



Penerapan Sistem Komposter Berbasis Internet of Things (IoT) untuk Optimalisasi Pengelolaan Sampah Organik dan Peningkatan Nilai Tambah di PT Makmur Jaya Sragen

Slamet Kurniawan Fahrurrozi^{1*}, Cucuk Wawan Budiyanto¹, Febri Liantoni¹, Yufia Hafid Aristyagama¹, Puspanda Hatta¹, Nurcahya Pradana Taufik Prakisy¹, Rosihan Ari Yuana¹, Vearen Dika Sofirudin¹

¹Program Studi Pendidikan Teknik Informatika dan Komputer Universitas Sebelas Maret Indonesia

ARTICLE INFO

Article History

Received : Jun, 26, 2026

1st Revision : Jun, 29, 2026

Accepted : Jun, 30, 2026

Available Online : Oct, 15, 2026

Keywords:

Internet of Things (IoT); komposter; pengelolaan sampah organik; pemantauan suhu; pengabdian kepada masyarakat

ABSTRACT

Organic waste management that relies primarily on disposal to landfills remains a common issue in the cleaning service sector, including at PT Makmur Jaya Sragen. This condition not only increases operational costs but also leads to the loss of potential economic value from organic waste. This community service program aims to implement an Internet of Things (IoT)-based composting system as a practical solution for more measurable, efficient, and sustainable organic waste management. The implementation method includes initial surveys and needs assessment, program socialization, technical training, system installation, as well as mentoring and evaluation. The proposed system utilizes temperature sensors as the primary indicator to monitor the decomposition process, enabling partners to determine composting cycles based on real-time data. The results demonstrate that the partner is able to independently operate the system, interpret composting stages based on temperature monitoring, and reduce reliance on landfill disposal. Evaluation results also revealed consistently high participant responses, with average questionnaire scores ranging from 4.30 to 4.50, reflecting substantial improvements in technological competence, waste management practices, and preparedness to sustain the program beyond the intervention period. The implementation also produces compost that can be utilized as a value-added product. Overall, this program demonstrates that simple IoT-based technology can serve as an effective solution in transforming organic waste management into a more controlled, data-driven, and sustainable system.

ABSTRAK

Pengelolaan sampah organik yang masih berbasis pembuangan ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) menjadi permasalahan umum pada sektor jasa kebersihan, termasuk di PT Makmur Jaya Sragen. Kondisi ini tidak hanya meningkatkan biaya operasional, tetapi juga menyebabkan hilangnya potensi nilai tambah dari sampah organik. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan untuk mengimplementasikan sistem komposter berbasis Internet of Things (IoT) sebagai solusi pengelolaan sampah organik yang lebih terukur, efisien, dan berkelanjutan. Metode pelaksanaan meliputi survei dan identifikasi kebutuhan, sosialisasi program, pelatihan teknis, instalasi sistem, serta pendampingan dan evaluasi. Sistem yang diterapkan memanfaatkan sensor suhu sebagai indikator utama dalam memantau proses dekomposisi, sehingga mitra dapat menentukan siklus pengomposan secara berbasis data. Hasil kegiatan menunjukkan bahwa mitra mampu mengoperasikan sistem secara mandiri, memahami tahapan pengomposan berdasarkan hasil pemantauan suhu, serta mengurangi ketergantungan terhadap pembuangan sampah ke TPA. Hasil evaluasi juga menunjukkan respons peserta yang secara konsisten berada pada kategori tinggi, dengan nilai rata-rata kuesioner berkisar antara 4,30 hingga 4,50. Temuan tersebut mencerminkan adanya

*Corresponding Author

Email address:

skfahrurrozi@staff.uns.ac.id

peningkatan yang signifikan dalam kompetensi teknologi, praktik pengelolaan sampah, serta kesiapan mitra untuk melanjutkan penerapan program secara mandiri dan berkelanjutan setelah kegiatan pengabdian selesai dilaksanakan. Implementasi sistem ini juga menghasilkan produk kompos yang dapat dimanfaatkan sebagai nilai tambah. Secara keseluruhan, kegiatan ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi IoT sederhana dapat menjadi solusi efektif dalam mendukung transformasi pengelolaan sampah organik menuju sistem yang lebih modern, terkontrol, dan berkelanjutan.

Dedikasi: *Community Service Reports* by UNS is licensed under Creative Commons Attribution



1. LATAR BELAKANG

Permasalahan sampah masih menjadi isu strategis dalam pembangunan berkelanjutan, khususnya di wilayah perkotaan dan sektor jasa yang memiliki aktivitas operasional tinggi (Al-Raei, 2025; Ferronato et al., 2024). Peningkatan timbulan sampah tidak hanya dipengaruhi oleh pertumbuhan penduduk, tetapi juga oleh meningkatnya aktivitas ekonomi, termasuk pada sektor jasa kebersihan (*cleaning service*) (Sutisna, Koestoer, & Lukijanto, 2025). Sampah organik merupakan komponen dominan dalam timbulan sampah yang apabila tidak dikelola dengan baik dapat menimbulkan berbagai dampak lingkungan, seperti pencemaran, bau tidak sedap, serta peningkatan emisi gas rumah kaca (Jindo, Sonoki, & Sánchez-Monedero, 2025). Di Indonesia, pengelolaan sampah masih didominasi oleh pendekatan konvensional berupa pengumpulan dan pembuangan ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Ketergantungan terhadap TPA menyebabkan berbagai permasalahan, seperti keterbatasan kapasitas lahan dan meningkatnya biaya operasional. Selain itu, rendahnya tingkat pemanfaatan kembali sampah organik menunjukkan bahwa potensi limbah sebagai sumber daya belum dimanfaatkan secara optimal. Padahal, sampah organik dapat diolah menjadi kompos yang memiliki nilai guna dan nilai ekonomi melalui proses pengomposan (Amri et al., 2024; Jalalipour et al., 2025; Umiyati, Hastuti, Zevaya, & Prihanto, 2024). Salah satu sektor yang berkontribusi terhadap timbulan sampah organik adalah perusahaan jasa *cleaning service*. Aktivitas seperti pembersihan taman, pemangkasan vegetasi, serta pengelolaan lingkungan perkantoran menghasilkan limbah organik berupa daun, rumput, dan sisa makanan dalam jumlah yang cukup signifikan. Namun demikian, pada praktiknya, sebagian besar sampah tersebut masih diperlakukan sebagai limbah akhir yang langsung dibuang ke TPA tanpa melalui proses pengolahan. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengelolaan sampah organik pada sektor jasa kebersihan masih belum optimal dan belum berorientasi pada pemanfaatan.

PT Makmur Jaya Sragen sebagai mitra dalam kegiatan ini merupakan perusahaan yang bergerak di bidang jasa *cleaning service* dengan cakupan layanan di berbagai lokasi. Berdasarkan hasil observasi lapangan, perusahaan menghasilkan sekitar 70–90 kg sampah organik setiap hari yang didominasi oleh daun, rumput hasil pemangkasan, dan sisa organik dari aktivitas pemeliharaan lingkungan. Seluruh sampah tersebut masih dikumpulkan dan diangkut menuju Tempat Pembuangan Akhir (TPA), sehingga perusahaan harus mengalokasikan biaya pengangkutan sekitar Rp1.000.000 per bulan. Kondisi ini disebabkan oleh belum adanya sistem pengelolaan sampah yang terstruktur, keterbatasan pengetahuan teknis dalam pengomposan, serta tidak tersedianya indikator yang jelas dalam menentukan siklus pengolahan sampah organik. Akibatnya, proses pengelolaan masih berbasis kebiasaan dan perkiraan, sehingga sampah organik yang sebenarnya berpotensi diolah menjadi kompos justru menjadi beban operasional. Pengomposan sebagai metode pengolahan sampah organik sangat dipengaruhi oleh aktivitas mikroorganisme yang ditunjukkan melalui perubahan suhu selama proses dekomposisi. Suhu menjadi indikator utama yang dapat digunakan untuk mengetahui fase pengomposan, mulai dari fase aktif hingga fase pematangan (Ding & Wu, 2025; Rais & Rokhmah, 2025). Namun, dalam praktik konvensional, pemantauan suhu jarang dilakukan secara sistematis, sehingga proses pengomposan sulit dikontrol dan hasil yang diperoleh tidak konsisten. Seiring dengan perkembangan teknologi, *Internet of Things* (IoT) menawarkan solusi dalam bentuk sistem monitoring berbasis sensor yang mampu memberikan data secara real-time. Penerapan IoT dalam pengelolaan sampah organik memungkinkan proses pengomposan menjadi lebih terukur dan efisien (Chaware & Patil, 2025; Riazulhameed, Ranganathan, Pandey, Sasikala, & Murugan, 2024). Meskipun demikian, sebagian besar penerapan teknologi ini masih berfokus pada sistem yang kompleks dan kurang sesuai untuk kebutuhan mitra skala kecil atau sektor jasa yang membutuhkan solusi sederhana dan

mudah diimplementasikan.

Berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi, kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan untuk mengimplementasikan solusi praktis berbasis teknologi berupa sistem komposter dengan monitoring suhu berbasis Internet of Things (IoT) guna membantu PT Makmur Jaya Sragen dalam mengelola sampah organik secara terukur, meningkatkan efisiensi pengelolaan, serta menghasilkan nilai tambah dari limbah organik yang sebelumnya dibuang ke TPA.

2. TINJAUAN PUSTAKA

PENGELOLAAN SAMPAH ORGANIK DAN PENGOMPOSAN

Pengelolaan sampah organik merupakan salah satu aspek penting dalam mendukung sistem lingkungan yang berkelanjutan. Sampah organik, yang sebagian besar berasal dari sisa makanan, dedaunan, dan limbah biomassa lainnya, memiliki karakteristik mudah terurai sehingga berpotensi dimanfaatkan kembali melalui proses biologis. Salah satu metode yang paling banyak digunakan adalah pengomposan, yaitu proses dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme menjadi produk stabil berupa kompos yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk (Azmin, Irfan, Nasir, Hartati, & Nurbayan, 2022; Xie, Tran, Pu, & Zhang, 2023).

Secara ilmiah, proses pengomposan dipengaruhi oleh beberapa parameter utama, seperti suhu, kelembapan, aerasi, dan rasio karbon terhadap nitrogen (C/N ratio). Suhu menjadi indikator kunci karena mencerminkan aktivitas metabolisme mikroorganisme selama proses dekomposisi. Fase pengomposan umumnya terdiri dari fase mesofilik, termofilik, dan pematangan, yang masing-masing ditandai oleh perubahan suhu yang signifikan (Finore et al., 2023). Fase termofilik, misalnya, berperan penting dalam mempercepat degradasi bahan organik sekaligus menekan mikroorganisme patogen.

Dalam konteks implementasi di lapangan, khususnya pada sektor jasa dan skala operasional kecil-menengah, pengelolaan sampah organik seringkali masih dilakukan secara konvensional tanpa kontrol parameter yang memadai. Hal ini menyebabkan proses pengomposan menjadi tidak optimal, baik dari segi waktu maupun kualitas kompos yang dihasilkan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang mampu menjembatani konsep ilmiah pengomposan dengan praktik yang mudah diterapkan oleh pengguna non-teknis.

PEMANFAATAN TEKNOLOGI INTERNET OF THINGS (IOT) DALAM PENGOMPOSAN

Perkembangan teknologi digital, khususnya *Internet of Things* (IoT), telah membuka peluang baru dalam pengelolaan sampah organik yang lebih efisien dan berbasis data. IoT memungkinkan integrasi antara sensor, perangkat pengolah data, dan sistem komunikasi sehingga kondisi lingkungan dalam proses pengomposan dapat dipantau secara real-time.

Dalam pengomposan, penggunaan sensor seperti suhu, kelembapan, dan pH memungkinkan pengguna untuk memahami dinamika proses dekomposisi secara lebih akurat. Penelitian menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis IoT mampu meningkatkan efisiensi pengomposan melalui kontrol kondisi lingkungan yang lebih baik (Isyanto, Jumail, Rahayu, & Firmansyah, 2021; Tomicic, 2022). Selain itu, pendekatan berbasis data (*data-driven approach*) memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih tepat, seperti menentukan waktu pembalikan kompos atau penambahan bahan organik (Abioye et al., 2021).

Implementasi IoT dalam pengelolaan limbah biodegradable juga terbukti mampu meningkatkan efektivitas sistem secara keseluruhan, baik dari segi pengurangan volume limbah maupun peningkatan kualitas produk kompos (Isyanto et al., 2021). Namun, dalam konteks pengabdian kepada masyarakat, pendekatan teknologi yang digunakan perlu mempertimbangkan aspek kesederhanaan, keterjangkauan, dan kemudahan penggunaan. Oleh karena itu, sistem yang dikembangkan pada kegiatan ini difokuskan pada pemantauan suhu sebagai parameter utama. Suhu merupakan indikator yang paling representatif untuk menggambarkan aktivitas mikroorganisme dan tahapan dekomposisi, sehingga telah memadai sebagai dasar pengambilan keputusan dalam proses pengomposan. Sementara itu, parameter kelembapan dan pH tidak diintegrasikan ke dalam sistem IoT karena keduanya masih dapat dipantau melalui pengamatan dan pengukuran sederhana secara periodik tanpa memerlukan sensor digital, sehingga mampu menekan biaya implementasi sekaligus menjaga kemudahan penggunaan sistem oleh mitra nonteknis.

PEMBERDAYAAN DAN PELATIHAN PENGELOLAAN SAMPAH BERBASIS TEKNOLOGI

Keberhasilan implementasi teknologi dalam pengelolaan sampah tidak hanya bergantung pada aspek teknis,

tetapi juga pada kapasitas sumber daya manusia yang mengoperasikannya. Oleh karena itu, pendekatan pemberdayaan melalui pelatihan menjadi komponen penting dalam kegiatan pengabdian kepada masyarakat. Pelatihan pengelolaan sampah organik bertujuan untuk meningkatkan pengetahuan, keterampilan, serta kesadaran pengguna dalam mengelola limbah secara mandiri dan berkelanjutan. Studi menunjukkan bahwa pelatihan berbasis praktik (*hands-on training*) mampu meningkatkan pemahaman peserta secara signifikan, terutama dalam proses pengomposan (Pujiyanto, et al., 2025). Selain itu, integrasi teknologi dalam pelatihan memberikan nilai tambah berupa peningkatan literasi digital serta pemahaman berbasis ilmiah terhadap proses yang dilakukan (Lestariningsih, Putra, & Anshori, 2024). Pendekatan pemberdayaan yang efektif tidak hanya berhenti pada transfer pengetahuan, tetapi juga mencakup pendampingan dan pembentukan sistem kerja yang berkelanjutan. Dalam hal ini, penyusunan Standar Operasional Prosedur (SOP) menjadi bagian penting untuk memastikan bahwa teknologi yang diterapkan dapat digunakan secara konsisten dalam aktivitas sehari-hari. Dengan demikian, kombinasi antara teknologi, pelatihan, dan sistem manajemen menjadi kunci dalam menciptakan pengelolaan sampah organik yang efektif, efisien, dan berkelanjutan.

3. METODE PELAKSANAAN

SOSIALISASI DAN IDENTIFIKASI AWAL SISTEM PENGELOLAAN SAMPAH

Kegiatan pengabdian diawali dengan proses identifikasi kondisi eksisting mitra melalui observasi lapangan dan diskusi partisipatif. Tahap ini bertujuan untuk memahami secara komprehensif pola pengelolaan sampah organik yang selama ini dilakukan oleh PT Makmur Jaya Sragen, termasuk jenis dan volume sampah, alur kerja tenaga cleaning service, serta kendala yang dihadapi dalam pengelolaan limbah organik.

Selain itu, dilakukan sosialisasi program kepada mitra untuk memberikan pemahaman awal mengenai konsep pengomposan berbasis teknologi serta pentingnya pemanfaatan sampah organik sebagai sumber daya bernilai. Materi sosialisasi mencakup prinsip dasar proses dekomposisi, peran suhu sebagai indikator aktivitas mikroorganisme, serta gambaran umum sistem komposter berbasis Internet of Things (IoT) yang akan diterapkan. Kegiatan ini bertujuan untuk membangun kesamaan persepsi antara tim pelaksana dan mitra, sehingga program dapat diimplementasikan secara kolaboratif dan berkelanjutan. Sebagai panduan pelaksanaan kegiatan, disusun timeline program pengabdian yang menggambarkan tahapan kegiatan secara sistematis selama periode pelaksanaan, sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Timeline Kegiatan Pengabdian

No	Kegiatan	Minggu							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Identifikasi awal dan sosialisasi program	✓	✓						
2	Perancangan sistem IoT komposter		✓	✓	✓				
3	Instalasi alat pada komposter			✓	✓				
4	Pelatihan penggunaan sistem				✓	✓			
5	Pendampingan implementasi					✓	✓	✓	
6	Monitoring dan evaluasi						✓	✓	✓

INSTALASI SISTEM IOT KOMPOSTER

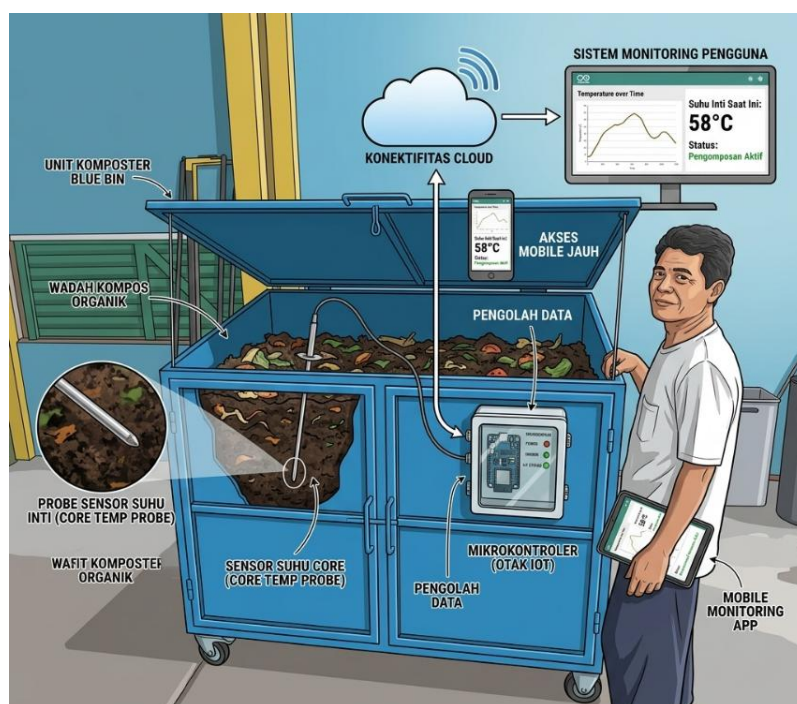
Tahap ini dilakukan setelah proses identifikasi kebutuhan mitra selesai dilaksanakan. Perancangan sistem diawali dengan penyusunan kebutuhan fungsional berdasarkan kondisi lapangan, meliputi karakteristik sampah organik yang dihasilkan, kapasitas komposter yang digunakan, serta kebutuhan informasi yang diperlukan oleh mitra selama proses pengomposan. Berdasarkan hasil identifikasi tersebut, tim pengabdian merancang sistem komposter berbasis Internet of Things (IoT) yang sederhana, mudah dioperasikan, serta sesuai dengan karakteristik operasional PT Makmur Jaya Sragen.

Proses perancangan dan perakitan perangkat melibatkan dua mahasiswa Program Studi Pendidikan Teknik Informatika dan Komputer (PTIK) Universitas Sebelas Maret yang berperan sebagai asisten teknis. Mahasiswa

membantu proses perakitan perangkat, pengujian awal sensor, konfigurasi mikrokontroler, serta instalasi sistem di lokasi mitra di bawah supervisi dosen.

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, sistem terdiri atas sensor suhu yang ditempatkan pada bagian inti komposter, mikrokontroler sebagai pengolah data, serta sistem monitoring yang menampilkan informasi suhu secara berkala. Sensor suhu digunakan untuk mendeteksi perubahan temperatur selama proses dekomposisi sebagai indikator aktivitas mikroorganisme. Informasi suhu tersebut selanjutnya dimanfaatkan sebagai dasar dalam menentukan tahapan pengomposan, waktu penambahan bahan organik, maupun evaluasi kondisi komposter.

Setelah proses perancangan selesai, dilakukan perakitan dan instalasi seluruh komponen pada komposter yang telah disiapkan di lokasi mitra. Tahap instalasi meliputi pemasangan sensor suhu, konfigurasi mikrokontroler, pengujian konektivitas, serta kalibrasi awal untuk memastikan data yang dihasilkan sesuai dengan kondisi aktual di dalam komposter. Pengujian fungsi sistem dilakukan sebelum kegiatan pelatihan agar seluruh perangkat telah beroperasi secara optimal dan siap digunakan oleh mitra selama proses implementasi.



Gambar 1. Ilustrasi sistem komposter berbasis IoT

PELATIHAN TEKNIS DAN IMPLEMENTASI SISTEM KOMPOSTER BERBASIS IOT

Setelah tahap sosialisasi, kegiatan dilanjutkan dengan pelatihan teknis yang bertujuan untuk meningkatkan kapasitas mitra dalam mengoperasikan sistem komposter berbasis IoT. Pada tahap ini, peserta diberikan pemahaman mengenai cara kerja sensor suhu sebagai indikator proses pengomposan, serta bagaimana data suhu dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan pengelolaan sampah organik. Pelatihan dilakukan secara aplikatif dengan pendekatan praktik langsung, di mana peserta diajarkan cara merakit dan menginstal sensor suhu pada komposter, serta memahami alur kerja sistem monitoring. Selain itu, peserta juga diperkenalkan pada cara membaca dan menginterpretasikan data suhu yang dihasilkan oleh sistem, sehingga mampu menentukan kondisi aktif maupun stabil dalam proses dekomposisi. Kegiatan ini juga mencakup penyusunan dan penerapan Standar Operasional Prosedur (SOP) pengelolaan sampah organik berbasis data suhu. SOP ini dirancang untuk mengintegrasikan penggunaan teknologi dengan aktivitas operasional sehari-hari, sehingga pengelolaan sampah tidak lagi berbasis kebiasaan, melainkan berbasis sistem yang terstruktur dan terukur.

PENDAMPINGAN IMPLEMENTASI DAN EVALUASI PROGRAM

Setelah pelatihan, dilakukan pendampingan implementasi untuk memastikan bahwa mitra mampu menerapkan sistem secara konsisten dalam aktivitas operasional. Pendampingan ini meliputi monitoring penggunaan komposter, pembacaan data suhu, serta penerapan SOP dalam pengelolaan sampah organik. Tim pengabdian juga memberikan asistensi teknis apabila terdapat kendala dalam penggunaan alat maupun interpretasi data.

Selama tahap ini dilakukan evaluasi program menggunakan beberapa instrumen, yaitu (1) lembar observasi untuk menilai konsistensi penggunaan sistem komposter berbasis IoT dan penerapan SOP oleh mitra, (2) dokumentasi hasil implementasi berupa kondisi komposter, proses pengomposan, dan pemanfaatan kompos, serta (3) kuesioner berbasis skala Likert yang diberikan kepada 20 peserta untuk mengukur tingkat pemahaman, kemampuan mengoperasikan sistem, persepsi terhadap manfaat teknologi, dan kesiapan mitra dalam melanjutkan program secara mandiri. Data hasil observasi dan kuesioner kemudian dianalisis secara deskriptif menggunakan nilai rata-rata setiap indikator sebagai dasar untuk mengevaluasi efektivitas penerapan teknologi serta tingkat keberlanjutan program.

Pendekatan evaluasi tersebut diharapkan mampu memberikan gambaran yang komprehensif mengenai keberhasilan implementasi sistem komposter berbasis IoT, baik dari aspek teknis maupun perubahan perilaku mitra dalam pengelolaan sampah organik. Selain itu, aspek keberlanjutan program juga menjadi perhatian utama, di mana mitra didorong untuk dapat mengelola sistem secara mandiri setelah kegiatan pengabdian selesai sehingga sistem pengelolaan sampah organik dapat terus diterapkan sebagai bagian dari praktik operasional perusahaan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

SOSIALISASI DAN PELATIHAN PENGELOLAAN KOMPOS BERBASIS IOT

Kegiatan sosialisasi dilaksanakan pada tahap awal program pengabdian dengan melibatkan sebanyak 20 peserta yang merupakan tenaga cleaning service dari PT Makmur Jaya Sragen. Kegiatan ini berlangsung selama satu hari dan difokuskan pada pemberian pemahaman dasar mengenai pengelolaan sampah organik, konsep pengomposan, serta pemanfaatan teknologi Internet of Things (IoT) dalam mendukung proses tersebut. Materi yang disampaikan meliputi prinsip dekomposisi bahan organik, peran suhu sebagai indikator aktivitas mikroorganisme, serta manfaat penggunaan sensor suhu dalam meningkatkan efektivitas pengomposan. Gambar 2 menunjukkan dokumentasi kegiatan sosialisasi dan pelatihan yang dilakukan bersama mitra.



(a)



(b)

Gambar 2. Kegiatan pengabdian (a) sosialisasi konsep pengomposan berbasis IoT, (b) pelatihan penggunaan sistem komposter.

Setelah kegiatan sosialisasi, dilanjutkan dengan pelatihan teknis yang bertujuan untuk memberikan keterampilan praktis kepada peserta dalam mengoperasikan sistem komposter berbasis IoT. Pada tahap ini, peserta diperkenalkan secara langsung dengan perangkat sensor suhu, cara membaca data monitoring, serta interpretasi data dalam menentukan fase pengomposan. Selain itu, peserta juga dilatih untuk menerapkan prosedur operasional sederhana dalam pengelolaan kompos berbasis data suhu. Untuk mengetahui tingkat penerimaan dan harapan peserta terhadap program, dilakukan penyebaran kuesioner setelah kegiatan sosialisasi dan

pelatihan. Kuesioner ini menggunakan skala Likert 1–5 dengan jumlah responden sebanyak 20 orang. Hasil rekapitulasi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Kuesioner Harapan Peserta terhadap Program Pengabdian

No	Pertanyaan	STS (1)	TS (2)	N (3)	S (4)	SS (5)	Rata-rata
1	Saya berharap dapat mengelola pengomposan secara mandiri di lingkungan kerja	0	0	2	10	8	4.3
2	Saya berharap teknologi IoT membantu memahami proses pengomposan	0	0	1	11	8	4.35
3	Saya berharap kegiatan ini dapat mengurangi sampah yang dibuang ke TPA	0	0	1	9	10	4.45
4	Saya berharap kegiatan ini memberikan manfaat ekonomi dari kompos	0	0	2	10	8	4.3
5	Saya berharap pelatihan ini meningkatkan keterampilan kerja saya	0	0	1	10	9	4.4
6	Saya berharap sistem ini dapat diterapkan secara berkelanjutan	0	0	1	9	10	4.45

Hasil kuesioner menunjukkan bahwa seluruh aspek yang diukur memperoleh nilai rata-rata di atas 4,30, yang berada pada kategori “setuju” hingga “sangat setuju”. Hal ini mengindikasikan bahwa peserta memiliki tingkat penerimaan yang tinggi terhadap program pengabdian yang dilaksanakan. Nilai rata-rata tertinggi terdapat pada pernyataan terkait harapan pengurangan sampah ke TPA dan keberlanjutan sistem (4,45), yang menunjukkan bahwa peserta memahami manfaat utama dari program ini dalam konteks lingkungan. Selain itu, peserta juga menunjukkan antusiasme terhadap peningkatan keterampilan kerja (4,40), yang mengindikasikan bahwa program ini tidak hanya memberikan solusi teknis, tetapi juga berkontribusi pada pengembangan kapasitas sumber daya manusia. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa kegiatan sosialisasi dan pelatihan berhasil membangun pemahaman awal sekaligus menumbuhkan motivasi peserta untuk mengimplementasikan sistem pengomposan berbasis IoT secara mandiri dan berkelanjutan.

Temuan tersebut menunjukkan bahwa pendekatan sosialisasi dan pelatihan yang dipadukan dengan praktik penggunaan sistem secara langsung mampu meningkatkan pemahaman serta kepercayaan peserta dalam mengadopsi teknologi baru. Tingginya harapan peserta terhadap penerapan komposter berbasis IoT mengindikasikan bahwa teknologi yang diperkenalkan dinilai sesuai dengan kebutuhan operasional di lapangan dan mudah dipahami oleh tenaga cleaning service. Hasil ini sejalan dengan penelitian Pujiyanto, Setyorini, Cahyani, Maurisa, & Mukaromah, (2025) yang menyatakan bahwa pelatihan berbasis praktik (hands-on training) lebih efektif dalam meningkatkan pemahaman peserta mengenai teknik pengelolaan sampah organik dibandingkan penyampaian materi secara teoritis. Selain itu, Lestariningsih, Putra, & Anshori, (2024) menjelaskan bahwa integrasi teknologi digital dalam kegiatan pelatihan tidak hanya meningkatkan literasi teknologi, tetapi juga membangun kesiapan pengguna untuk mengimplementasikan sistem secara mandiri. Dengan demikian, kegiatan sosialisasi dan pelatihan pada program ini tidak hanya berfungsi sebagai media transfer pengetahuan, tetapi juga menjadi tahapan penting dalam membangun kesiapan mitra untuk mengoperasikan sistem komposter berbasis IoT secara berkelanjutan.

IMPLEMENTASI SISTEM KOMPOSTER BERBASIS IOT

Tahap implementasi dilakukan setelah kegiatan pelatihan, dengan fokus pada pemasangan dan penggunaan sistem komposter berbasis sensor suhu di lokasi mitra. Sistem yang diterapkan terdiri dari komposter sebagai media pengolahan sampah organik, sensor suhu yang ditempatkan pada bagian inti sebagai alat monitoring, serta perangkat mikrokontroler yang berfungsi mengolah dan menampilkan data suhu secara berkala. Seluruh sistem dirancang sederhana agar mudah dioperasikan oleh mitra dalam aktivitas sehari-hari.

Proses implementasi diawali dengan instalasi perangkat pada komposter yang telah disiapkan, kemudian dilanjutkan dengan pengujian fungsi sistem untuk memastikan sensor mampu membaca suhu secara stabil. Setelah sistem berjalan, mitra mulai mengoperasikan komposter dengan memasukkan sampah organik seperti

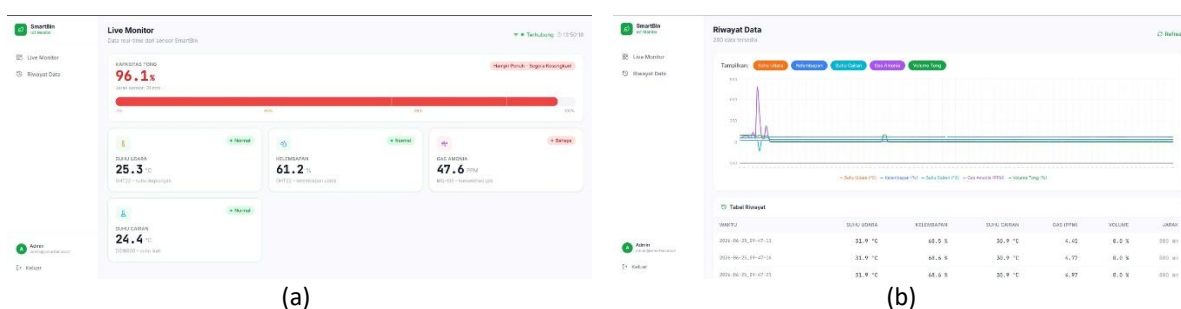
daun, rumput, dan sisa organik lainnya. Dokumentasi kegiatan instalasi dan implementasi sistem ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Implementasi sistem komposter berbasis IoT (a) pemasangan sensor suhu pada komposter, (b) penggunaan komposter oleh mitra.

Selama periode implementasi, proses pengomposan dipantau menggunakan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) yang menampilkan data sensor secara real-time. Gambar 4 menunjukkan tampilan sistem monitoring yang terdiri atas dashboard pemantauan, riwayat pencatatan data sensor, serta live monitoring kondisi komposter. Sistem ini mengintegrasikan beberapa sensor dengan fungsi yang berbeda, yaitu sensor DS18B20 untuk memantau suhu inti komposter sebagai indikator utama proses dekomposisi, sensor DHT22 untuk memantau suhu dan kelembapan lingkungan, sensor MQ-135 untuk memantau kondisi gas di sekitar komposter, serta sensor VL53L5CX untuk memantau volume material di dalam komposter. Selain itu, dashboard juga menampilkan informasi suhu lindi sebagai parameter pendukung untuk memantau kondisi sistem secara menyeluruh. Melalui sistem monitoring tersebut, mitra dapat memantau kondisi komposter secara langsung tanpa harus melakukan pengamatan secara manual.

Data pemantauan yang ditampilkan pada sistem monitoring menunjukkan adanya perubahan suhu inti komposter selama proses pengomposan berlangsung. Informasi suhu inti yang diperoleh dari sensor DS18B20 digunakan sebagai dasar bagi mitra untuk memahami tahapan dekomposisi, memantau perkembangan proses pengomposan, serta menentukan tindakan pengelolaan yang diperlukan berdasarkan data yang dihasilkan oleh sistem. Sementara itu, data suhu lingkungan, suhu lindi, kondisi gas, dan volume material berfungsi sebagai informasi pendukung untuk membantu memantau kondisi operasional komposter secara lebih komprehensif. Dengan demikian, proses pengelolaan sampah yang sebelumnya hanya mengandalkan pengalaman mulai beralih menjadi berbasis data yang lebih objektif dan terukur.



Gambar 4. Sistem Monitoring IoT Komposter (a) live monitor sensor, (b) grafik riwayat data.

Temuan ini sejalan dengan kajian Finore et al., (2023) yang menjelaskan bahwa perubahan suhu merupakan indikator utama dalam membedakan fase mesofilik, termofilik, dan pematangan selama proses pengomposan. Oleh karena itu, pemantauan suhu secara kontinu melalui sistem IoT mampu memberikan informasi yang memadai bagi mitra dalam mendukung pengambilan keputusan selama proses pengomposan.

Secara keseluruhan, penerapan sistem komposter berbasis IoT menunjukkan bahwa teknologi sederhana mampu meningkatkan efektivitas pengelolaan sampah organik, memperjelas indikator teknis dalam proses pengomposan, serta mendorong perubahan perilaku mitra menuju sistem pengelolaan yang lebih sistematis dan berkelanjutan.

EVALUASI DAMPAK DAN KEBERLANJUTAN PROGRAM

Evaluasi program dilakukan untuk mengukur efektivitas penerapan sistem komposter berbasis IoT serta tingkat keberlanjutan implementasi di lingkungan mitra. Pendekatan evaluasi dilakukan melalui dua metode, yaitu observasi langsung terhadap perubahan sistem pengelolaan sampah serta pengukuran persepsi mitra menggunakan kuesioner berbasis skala Likert.

Secara observasional, sebelum program dilaksanakan seluruh sampah organik yang dihasilkan dari aktivitas *cleaning service* langsung dibuang ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) tanpa proses pemanfaatan. Setelah implementasi program, terjadi perubahan pola pengelolaan, di mana sebagian sampah organik mulai diolah menggunakan komposter berbasis IoT. Selain itu, mitra mulai menggunakan data suhu sebagai dasar dalam menentukan siklus pengomposan, sehingga proses tidak lagi berbasis perkiraan. Perbandingan kondisi sebelum dan sesudah program disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Kondisi Pengelolaan Sampah Sebelum dan Sesudah Program

Aspek	Sebelum Program	Sesudah Program
Pengelolaan sampah	Seluruh sampah organik dibuang ke TPA	Sebagian sampah organik mulai dimanfaatkan sebagai bahan baku kompos
Sistem pengomposan	Tidak tersedia	Menggunakan komposter berbasis IoT dengan monitoring suhu
Dasar pengambilan keputusan	Berdasarkan kebiasaan dan perkiraan	Berdasarkan data suhu komposter
Pemanfaatan sampah organik	Belum dimanfaatkan	Mulai diolah menjadi kompos
Pola kerja	Belum memiliki SOP	Mengacu pada SOP pengelolaan komposter
Volume sampah ke TPA	$\pm 70\text{--}90$ kg sampah organik/hari diangkut ke TPA	Sekitar $60\text{--}80$ kg/hari masih dikirim ke TPA, sedangkan $\pm 10\text{--}15$ kg/hari mulai diolah menggunakan komposter IoT
Biaya operasional pengangkutan	$\pm \text{Rp}1.000.000/\text{bulan}$	Berpotensi menurun seiring berkurangnya volume sampah yang diangkut ke TPA

Hasil pada Tabel 3 menunjukkan adanya transformasi sistem pengelolaan sampah dari pola konvensional menuju sistem yang lebih terukur dan berbasis teknologi. Sebelum program dilaksanakan, seluruh sampah organik yang dihasilkan dari aktivitas *cleaning service*, sekitar $70\text{--}90$ kg per hari, seluruhnya diangkut menuju Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Setelah implementasi komposter berbasis Internet of Things (IoT), sebagian sampah organik mulai dialihkan ke proses pengomposan, yaitu sekitar $10\text{--}15$ kg per hari, sedangkan sisanya masih dikelola melalui mekanisme pengangkutan ke TPA. Meskipun kapasitas pengolahan masih terbatas karena sistem yang diterapkan baru menggunakan satu unit komposter, kondisi ini menunjukkan adanya perubahan nyata dalam pola pengelolaan sampah di lingkungan mitra.

Perubahan tersebut tidak hanya berdampak pada aspek teknis, tetapi juga pada aspek manajerial dan efisiensi operasional. Penggunaan data suhu sebagai dasar monitoring menjadikan proses pengomposan lebih terukur dibandingkan sebelumnya yang hanya mengandalkan pengalaman atau perkiraan. Selain itu, berkurangnya sebagian volume sampah yang diangkut ke TPA mulai memberikan potensi pengurangan frekuensi pengangkutan serta efisiensi biaya operasional. Kompos yang dihasilkan juga mulai dimanfaatkan kembali untuk kebutuhan pemeliharaan tanaman di lingkungan kerja mitra, sehingga limbah organik yang sebelumnya tidak memiliki nilai guna mulai memberikan manfaat secara praktis. Temuan ini sejalan dengan penelitian Isyanto et al. (2021) yang menyatakan bahwa penerapan teknologi IoT mampu meningkatkan efektivitas pengelolaan pengomposan melalui monitoring berbasis data, serta Abioye et al. (2021) yang menjelaskan bahwa pendekatan data-driven mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam proses pengomposan.

Untuk memperkuat hasil evaluasi, dilakukan penyebaran kuesioner kepada 20 peserta yang terlibat dalam program. Kuesioner ini bertujuan untuk mengukur tingkat pemahaman, kemampuan penggunaan teknologi, serta kesiapan mitra dalam melanjutkan program secara mandiri. Hasil evaluasi tersebut disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Kuesioner Evaluasi Dampak dan Keberlanjutan Program

No	Pertanyaan	STS (1)	TS (2)	N (3)	S (4)	SS (5)	Rata-rata
1	Saya memahami proses pengomposan setelah mengikuti program ini	0	0	1	9	10	4.45
2	Saya mampu mengoperasikan sistem komposter berbasis IoT	0	0	2	10	8	4.3
3	Sistem ini membantu saya dalam menentukan waktu pengelolaan sampah	0	0	1	9	10	4.45
4	Saya yakin sistem ini dapat diterapkan secara berkelanjutan	0	0	1	8	11	4.5
5	Program ini memberikan manfaat nyata dalam pengelolaan sampah	0	0	1	9	10	4.45

Berdasarkan hasil kuesioner pada Tabel 4, seluruh indikator memperoleh nilai rata-rata di atas 4,30 yang berada pada kategori “setuju” hingga “sangat setuju”. Nilai tertinggi terdapat pada aspek keberlanjutan program (4,50), yang menunjukkan bahwa mitra memiliki keyakinan tinggi untuk melanjutkan sistem pengomposan berbasis IoT secara mandiri setelah program selesai. Selain itu, tingkat pemahaman terhadap proses pengomposan dan pemanfaatan sistem dalam pengambilan keputusan juga menunjukkan nilai tinggi (4,45), yang mengindikasikan bahwa program berhasil meningkatkan kapasitas pengetahuan dan keterampilan mitra. Hasil ini sejalan dengan temuan Pujiyanto et al. (2025) yang menyatakan bahwa pelatihan berbasis praktik (*hands-on training*) mampu meningkatkan pemahaman peserta secara signifikan dalam kegiatan pengelolaan sampah organik. Di samping itu, Lestariningsih et al. (2024) menjelaskan bahwa integrasi teknologi dalam pelatihan tidak hanya meningkatkan keterampilan teknis, tetapi juga memperkuat literasi digital peserta sehingga teknologi lebih mudah diadopsi dalam aktivitas operasional.

Meskipun demikian, nilai pada aspek kemampuan operasional sistem masih menjadi yang terendah (4,30) dibandingkan indikator lainnya. Kondisi ini menunjukkan bahwa sebagian peserta masih memerlukan waktu untuk membiasakan diri dalam membaca data suhu, menginterpretasikan perubahan suhu sebagai indikator fase pengomposan, serta melakukan pemeriksaan sederhana terhadap perangkat apabila terjadi gangguan, seperti kestabilan catu daya atau koneksi sensor. Oleh karena itu, pendampingan lanjutan serta penyediaan buku pedoman penggunaan sistem dinilai penting untuk meningkatkan kepercayaan diri dan kemandirian mitra dalam mengoperasikan teknologi secara berkelanjutan.

Dari sisi keberlanjutan, program ini memiliki potensi untuk terus dikembangkan karena didukung oleh kemudahan penggunaan teknologi, kesesuaian sistem dengan kebutuhan operasional mitra, serta perubahan pola pikir dalam memandang sampah organik sebagai sumber daya yang dapat dimanfaatkan kembali. Pendekatan yang mengombinasikan penerapan teknologi, pelatihan, dan pendampingan sebagaimana dilakukan pada kegiatan ini juga sejalan dengan konsep pemberdayaan masyarakat yang dikemukakan oleh Lestariningsih et al. (2024), bahwa keberhasilan adopsi teknologi sangat dipengaruhi oleh peningkatan kapasitas pengguna dan tersedianya sistem pendukung yang berkelanjutan.

Secara keseluruhan, hasil evaluasi menunjukkan bahwa program pengabdian ini tidak hanya berhasil mengimplementasikan teknologi tepat guna, tetapi juga mampu mendorong perubahan perilaku, meningkatkan kapasitas mitra, mengurangi ketergantungan terhadap Tempat Pembuangan Akhir (TPA), serta membangun sistem pengelolaan sampah organik yang lebih efisien, terukur, dan berkelanjutan.

5. KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang dilaksanakan di PT Makmur Jaya Sragen berhasil mengimplementasikan sistem komposter berbasis *Internet of Things* (IoT) sebagai solusi atas permasalahan pengelolaan sampah organik yang sebelumnya belum terstruktur dan masih bergantung pada pembuangan ke

Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Penerapan sensor suhu pada komposter mampu memberikan indikator yang jelas dalam memantau proses dekomposisi, sehingga pengelolaan sampah yang semula berbasis perkiraan beralih menjadi berbasis data yang lebih terukur dan terkontrol. Hasil kegiatan juga menunjukkan peningkatan pemahaman dan keterampilan mitra dalam mengelola sampah organik, disertai perubahan pola kerja melalui penerapan monitoring suhu dan Standar Operasional Prosedur (SOP) sederhana. Selain itu, sebagian sampah organik telah berhasil diolah menjadi kompos yang bernilai guna sehingga mulai mengurangi volume sampah yang dibuang ke TPA dan memberikan nilai tambah bagi pemanfaatan limbah organik.

Keberhasilan implementasi ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi IoT sederhana dapat menjadi alternatif yang efektif dalam mendukung pengelolaan sampah organik yang lebih efisien, terukur, dan berkelanjutan. Meskipun demikian, untuk menjamin keberlanjutan program, masih diperlukan pendampingan lanjutan, pemanfaatan buku pedoman penggunaan sistem, serta evaluasi berkala terhadap operasional komposter agar mitra semakin mandiri dalam mengoperasikan dan memelihara sistem. Pengembangan kapasitas tersebut juga diharapkan menjadi dasar bagi perluasan implementasi melalui penambahan unit komposter maupun replikasi program pada sektor jasa kebersihan dan komunitas lain yang memiliki karakteristik permasalahan serupa.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Kami menyampaikan apresiasi dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Sebelas Maret (UNS) melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) atas dukungan pendanaan dan fasilitasi dalam pelaksanaan kegiatan Pengabdian kepada masyarakat melalui Penguatan Kapasitas Grup Riset (PKGR-UNS) Skema A (Kontrak No. 462/UN27.22/PT.01.03/2026), dengan Cucuk Wawan Budiyo sebagai Ketua. Dukungan tersebut menjadi faktor penting dalam menjamin kelancaran pelaksanaan program serta tercapainya luaran yang diharapkan. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada PT Makmur Jaya Sragen selaku mitra kegiatan yang telah berpartisipasi aktif serta memberikan dukungan penuh dalam setiap tahapan kegiatan, mulai dari perencanaan, pelaksanaan, hingga evaluasi program. Kegiatan pengabdian ini dipimpin oleh Cucuk Wawan Budiyo, S.T., Ph.D. Besar harapan kami agar kolaborasi yang telah terjalin dapat terus berlanjut dan memberikan kontribusi nyata yang lebih luas, khususnya dalam pengelolaan lingkungan berbasis teknologi.

7. DAFTAR RUJUKAN

- Abioye, E. A., Abidin, M. S. Z., Mahmud, M. S. A., Buyamin, S., AbdRahman, M. K. I., Otuoze, A. O., . . . Ijike, O. D. (2021). IoT-based monitoring and data-driven modelling of drip irrigation system for mustard leaf cultivation experiment. *Information Processing in Agriculture*, 8(2), 270-283. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.05.004>
- Al-Raei, M. (2025). The smart future for sustainable development: Artificial intelligence solutions for sustainable urbanization. *Sustainable development*, 33(1), 508-517. <https://doi.org/10.1002/sd.3131>
- Amri, H., Santika, D., Pamungkas, F. R., Ulfhani, A., Tunngga, P. P., Najmatunnufus, N., & Pratama, F. H. (2024). PEMANFAATAN LIMBAH DAPUR MENJADI PRODUK BERNILAI EKONOMIS DAN MEMILIKI NILAI JUAL (PUK KOMPOSTER ORGANIK). *Jurnal Wicara Desa*, 2(4), 313-321. <https://doi.org/10.29303/wicara.v2i4.5544>
- Azmin, N., Irfan, I., Nasir, M., Hartati, H., & Nurbayan, S. (2022). Pelatihan pembuatan pupuk kompos dari sampah organik di Desa Woko Kabupaten Dompu. *Jompa Abdi: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(3), 137-142. <https://doi.org/10.57218/jompaabdi.v1i3.266>
- Chaware, P., & Patil, D. D. (2025). *Smart IoT-Based End-to-End Biodegradable Waste Management Technology*. Paper presented at the 2025 1st International Conference on AIML-Applications for Engineering & Technology (ICAET).
- Ding, S., & Wu, D. (2025). Comprehensive analysis of compost maturity differences across stages and materials with statistical models. *Waste Management*, 193, 250-260. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.12.011>
- Ferronato, N., Maalouf, A., Mertenat, A., Saini, A., Khanal, A., Copertaro, B., . . . Ulloa-Murillo, L. M. (2024). A review of plastic waste circular actions in seven developing countries to achieve sustainable development goals. *Waste Management & Research*, 42(6), 436-458. <https://doi.org/10.1177/0734242X231188664>

- Finore, I., Feola, A., Russo, L., Cattaneo, A., Di Donato, P., Nicolaus, B., . . . Romano, I. (2023). Thermophilic bacteria and their thermozymes in composting processes: a review. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 10(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00381-z>
- Isyanto, H., Jumail, J., Rahayu, R., & Firmansyah, N. (2021). Design of Monitoring Device for the Process of Organic Waste Decomposition into Compost Fertilizer and Plant Growth through Smartphones based on Internet of Things Smart Farming. *Journal of Electrical Technology UMY*, 5(2), 52-60. 10.18196/jet.v5i2.12815
- Jalalipour, H., Binaee Haghighi, A., Ferronato, N., Bottausci, S., Bonoli, A., & Nelles, M. (2025). Social, economic and environmental benefits of organic waste home composting in Iran. *Waste Management & Research*, 43(1), 97-111. <https://doi.org/10.1177/0734242X241227377>
- Jindo, K., Sonoki, T., & Sánchez-Monedero, M. A. (2025). Stabilizing organic matter and reducing methane emissions during manure composting with biochar to strengthen the role of compost in soil health. *Soil & Environmental Health*, 3(4), 100164. <https://doi.org/10.1016/j.seh.2025.100164>
- Lestariningsih, L., Putra, F. N., & Anshori, S. (2024). Peningkatan Skill Mengolah Pupuk Kompos Berbasis Fermentor IoT Pimpinan Anak Cabang Fatayat Kanigoro Kabupaten Blitar. *Jurnal Pengabdian dan Pemberdayaan Nusantara (JPPNu)*, 6(2), 256-265. <https://doi.org/10.28926/jppnu.v6i2.330>
- Pujiyanto, M., Setyorini, F. A., Cahyani, W., Maurisa, A., & Mukaromah, S. (2025). Pelatihan Pembuatan Pupuk Organik Kompos untuk Meningkatkan Produktivitas dan Keberlanjutan Pertanian KWT Hikmah Tani di Desa Lengkon. *Jurnal Abdimas Mandiri*, 9(1), 24-32. <https://doi.org/10.36982/jam.v9i1.4691>
- Rais, N. A. R., & Rokhmah, S. (2025). SMART COMPOSTING SYSTEM: INOVASI IOT UNTUK PENGOLAHAN DAN PEMANTAUAN SAMPAH ORGANIK RUMAH TANGGA. *JUPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)*, 10(4), 3950-3963. <https://doi.org/10.29100/jupi.v10i4.9365>
- Riazulhameed, A. A. M. A., Ranganathan, C. S., Pandey, P., Sasikala, K., & Murugan, S. (2024). *Smart Composting Solutions for Organic Waste Management and Soil Enrichment in Agriculture with IoT and Gradient Boosting*. Paper presented at the 2024 4th International Conference on Sustainable Expert Systems (ICSES).
- Sutisna, M. A. R., Koestoer, R. H. S., & Lukijanto, L. (2025). Kebijakan Pengelolaan Sampah Dan Implikasinya Terhadap Pelabuhan Perikanan Nusantara Karangantu. *Jurnal Kebijakan Perikanan Indonesia*, 17(1), 1-10. <http://dx.doi.org/10.15578/jkpi.17.1.2025.1-10>
- Tomicic, I. (2022). IoT-based agricultural compost monitoring system: prototype development and sensor technology evaluation. *Compost science & utilization*, 30(1-4), 1-14. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2023.2273845>
- Umiyati, E., Hastuti, D., Zevaya, F., & Prihanto, P. H. (2024). Pengembangan Ekonomi Hijau Melalui Praktek Daur Ulang Sampah Organik menjadi Kompos di Desa Lumahan Kecamatan Senyerang, Kabupaten Tanjung Jabung Barat. *Studium: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(2), 63-74. <https://doi.org/10.53867/jpm.v4i2.115>
- Xie, S., Tran, H.-T., Pu, M., & Zhang, T. (2023). Transformation characteristics of organic matter and phosphorus in composting processes of agricultural organic waste: Research trends. *Materials Science for Energy Technologies*, 6, 331-342. <https://doi.org/10.1016/j.mset.2023.02.006>