

Pendampingan penerapan sistem monitoring suhu berbasis sensor dan sistem sirkulasi udara pada proses fermentasi di LPPNU Tani Sejahtera

Cucuk Evi Lusiani, Eko Naryono, Anang Takwanto, Susanto, Listiyana Candra Dewi

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Penulis korespondensi : Cucuk Evi Lusiani

E-mail : lusiani1891@polinema.ac.id

Diterima: 16 Juli 2026 | Direvisi: 01 Agustus 2026 | Disetujui: 02 Agustus 2026 | Online: 19 Agustus 2026

© Penulis 2026

Abstrak

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PkM) ini bertujuan meningkatkan kapasitas kelompok tani dalam mengoperasikan sistem monitoring suhu berbasis sensor digital yang diintegrasikan dengan sistem sirkulasi udara (*forced aeration*) pada proses fermentasi pupuk organik di LPPNU Tani Sejahtera, Desa Duwet, Kecamatan Tumpang, Kabupaten Malang. Permasalahan utama yang dihadapi mitra adalah proses fermentasi yang masih dilakukan secara konvensional tanpa monitoring suhu dan pengendalian aerasi sehingga pengelolaan proses belum optimal. Program dilaksanakan menggunakan pendekatan partisipatif melalui tahapan identifikasi kebutuhan, perancangan dan implementasi teknologi, pelatihan, pendampingan, serta evaluasi terhadap 5 orang peserta menggunakan kuesioner. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa 100% peserta menyatakan teknologi yang diterapkan membantu mengatasi permasalahan produksi, sedangkan 60% peserta menyatakan setuju dan 40% sangat setuju bahwa kegiatan meningkatkan pemahaman dan keterampilan dalam pengoperasian teknologi fermentasi. Program ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi tepat guna yang disertai pendampingan partisipatif mampu meningkatkan penerimaan teknologi dan kapasitas mitra dalam pengelolaan proses fermentasi.

Kata kunci: aerasi; fermentasi pupuk organik; pemberdayaan masyarakat; sensor suhu; pertanian berkelanjutan

Abstract

This Community Service Program aimed to enhance the capacity of the LPPNU Tani Sejahtera farmer group in operating a digital sensor-based temperature monitoring system integrated with a forced aeration system for the organic fertilizer fermentation process in Duwet Village, Tumpang District, Malang Regency, Indonesia. The main challenge faced by the community partner was the conventional fermentation process, which lacked temperature monitoring and aeration control, resulting in suboptimal process management. The program was implemented using a participatory approach consisting of needs assessment, technology design and implementation, training, mentoring, and evaluation involving five participants through a questionnaire. The evaluation results showed that 100% of the participants stated that the implemented technology helped address production-related problems, while 60% agreed and 40% strongly agreed that the program improved their understanding and technical skills in operating the fermentation technology. These findings indicate that the implementation of appropriate technology, combined with participatory mentoring, effectively enhanced technology acceptance and strengthened the partners' capacity in managing the fermentation process.

Keywords: aeration; organic fertilizer fermentation; community empowerment; sensor-based temperature monitoring; sustainable agriculture.

PENDAHULUAN

Pertanian berkelanjutan merupakan salah satu strategi penting dalam mendukung pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya pada tujuan mengakhiri kelaparan (*Zero Hunger*), mendorong konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab (*Responsible Consumption and Production*), serta menjaga ekosistem daratan (*Life on Land*) (Elizabeth, 2021; Food and Agriculture Organization, 2018). Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan untuk mendukung sistem pertanian berkelanjutan adalah penerapan prinsip ekonomi sirkular (*circular economy*) melalui pemanfaatan kembali limbah organik sebagai sumber daya yang memiliki nilai tambah (Kirchherr et al., 2017; Noor et al., 2024). Dalam sektor peternakan, limbah ternak memiliki kandungan bahan organik dan unsur hara yang tinggi sehingga berpotensi diolah menjadi pupuk organik sebagai alternatif pengganti pupuk anorganik (Food and Agriculture Organization, 2018; Ren et al., 2023). Selain mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya lokal, pengolahan limbah organik juga berkontribusi terhadap pengurangan pencemaran lingkungan dan mendukung pembangunan pertanian yang lebih berkelanjutan (Kirchherr et al., 2017; Noor et al., 2024).

Pemanfaatan pupuk organik secara berkelanjutan telah terbukti mampu memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah, meningkatkan kandungan bahan organik, memperbaiki struktur tanah, serta meningkatkan aktivitas mikroorganisme yang berperan dalam siklus hara (Agegnehu et al., 2016). Di sisi lain, penggunaan pupuk organik juga dapat mengurangi ketergantungan terhadap pupuk sintetis yang dalam jangka panjang berpotensi menyebabkan degradasi kualitas tanah dan menurunkan kualitas lingkungan (Agegnehu et al., 2016; Noor et al., 2024). Oleh karena itu, pengolahan limbah ternak menjadi pupuk organik merupakan salah satu strategi penting dalam mendukung sistem pertanian rendah emisi dan ekonomi sirkular (Kirchherr et al., 2017).

Desa Duwet, Kecamatan Tumpang, Kabupaten Malang merupakan salah satu wilayah yang memiliki potensi besar dalam pengembangan sistem pertanian terpadu berbasis peternakan. Salah satu kelompok masyarakat yang aktif mengelola limbah ternak menjadi pupuk organik adalah LPPNU Tani Sejahtera. Meskipun telah memanfaatkan limbah ternak sebagai bahan baku pupuk organik, proses fermentasi masih dilakukan secara konvensional sehingga pengelolaan proses fermentasi belum optimal. Berdasarkan hasil observasi lapangan dan diskusi bersama mitra, beberapa permasalahan utama yang dihadapi meliputi lamanya waktu fermentasi, belum tersedianya sistem monitoring suhu secara *real-time*, sistem aerasi yang masih mengandalkan sirkulasi alami, serta keterbatasan kemampuan mitra dalam melakukan pengendalian proses berbasis data. Kondisi tersebut menyebabkan proses pemantauan fermentasi menjadi kurang optimal sehingga operator mengalami kesulitan dalam melakukan pengendalian proses secara tepat waktu.

Secara ilmiah, suhu dan aerasi merupakan parameter utama yang menentukan keberhasilan fermentasi secara aerob (Aboutayeb et al., 2023; Li et al., 2013). Pengendalian suhu pada fase termofilik (45–65°C) berperan dalam mempercepat degradasi senyawa organik kompleks, meningkatkan aktivitas mikroorganisme aerob, serta menekan pertumbuhan mikroorganisme patogen (Lai et al., 2025; Li et al., 2013). Sementara itu, sistem aerasi yang memadai mampu menjaga ketersediaan oksigen selama proses fermentasi sehingga mempercepat dekomposisi, mengurangi pembentukan senyawa penyebab bau, dan meningkatkan homogenitas produk akhir (Qasim et al., 2019; Wang et al., 2024). Berbagai penelitian melaporkan bahwa integrasi sistem monitoring suhu dengan *forced aeration* mampu meningkatkan efisiensi proses pengomposan dibandingkan metode konvensional (Kameswari et al., 2025; Lai et al., 2025; Naser et al., 2025). Perkembangan terbaru juga menunjukkan bahwa penerapan jaringan sensor terintegrasi (*integrated sensor network*) memungkinkan pemantauan parameter fermentasi secara *real-time*, sehingga pengendalian proses dapat dilakukan secara lebih presisi dan adaptif dibandingkan sistem monitoring manual (Kameswari et al., 2025; Naser et al., 2025). Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada aspek teknis sistem

Pendampingan penerapan sistem monitoring suhu berbasis sensor dan sistem sirkulasi udara pada proses fermentasi di LPPNU Tani Sejahtera

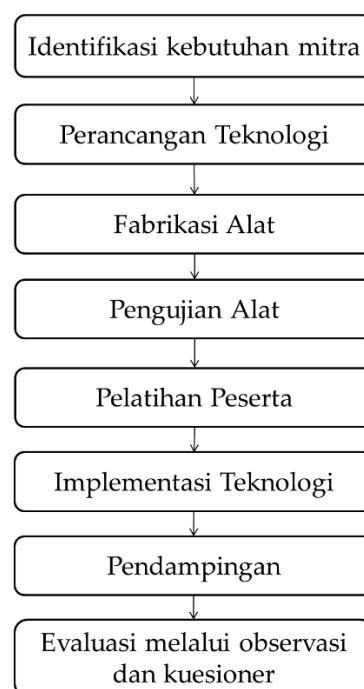
fermentasi, sedangkan penerapannya pada kelompok tani melalui pendekatan pemberdayaan masyarakat masih relatif terbatas. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan antara perkembangan teknologi dan implementasinya pada masyarakat sebagai pengguna akhir (Kameswari et al., 2025; Rochaeni et al., 2024; Wang et al., 2024).

Berdasarkan permasalahan tersebut, program pengabdian ini menawarkan solusi melalui penerapan sistem monitoring suhu berbasis sensor digital yang diintegrasikan dengan sistem sirkulasi udara (*forced aeration*) berbasis blower pada fermentor berkapasitas 80 kg, disertai pelatihan, pendampingan teknis, dan evaluasi secara partisipatif. Berbeda dengan program pendampingan konvensional yang umumnya hanya menekankan penyuluhan atau pelatihan penggunaan alat, kegiatan ini mengintegrasikan inovasi teknologi dengan penguatan kapasitas sumber daya manusia sehingga mitra tidak hanya menerima teknologi, tetapi juga mampu mengoperasikan, memelihara, dan mengembangkan teknologi tersebut secara mandiri. Pendekatan ini diharapkan dapat mendukung pengelolaan proses fermentasi secara lebih terstruktur melalui pemanfaatan teknologi monitoring suhu dan sistem aerasi, sekaligus memperkuat keberlanjutan pengelolaan limbah organik di tingkat masyarakat.

Dengan demikian, tujuan kegiatan pengabdian ini adalah menerapkan sistem monitoring suhu berbasis sensor dan sistem sirkulasi udara menggunakan blower melalui pendekatan pendampingan partisipatif untuk meningkatkan kapasitas kelompok tani dalam mengoperasikan teknologi tepat guna serta memperkuat penerimaan teknologi pada proses fermentasi pupuk organik.

METODE

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PkM) dilaksanakan di LPPNU Tani Sejahtera, Desa Duwet, Kecamatan Tumpang, Kabupaten Malang pada Februari–Oktober 2025. Sasaran kegiatan adalah kelompok tani yang memproduksi pupuk organik berbahan baku limbah ternak. Program ini menerapkan pendekatan partisipatif (*participatory approach*) dengan melibatkan mitra pada seluruh tahapan kegiatan, mulai dari identifikasi kebutuhan dan permasalahan, perancangan teknologi, implementasi, hingga evaluasi. Pendekatan ini dipilih untuk memastikan teknologi yang dikembangkan sesuai dengan kebutuhan operasional mitra sekaligus meningkatkan peluang adopsi dan keberlanjutan pemanfaatan teknologi.



Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Proses

Pendampingan penerapan sistem monitoring suhu berbasis sensor dan sistem sirkulasi udara pada proses fermentasi di LPPNU Tani Sejahtera

Metode pelaksanaan mengadopsi siklus *Plan-Do-Check-Act* (PDCA) yang dikombinasikan dengan prinsip *Participatory Rural Appraisal* (PRA) sehingga setiap tahapan dilakukan secara kolaboratif antara tim PkM dan mitra. Secara umum kegiatan ini terdiri atas empat tahapan utama seperti yang dapat dilihat di Gambar 1, yaitu: (1) identifikasi kebutuhan mitra; (2) perancangan, fabrikasi, dan pengujian alat; (3) pelatihan dan implementasi teknologi; serta (4) evaluasi kegiatan.

Identifikasi Kebutuhan Mitra

Tahap awal dilakukan melalui observasi lapangan, wawancara semi-terstruktur, dan *focus group discussion* (FGD) bersama pengurus serta anggota kelompok tani. Kegiatan ini bertujuan mengidentifikasi kondisi eksisting proses fermentasi, memetakan permasalahan teknis, mengevaluasi kapasitas sumber daya manusia, serta menentukan spesifikasi teknologi yang sesuai dengan kebutuhan operasional mitra. Pendekatan partisipatif pada tahap identifikasi memungkinkan solusi yang dirancang lebih adaptif terhadap kondisi nyata di lapangan dan meningkatkan peluang keberhasilan implementasi teknologi.

Hasil identifikasi menunjukkan beberapa permasalahan utama, yaitu lamanya waktu fermentasi, fluktuasi suhu selama proses dekomposisi, keterbatasan sistem aerasi, belum tersedianya sistem monitoring suhu secara *real-time*, serta rendahnya kapasitas mitra dalam melakukan pengendalian proses berbasis data. Berdasarkan hasil analisis kebutuhan tersebut, dirancang alat fermentasi pupuk organik yang dilengkapi sistem monitoring suhu berbasis sensor digital dan sistem aerasi paksa (*forced aeration*) menggunakan blower sesuai kapasitas produksi mitra.

Perancangan, Fabrikasi, dan Pengujian Alat

Perancangan dan fabrikasi alat dilaksanakan pada Februari–Juni 2025 di Laboratorium Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang. Tahapan ini meliputi penyusunan desain konseptual, pemilihan material dan komponen, fabrikasi reaktor fermentasi, integrasi sensor suhu digital, instalasi sistem aerasi berbasis blower, serta pengujian awal terhadap seluruh komponen.

Alat fermentasi dirancang dengan kapasitas efektif 80 kg limbah organik per siklus fermentasi. Desain alat mengacu pada prinsip pengomposan aerobik dengan pengendalian suhu dan aerasi sebagai parameter utama yang menentukan aktivitas mikroorganisme serta efisiensi proses fermentasi (Aboutayeb et al., 2023; Li et al., 2013; Wang et al., 2024). Sistem monitoring menggunakan sensor suhu digital yang dipasang pada zona aktif fermentasi untuk memantau suhu fermentasi secara berkala (Kameswari et al., 2025; Naser et al., 2025), sedangkan blower digunakan untuk mengatur suplai udara sehingga kondisi secara aerob tetap terjaga (Qasim et al., 2019; Wang et al., 2024). pengujian awal dilakukan untuk memastikan sensor suhu, sistem aerasi, dan seluruh komponen alat berfungsi sesuai spesifikasi sebelum diimplementasikan kepada mitra. Tahapan ini bertujuan memastikan seluruh komponen bekerja sesuai spesifikasi sebelum diimplementasikan pada mitra.

Pelatihan dan Implementasi Teknologi

Tahap implementasi dilaksanakan pada Juli 2025 melalui kegiatan pelatihan, demonstrasi, praktik langsung, dan pendampingan teknis kepada anggota kelompok tani. Metode pelatihan menerapkan prinsip *experiential learning*, yaitu pembelajaran melalui pengalaman langsung sehingga peserta tidak hanya memahami konsep, tetapi juga mampu mengoperasikan teknologi secara mandiri.

Materi pelatihan meliputi prinsip fermentasi secara aerob, pengaruh suhu terhadap aktivitas mikroorganisme dekomposer, fungsi aerasi dalam mempertahankan kondisi secara aerob, prosedur pengoperasian alat, pemeliharaan sistem monitoring, serta identifikasi potensi gangguan operasional. Setelah penyampaian materi, peserta melakukan simulasi pengoperasian alat dengan memantau perubahan suhu secara *real-time*, mengatur operasi blower sesuai kondisi fermentasi, dan mengevaluasi kondisi proses berdasarkan data yang diperoleh.

Selama masa implementasi, tim pengabdian melakukan pendampingan secara berkala untuk memastikan seluruh peserta mampu mengoperasikan alat, melakukan perawatan sederhana, serta

Pendampingan penerapan sistem monitoring suhu berbasis sensor dan sistem sirkulasi udara pada proses fermentasi di LPPNU Tani Sejahtera

memanfaatkan data hasil monitoring sebagai dasar pengambilan keputusan dalam pengelolaan proses fermentasi.

Evaluasi Efektivitas Program

Evaluasi kegiatan difokuskan pada peningkatan kapasitas mitra melalui observasi selama implementasi teknologi dan kuesioner yang mengukur tingkat pemahaman, kemudahan penggunaan teknologi, manfaat yang dirasakan, serta tingkat penerimaan peserta terhadap teknologi yang diterapkan. Sebanyak lima peserta mengikuti seluruh rangkaian kegiatan dan mengisi kuesioner evaluasi (response rate 100%). Seluruh data dianalisis secara deskriptif berdasarkan hasil observasi dan kuesioner setelah kegiatan pendampingan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi Teknologi Fermentasi Berbasis Sensor Suhu dan Sistem Sirkulasi Udara

Implementasi teknologi fermentasi dilaksanakan melalui tahapan sosialisasi, pelatihan teknis, demonstrasi alat, praktik, serta pendampingan kepada mitra LPPNU Tani Sejahtera. Seluruh rangkaian kegiatan dirancang secara partisipatif agar anggota kelompok tani tidak hanya memahami prinsip kerja alat, tetapi juga mampu mengoperasikan peralatan tersebut secara mandiri. Pendekatan ini bertujuan untuk meningkatkan implementasi teknologi serta menjamin keberlanjutan pemanfaatan alat setelah program PkM selesai. Dokumentasi kegiatan demo alat pada PkM ini dapat dilihat di Gambar 2.



Gambar 2. Kegiatan demo alat proses fermentasi dengan teknologi sensor suhu dan sirkulasi udara

Teknologi yang diterapkan pada kegiatan ini berupa reaktor fermentasi berkapasitas 80 kg yang dilengkapi dengan sensor suhu digital dan sistem aerasi paksa (*forced aeration*) menggunakan blower. Sebelum implementasi teknologi, proses fermentasi di LPPNU Tani Sejahtera dilakukan tanpa pemantauan suhu sehingga perubahan kondisi fermentasi tidak dapat diketahui secara langsung dan tindakan korektif bergantung pada pengalaman operator. Setelah sistem monitoring suhu diterapkan, peserta dapat memantau kondisi fermentasi secara *real-time*, sehingga proses pemantauan dan pengambilan keputusan menjadi lebih terarah. Berdasarkan hasil observasi selama demonstrasi dan praktik lapangan, seluruh peserta mampu mengoperasikan sistem monitoring suhu dan memanfaatkan informasi suhu untuk mendukung pemantauan proses fermentasi. Temuan ini sejalan dengan laporan bahwa penerapan sistem monitoring suhu berbasis sensor dan pengendalian aerasi mampu mendukung pengelolaan proses fermentasi aerob secara lebih efektif melalui penyediaan informasi kondisi proses secara berkelanjutan (Li et al., 2013; Wang et al., 2024).

Selama kegiatan PkM dilaksanakan, peserta antusias berdiskusi untuk pengoperasian peralatan fermentasi yang ditawarkan oleh tim PkM. Hal ini dapat dilihat pada dokumentasi pada Gambar 3.

Pendampingan penerapan sistem monitoring suhu berbasis sensor dan sistem sirkulasi udara pada proses fermentasi di LPPNU Tani Sejahtera



Gambar 3. Diskusi dan tanya jawab mengenai pengoperasian sistem monitoring suhu berbasis sensor dan sistem sirkulasi udara pada proses fermentasi

Selama demonstrasi alat seluruh peserta mampu mengikuti tahapan pengoperasian mulai dari menyalakan sistem monitoring, membaca suhu pada layar, hingga mengoperasikan *blower* sesuai petunjuk. Berdasarkan hasil observasi tim pengabdian, peserta tidak mengalami kendala berarti dalam mengoperasikan alat setelah mendapatkan pendampingan. Keterlibatan aktif pengguna selama proses implementasi merupakan faktor penting dalam meningkatkan penerimaan inovasi serta mempercepat adopsi teknologi pada masyarakat. Seluruh peserta berhasil menyelesaikan simulasi pengoperasian alat secara mandiri setelah mengikuti pelatihan dan pendampingan, yang menunjukkan bahwa proses transfer teknologi berlangsung dengan baik.

Peningkatan Kapasitas Mitra

Selain meningkatkan kapasitas sumber daya manusia dalam pengoperasian teknologi, program pengabdian ini juga memperkuat pemahaman peserta mengenai proses fermentasi dan penggunaan sistem monitoring suhu. Penguatan kapasitas dilakukan melalui kombinasi kegiatan sosialisasi, pelatihan teknis, demonstrasi alat, praktik langsung, serta pendampingan selama proses implementasi teknologi. Pendekatan tersebut dirancang agar peserta tidak hanya memahami konsep fermentasi secara aerob, tetapi juga memiliki keterampilan praktis dalam mengoperasikan teknologi yang diterapkan. Hal tersebut dievaluasi melalui kuesioner yang diisi oleh seluruh peserta setelah kegiatan pendampingan. Dokumentasi pengisian kuesioner disajikan pada Gambar 4, sedangkan rekapitulasi hasil kuesioner disajikan pada Gambar 5.

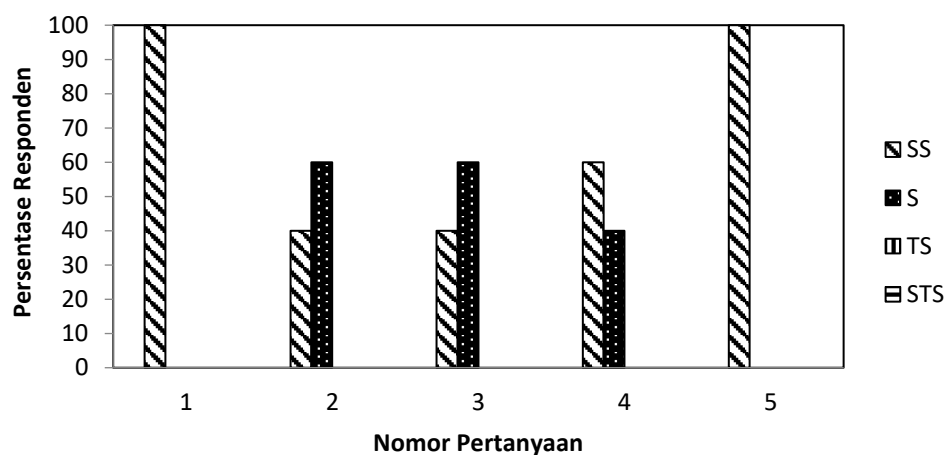


Gambar 4. Pengisian kuesioner mengenai pelaksanaan kegiatan PkM proses fermentasi dengan teknologi sensor suhu dan sirkulasi udara

Pendampingan penerapan sistem monitoring suhu berbasis sensor dan sistem sirkulasi udara pada proses fermentasi di LPPNU Tani Sejahtera

Hasil evaluasi melalui kuesioner pada Gambar 5 menunjukkan bahwa sebanyak 5 peserta (100%) menyatakan kegiatan pengabdian mampu memberikan solusi terhadap permasalahan yang selama ini dihadapi dalam proses produksi pupuk organik. Selain itu, 60% peserta menyatakan setuju dan 40% peserta menyatakan sangat setuju bahwa kegiatan pendampingan meningkatkan pemahaman teknis mereka mengenai proses fermentasi dan pengoperasian alat. Tingginya tingkat persetujuan tersebut menunjukkan bahwa teknologi yang diperkenalkan dapat diterima dengan baik oleh mitra serta sesuai dengan kebutuhan operasional kelompok tani.

Peningkatan kapasitas tidak hanya tercermin dari persepsi peserta terhadap kegiatan, tetapi juga dari peningkatan kemampuan operasional selama praktik lapangan. Berdasarkan hasil observasi selama praktik lapangan, peserta mampu memahami prinsip fermentasi secara aerob, membaca data suhu secara *real-time*, mengoperasikan sistem blower, serta melakukan pemantauan kondisi fermentasi berdasarkan parameter suhu. Kemampuan tersebut menunjukkan bahwa proses transfer teknologi tidak berhenti pada penyampaian informasi, tetapi berhasil meningkatkan keterampilan teknis yang dapat diterapkan secara mandiri dalam kegiatan produksi pupuk organik.



Gambar 5. Hasil evaluasi peserta terhadap pelaksanaan kegiatan PkM menggunakan kuesioner

Secara keseluruhan, peningkatan kapasitas mitra menunjukkan bahwa keberhasilan program tidak hanya diukur dari implementasi teknologi yang diterapkan, tetapi juga dari kemampuan masyarakat dalam mengoperasikan, memelihara, dan mengembangkan teknologi tersebut secara mandiri. Dengan demikian, transfer teknologi yang dilakukan melalui program pengabdian ini memiliki potensi keberlanjutan yang lebih tinggi karena didukung oleh peningkatan kompetensi pengguna sebagai pelaku utama dalam proses produksi pupuk organik.

Keberlanjutan Program

Keberlanjutan program merupakan salah satu indikator penting dalam keberhasilan kegiatan pengabdian kepada masyarakat karena menunjukkan bahwa manfaat teknologi tetap dapat dirasakan oleh mitra setelah kegiatan pendampingan berakhir. Dalam program ini, strategi keberlanjutan tidak hanya difokuskan pada penyerahan teknologi, tetapi juga pada penguatan kapasitas sumber daya manusia dan kelembagaan lokal sehingga teknologi dapat dioperasikan, dipelihara, dan dikembangkan secara mandiri oleh kelompok tani.

Keberlanjutan program dirancang melalui tiga strategi utama. Pertama, penguatan kapasitas mitra dilakukan melalui penyediaan modul operasional, pelatihan teknis, serta pendampingan lanjutan agar anggota kelompok tani memiliki kemampuan dalam mengoperasikan, melakukan pemeliharaan sederhana, serta menyelesaikan permasalahan teknis yang mungkin muncul selama penggunaan alat. Pendekatan ini bertujuan membangun kemandirian mitra sehingga ketergantungan terhadap tim pelaksana dapat dikurangi secara bertahap.

Pendampingan penerapan sistem monitoring suhu berbasis sensor dan sistem sirkulasi udara pada proses fermentasi di LPPNU Tani Sejahtera

Kedua, penyerahan alat fermentasi kepada kelompok tani merupakan bentuk nyata transfer teknologi yang memungkinkan inovasi tetap dimanfaatkan secara berkelanjutan. Kepemilikan alat oleh mitra diharapkan meningkatkan rasa memiliki (*sense of ownership*) sekaligus mendorong tanggung jawab dalam pemeliharaan dan pemanfaatan teknologi sebagai bagian dari aktivitas produksi sehari-hari. Kepemilikan teknologi merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap keberhasilan adopsi inovasi pada masyarakat karena meningkatkan komitmen pengguna dalam mempertahankan pemanfaatannya.

Ketiga, penguatan jejaring kelembagaan dilakukan melalui kolaborasi dengan pemerintah desa, kelompok masyarakat, dan pelaku usaha lokal sebagai upaya mendukung keberlanjutan produksi serta pengembangan pemasaran pupuk organik. Jejaring tersebut diharapkan dapat memperluas peluang pemanfaatan produk, meningkatkan akses terhadap pembinaan dan dukungan kelembagaan, serta membuka kesempatan pengembangan usaha berbasis ekonomi sirkular di tingkat desa (Kirchherr et al., 2017; Ramadhani et al., 2025). Keterlibatan berbagai pemangku kepentingan menjadi faktor penting dalam menjaga keberlanjutan inovasi karena memungkinkan adanya dukungan teknis, sosial, maupun ekonomi secara berkelanjutan (Food and Agriculture Organization, 2018; Ramadhani et al., 2025).

Selain ketiga strategi tersebut, peningkatan kapasitas mitra yang telah dicapai selama pelatihan menjadi modal utama dalam menjaga keberlanjutan program. Kemampuan anggota kelompok tani dalam mengoperasikan sistem monitoring suhu, mengendalikan aerasi, serta melakukan evaluasi proses fermentasi memungkinkan teknologi tetap digunakan secara mandiri tanpa bergantung pada pendampingan intensif dari tim pelaksana. Dengan demikian, keberhasilan program tidak hanya diukur dari keberhasilan implementasi teknologi selama kegiatan berlangsung, tetapi juga dari kemampuan masyarakat untuk melanjutkan, memanfaatkan, dan mengembangkan inovasi tersebut secara berkelanjutan.

Secara keseluruhan, integrasi antara transfer teknologi, penguatan kapasitas sumber daya manusia, dan pengembangan jejaring kelembagaan menunjukkan bahwa program ini tidak berhenti pada tahap demonstrasi teknologi, tetapi berkembang menjadi model pemberdayaan masyarakat berbasis inovasi yang memiliki potensi untuk direplikasi pada kelompok tani lain dengan karakteristik permasalahan yang serupa (Kirchherr et al., 2017; Pretty, 1995; Ramadhani et al., 2025).

SIMPULAN DAN SARAN

Implementasi sistem monitoring suhu berbasis sensor digital memberikan kemudahan bagi mitra dalam melakukan pemantauan proses fermentasi dan meningkatkan kapasitas peserta dalam mengoperasikan teknologi. Berdasarkan hasil evaluasi melalui kuesioner, seluruh peserta memberikan tanggapan positif terhadap penerapan teknologi, sedangkan mayoritas peserta menyatakan terjadi peningkatan pemahaman dan keterampilan setelah kegiatan pendampingan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa integrasi teknologi tepat guna dengan pendekatan partisipatif efektif mendukung transfer pengetahuan dan penerimaan teknologi pada kelompok tani.

Keberlanjutan program perlu didukung melalui pendampingan berkala, penguatan kapasitas kelembagaan kelompok tani, serta pengembangan jejaring dengan pemerintah daerah, BUMDes, dan pelaku usaha agar teknologi yang telah diterapkan dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan dan memberikan dampak yang lebih luas. Pengembangan selanjutnya disarankan mengintegrasikan parameter pemantauan lain, seperti kelembapan dan pH, serta sistem pencatatan data berbasis digital atau *Internet of Things* (IoT) untuk meningkatkan akurasi pengendalian proses fermentasi. Selain itu, implementasi teknologi pada skala produksi yang lebih besar disertai evaluasi terhadap mutu pupuk organik sesuai standar nasional, kelayakan ekonomi, dan manfaat lingkungan perlu dilakukan untuk memperkuat bukti efektivitas teknologi sekaligus mendukung replikasi model pemberdayaan masyarakat berbasis inovasi teknologi pada wilayah lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penghargaan dan terima kasih disampaikan kepada Politeknik Negeri Malang (DIPA No: SP DIPA-139.03.2.693474/2025) atas pendanaan kegiatan ini. Terima kasih juga kami sampaikan kepada LPPNU Tani Sejahtera dan seluruh pihak di Desa Duwet, Kecamatan Tumpang, Kabupaten Malang yang telah membantu kelancaran implementasi teknologi di lapangan.

DAFTAR RUJUKAN

- Aboutayeb, R., El-Mrini, S., Zouhri, A., & Azim, K. (2023). Effect of carbon to nitrogen ratio and aeration rate on phosphorus and exchangeable cation contents and their leaching in the soil during olive pomace and turkey manure co-composting. *Journal of Engineering and Applied Science*, 70(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s44147-023-00177-w>
- Agegehu, G., Bass, A. M., Nelson, P. N., & Bird, M. I. (2016). Benefits of biochar, compost and biochar-compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *Science of the Total Environment*, 543, 295–306. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.054>
- Elizabeth, R. (2021). Biogas, Renewable Energy Mendukung Pertanian Bioindustri Biogas, Renewable Energy To Supports Bioindustry Agriculture. *Journal of Scientech Research and Development*, 3(1), 1–15. <http://idm.or.id/JSCR>
- Food and Agriculture Organization. (2018). *Livestock and environment statistics : manure and greenhouse gas emissions Global , regional and country trends*.
- Kameswari, S. G. V., Basavaraju, A., Kumar, C. S., & Bapat, J. (2025). Compost Monitoring System for Kitchen Waste Management: Development, Deployment and Analysis. *Internet of Things*, 6(4). <https://doi.org/10.3390/iot6040064>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127(September), 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Lai, J. C., Then, Y. L., Hwang, S. S., Tam, Y. C., & Chua, C. C. N. (2025). Modelling Temperature Profiles in Food Waste Composting: Monod Kinetics Under Varied Aeration Conditions. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 9(3), 839–853. <https://doi.org/10.1007/s41660-024-00480-w>
- Li, Z., Lu, H., Ren, L., & He, L. (2013). Experimental and modeling approaches for food waste composting: A review. *Chemosphere*, 93(7), 1247–1257. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.06.064>
- Naser, A. G., Nawi, N. M., Zakaria, M. R., Kassim, M. S. M., Mutalovich, A. A., & Nasir, M. A. M. (2025). Design and Implementation of an Integrated Sensor Network for Monitoring Abiotic Parameters During Composting. *Sustainability (Switzerland)*, 17(21), 1–27. <https://doi.org/10.3390/su17219780>
- Noor, R. S., Shah, A. N., Tahir, M. B., Umair, M., Nawaz, M., Ali, A., Ercisli, S., Abdelsalam, N. R., Ali, H. M., Yang, S. H., Ullah, S., & Assiri, M. A. (2024). Recent Trends and Advances in Additive-Mediated Composting Technology for Agricultural Waste Resources: A Comprehensive Review. *ACS Omega*, 9(8), 8632–8653. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c06516>
- Pretty, J. N. (1995). Participatory learning for sustainable agriculture. *World Development*, 23(8), 1247–1263. [https://doi.org/10.1016/0305-750X\(95\)00046-F](https://doi.org/10.1016/0305-750X(95)00046-F)
- Qasim, W., Moon, B. E., Okyere, F. G., Khan, F., Nafees, M., & Kim, H. T. (2019). Influence of aeration rate and reactor shape on the composting of poultry manure and sawdust. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 69(5), 633–645. <https://doi.org/10.1080/10962247.2019.1569570>
- Ramadhani, F. S., Maydida, T. D., Widiatmoko, J. A., Setiyaningsih, H., Astri, A. M. M., Marshanda, A. R., Wulandari, S., Hasanah, U., Anggraeni, A. K. A., Andrian, B. W., Achyana, M. A., Mahardhika, W., Mardiyah, S., & Purba, A. (2025). Empowering communities for sustainable organic waste management: A composter-based approach. *Community Empowerment*, 10(6), 1376–1386. <https://doi.org/10.31603/ce.13145>

Pendampingan penerapan sistem monitoring suhu berbasis sensor dan sistem sirkulasi udara pada proses fermentasi di LPPNU Tani Sejahtera

-
- Ren, K., Su, L., Zhang, Y., He, X., & Cai, X. (2023). Optimization and Experiment of Livestock and Poultry Manure Composting Equipment with Vented Heating. *Sustainability*, 15(11353), 1–22. <https://doi.org/10.3390/su151411353>
- Rochaeni, A., Ariantara, B., Mulyatna, L., Nugraha, A., & Apriansyah, R. (2024). The Effect of Air Flow and Stirring Frequency in Continuous Thermophilic Composting. *Journal of Community Based Environmental Engineering and Management*, 8(8), 75–84. <https://doi.org/10.23969/jcbeem.v8i1.12958>
- Wang, Y., Xu, P. X., Wang, Y., Su, J., Xu, Z., Jiang, Z., Wei, Y., Hang, S., Ding, X., Zhang, H., Zhang, L., Liu, Y., & Li, J. (2024). Effects of aeration modes and rates on nitrogen conversion and bacterial community in composting of dehydrated sludge and corn straw. *Frontiers in Microbiology*, 15(March), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1372568>