dan bak komposter untuk proses fermentasi.



Gambar 4. Sarana produksi dan teknologi pengolahan limbah yang diinvestasikan kepada mitra.

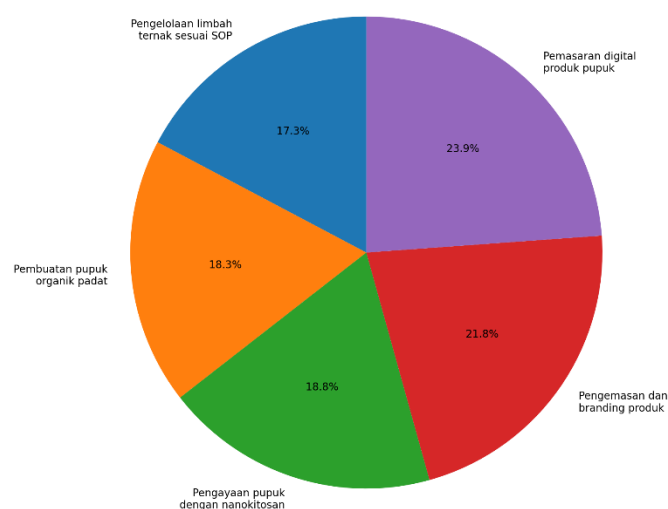
Peningkatan aset ini memperkuat kapasitas kelompok dalam mengolah limbah secara lebih terstruktur dan berulang. Mitra mulai mampu mengelola $\geq 80\%$ limbah harian menjadi bahan baku pupuk organik melalui proses pencacahan, fermentasi, dan pengayaan nanokitosan. Selain itu, $\geq 75\%$ anggota telah mampu menjalankan mesin *chopper*, mengatur fermentasi, memantau

suhu, serta melakukan pencampuran nanokitosan secara mandiri. Capaian tersebut menunjukkan bahwa kegiatan tidak hanya menghasilkan produk, tetapi juga membangun kemandirian operasional mitra dalam mengelola teknologi produksi. Pada aspek hilir, kegiatan menghasilkan penguatan awal dalam pengemasan, branding, dan pemasaran produk pupuk organik.

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Kuisisioner *Pre Test* dan *Post Test* Kegiatan

Aspek yang Dinilai	<i>Pre-Test</i>	<i>Post-Test</i>
Pemahaman pengelolaan limbah ternak sesuai SOP	48%	82%
Teknik pembuatan pupuk organik padat	47%	83%
Pemahaman pengayaan pupuk organik dengan nanokitosan	45%	82%
Teknik pengemasan dan branding produk pupuk organik	38%	81%
Pemanfaatan pemasaran digital produk pupuk organik	35%	82%
Rata-rata keseluruhan	43%	82%

Berdasarkan Tabel 1, kegiatan pelatihan dan pendampingan mampu meningkatkan pemahaman peternak pada seluruh aspek yang dinilai. Peningkatan tertinggi terlihat pada aspek pemasaran digital, karena sebelum kegiatan mitra belum memiliki pemahaman yang memadai mengenai pemanfaatan media sosial dan marketplace untuk promosi produk. Peningkatan juga terlihat pada aspek teknis, khususnya pengelolaan limbah ternak, pembuatan pupuk organik padat, dan pengayaan nanokitosan. Hal ini menunjukkan bahwa metode pelatihan berbasis praktik langsung efektif dalam meningkatkan kapasitas mitra dalam memproduksi pupuk organik padat diperkaya nanokitosan secara lebih terstandar.



Gambar 5. Distribusi Peningkatan Pemahaman per Aspek (%)

Diagram menunjukkan bahwa peningkatan pemahaman terbesar terdapat pada aspek pemasaran digital produk pupuk, diikuti pengemasan dan branding produk, pengayaan pupuk dengan nanokitosan, pembuatan pupuk organik padat, dan pengelolaan limbah ternak sesuai SOP. Mitra mulai memiliki desain kemasan, identitas visual produk, foto produk, serta pemahaman awal mengenai segmentasi pasar, khususnya petani sekitar dan pengguna pupuk organik lokal. Pemahaman pemasaran digital meningkat dari 35% menjadi 82%, meskipun implementasinya masih perlu didampingi secara berkelanjutan agar produk dapat memasuki pasar secara lebih stabil (Ali *et al.*, 2025). Prospek keberlanjutan produk juga diperkuat oleh temuan Elshayb *et al.* (2024), yang menunjukkan bahwa formulasi pupuk berbasis kitosan dapat menjadi pendekatan untuk menekan ketergantungan terhadap pupuk sintetis tanpa mengorbankan produktivitas tanaman. Selain itu, kajian Iraj *et al.* (2025) menegaskan bahwa aplikasi kompos dapat memberikan manfaat terhadap sifat tanah dan lingkungan, sehingga pengembangan pupuk organik berbasis limbah ternak memiliki relevansi kuat bagi pertanian berkelanjutan. Dengan demikian, kegiatan ini dapat dipahami sebagai tahap awal pembentukan model pemberdayaan berbasis pertanian sirkular yang mengintegrasikan pengolahan limbah, inovasi nanoteknologi, penguatan kapasitas masyarakat, dan peluang ekonomi hijau di tingkat desa.

KESIMPULAN

Kegiatan pemberdayaan Kelompok Ternak Santoso berhasil meningkatkan kapasitas mitra dalam mengolah limbah ternak menjadi pupuk organik padat diperkaya nanokitosan. Melalui pelatihan dan praktik produksi, mitra mampu menerapkan tahapan pencacahan, fermentasi, pengayaan nanokitosan, pengayakan, hingga pengemasan secara lebih terstandar. Produk yang dihasilkan memiliki kualitas fisik lebih baik, seperti tekstur lebih remah, bau berkurang, dan campuran lebih homogen. Kegiatan ini juga memperkuat keterampilan teknis, kemandirian kelompok, serta membuka peluang pengembangan produk pupuk organik sebagai bagian dari pertanian sirkular dan ekonomi hijau berbasis sumber daya lokal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan, Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi atas dukungan pendanaan melalui Program Transformasi dan Inovasi Teknologi Tahun Anggaran 2025. Terima kasih juga disampaikan kepada P3M Politeknik

Negeri Jember, Pemerintah Desa Klungkung, serta Kelompok Ternak Santoso atas dukungan, kerja sama, dan partisipasi aktif dalam pelaksanaan kegiatan pemberdayaan masyarakat ini

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, F. Y. (2025). Formulasi media tanam berbasis bahan lokal dan inokulasi mikoriza untuk peningkatan pertumbuhan awal bibit *Coffea arabica*. *Hidroponik: Jurnal Ilmu Pertanian dan Teknologi dalam Ilmu Tanaman*, 2(3), 66–75. <https://doi.org/10.62951/hidroponik.v2i2.414>
- Ali, F. Y., Nugroho, S. A., Fatimah, T., Asmono, S. L., Rosdiana, E., Pratita, D. G., & Firgiyanto, R. (2025). Pengembangan produk kopi herbal berbasis rempah lokal sebagai strategi peningkatan daya saing usaha mikro di Kabupaten Jember. *Jurnal Hasil Pengabdian Masyarakat (JURIBMAS)*, 4(1), 122–130. <https://doi.org/10.62712/juribmas.v4i1.430>
- Cordeiro, C. M., & Sindhøj, E. (2024). Situating the discourse of recycled nutrient fertilizers in circular economy principles for sustainable agriculture. *Frontiers in Sustainability*, 5, Article 1465752. <https://doi.org/10.3389/frsus.2024.1465752>
- Elshayb, O. M., Ghazy, H. A., Wissa, M. T., Farroh, K. Y., Wasonga, D. O., & Seleiman, M. F. (2024). Chitosan-based NPK nanostructure for reducing synthetic NPK fertilizers and improving rice productivity and nutritional indices. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, Article 1464021. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1464021>
- Firgiyanto, R., Setyohadi, D. P. S., Riskiawan, H. Y., Rosdiana, E., Nugroho, S. A., Ali, F. Y., Kusumaningtyas, R. N., & Rohman, H. F. (2026). Pertanian organik. *CV HEI Publishing Indonesia*.
- Ha, N. M. C., Nguyen, T. H., Wang, S.-L., & Nguyen, A. D. (2019). Preparation of NPK nanofertilizer based on chitosan nanoparticles and its effect on biophysical characteristics and growth of coffee in green house. *Research on Chemical Intermediates*, 45, 51–63. <https://doi.org/10.1007/s11164-018-3630-7>
- Iraji, F., Jiménez-Ballesta, R., Mongil-Manso, J., Pellejero, G., Miguélez, D., Najafi, P., & Trujillo González, J. M. (2025). The effects of compost application on soil properties: Agricultural and environmental benefits. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 14(4). <https://doi.org/10.57647/ijrowa-2025-8144>
- Liu, Q., Wu, P., Guo, X., Qu, Y., Zheng, J., Xing, Y., Dong, Z., Yu, W., Zhang, G., & Zhang, X. (2025). Impact of particle size on the aerobic decomposition and fertilizer efficiency of corn cobs: A sustainable waste-to-resource approach. *Biology*, 14(11), Article 1610. <https://doi.org/10.3390/biology14111610>
- Mujtaba, M., Khawar, K. M., Camara, M. C., Carvalho, L. B., Fraceto, L. F., Morsi, R. E., Elsabee, M. Z., Kaya, M., Labidi, J., Ullah, H., & Wang, D. (2020). Chitosan-based delivery systems for plants: A brief overview of recent advances and future directions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 154, 683–697. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.128>
- Mustafa, R., Herawati, J., Nurmaisari, M., Tustiyani, I., Arsyad, S., Ali, F. Y., Firgiyanto, R., Mujayyanah, Z., Arsi, Nurfiana, Y., & Cahyani, D. A. (2025). Dasar-dasar pertanian organik untuk pemula. *Yayasan Kita Menulis*.

- Nandini, T., Sudhalakshmi, C., Sivakumar, K., Parameswari, E., & Thangamani, C. (2025). A review—Chitosan nanoparticles towards enhancing nutrient use efficiency in crops. *International Journal of Biological Macromolecules*, 306, Article 141433. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.141433>
- Riseh, R. S., Gholizadeh Vazvani, M., & Kennedy, J. F. (2023). The application of chitosan as a carrier for fertilizer: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 252, Article 126483. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126483>
- Rosdiana, E., Nugroho, S. A., Wardana, R., Salim, A., & Ali, F. Y. (2025). Application of combined coffee skin husk biochar and rice husk charcoal as planting media to improve on the growth seedling coffee. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1446, 012034. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1446/1/012034>
- Sadeghpour, A., & Keshavarz Afshar, R. (2024). Livestock manure: From waste to resource in a circular economy. *Journal of Agriculture and Food Research*, 17, Article 101255. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101255>
- Setyohadi, D. P. S., Kusumaningtyas, R. N., Ali, F. Y., & Firgiyanto, R. (2024). Pengembangan produk olahan komoditas jeruk melalui kegiatan pengabdian masyarakat pada Kelompok Tani Ngudi Rejeki, di Desa Pecoro, Jember. *Batara Wisnu: Indonesian Journal of Community Services*, 4(3), 748–755. <https://doi.org/10.53363/bw.v4i3.297>
- Valverde-Orozco, V., Gavilanes-Terán, I., Idrovo-Novillo, J., Ramos-Romero, S., Valverde-Quiroz, D., Idrovo-Gavilanes, J., & Paredes, C. (2024). Approach to the circular economy through agro-livestock waste composting with heat recovery and agricultural use of the resulting compost. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 42, Article 101730. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101730>
- Xu, W., Zhang, Y., Zhao, M., Wang, L., Zhang, C., & Zhou, L. (2025). Study on particle size promoting the participation of cotton stalk organic matter in the humification process during pig manure composting. *Agriculture*, 15(5), Article 446. <https://doi.org/10.3390/agriculture15050446>