

Implementing IoT-Integrated Waste Shredding Technology as a Digital Transformation Strategy for TPST 3R Sumber Sehat toward Effective, Safe, and Sustainable Waste Management in Sumberpasir Village, Malang Regency

Dianthy Marya^{1*}, Fica Aida Nadhifatul Aini², Muhammad Syirajuddin Sujai³, M. Nanak Zakaria⁴, Zakiyah Amalia⁵

^{1,2,3,4,5} Politeknik Negeri Malang, Malang, Indonesia

Email: ¹dianthy@polinema.ac.id, ²fica.aida@polinema.ac.id, ³syirajuddin@polinema.ac.id,
⁴nanak_zach@polinema.ac.id, ⁵zakiyah_amalia@polinema.ac.id

*Correspondence

Article History:

Received: 16 July 2026

Revised: 2 September 2026

Accepted: 9 September 2026

Published: 19 September 2026

Keywords:

Waste Shredder, IoT, Digital Transformation, TPST 3R, Sustainable Waste Management.

Kata Kunci:

Mesin Pencacah Sampah, IoT, Transformasi Digital, TPST 3R, Pengelolaan Sampah Berkelanjutan.

Abstract: TPST 3R Sumber Sehat in Malang Regency faced critical issues of uncontrolled waste accumulation due to the absence of shredding machinery and limited adoption of digital technology in daily operations. This community service program targeted TPST workers and operators as the primary subjects of transformation. The objective was to implement an IoT-integrated waste shredder equipped with capacity detection and remote control features to achieve effective, safe, and sustainable waste management. The method employed encompassed design, fabrication, installation, commissioning, and participatory technology transfer training. Results demonstrated a 70% reduction in waste volume, 40% operational cost savings, deployment of one IoT system operating an average of four times daily, and enhanced competency of three operators capable of independently managing the system.

Abstrak: TPST 3R Sumber Sehat di Kabupaten Malang menghadapi permasalahan krusial berupa penumpukan sampah tak terkendali akibat absennya mesin pencacah serta belum teradopsinya teknologi digital dalam operasional harian. Kegiatan pengabdian ini menasar para pekerja dan pengelola TPST sebagai subjek utama transformasi. Tujuannya adalah mengimplementasikan mesin pencacah sampah terintegrasi IoT dengan fitur deteksi kapasitas dan kontrol jarak jauh guna mewujudkan pengelolaan sampah yang efektif, aman, dan berkelanjutan. Metode yang diterapkan mencakup tahapan desain, fabrikasi, instalasi, commissioning, serta pelatihan dan transfer teknologi secara partisipatif. Hasil kegiatan menunjukkan pengurangan volume sampah mencapai 70%, efisiensi biaya operasional sebesar 40%, penerapan satu sistem IoT yang dioperasikan tiga orang pengelola dalam mengoperasikan sistem secara mandiri.



This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Pendahuluan

Pengelolaan sampah masih menjadi persoalan krusial di Indonesia. Data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional mencatat timbulan sampah nasional melampaui 68 juta ton per tahun, namun sebagian besar belum tertangani secara optimal di tingkat fasilitas komunitas.¹ Pada skala lokal, Tempat Pengelolaan Sampah Terpadu (TPST) di wilayah perdesaan dan semi-perkotaan kerap beroperasi tanpa dukungan teknologi mekanis maupun digital, sehingga proses reduksi *volume* dan daur ulang berjalan sangat lambat.²

TPST 3R Sumber Sehat yang terletak di Dusun Boto Putih, Desa Sumberpasir, Kecamatan Pakis, Kabupaten Malang, merupakan fasilitas pengelolaan sampah berbasis prinsip *Reduce, Reuse, Recycle*. Desa Sumberpasir memiliki luas sekitar 4,2 km² dengan populasi kurang lebih 6.500 jiwa yang mayoritas bermata pencaharian sebagai petani dan pekerja sektor informal.³ Secara fisik, wilayah ini berada pada ketinggian 500–600 mdpl dengan topografi berbukit, sehingga biaya logistik pengangkutan sampah menuju tempat pembuangan akhir relatif tinggi. TPST ini melayani sekitar 200–300 kepala keluarga dengan estimasi *volume* sampah masuk 800–1.200 kg per minggu, terdiri atas 60% sampah organik dan 40% anorganik. Namun, fasilitas ini belum memiliki mesin pencacah, sehingga seluruh proses pengolahan dilakukan secara manual. Akibatnya, waktu tinggal sampah di lokasi mencapai 7–14 hari dan menimbulkan penumpukan tidak terkendali yang berdampak pada pencemaran lingkungan serta gangguan kesehatan masyarakat sekitar.⁴

Permasalahan konkret yang dihadapi mitra meliputi: (1) ketiadaan mesin pencacah yang menyebabkan *volume* sampah tidak tereduksi sebelum pengangkutan; (2) penumpukan sampah yang memicu bau, pencemaran air, dan risiko penyakit;⁵ (3) belum teradopsinya teknologi IoT untuk monitoring kapasitas dan kontrol operasional; serta (4) tingginya biaya operasional akibat proses manual dan frekuensi angkut yang

¹ Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, *Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional: Laporan Kinerja 2023* (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2023), 12–14.

² Muhammad Faris Maulana dkk., "Waste Reduction Potential of the Waste Management Facility (TPST) in Gili Trawangan, Pemenang District, North Lombok Regency," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1452, no. 1 (2025): 012035, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1452/1/012035>.

³ Badan Pusat Statistik Kabupaten Malang, *Kecamatan Pakis dalam Angka 2023* (BPS Kabupaten Malang, 2023), 35.

⁴ Iis Siti Aisyah dkk., "Technological Touch Initiative on Waste Management in TPST 3R Mulyoagung Bersatu to Realize Clean Earth Green Future," *Journal of Community Service and Empowerment* 6, no. 3 (2025): 552–64, <https://doi.org/10.22219/jcse.v6i3.42856>; Dewi Ratna Sari dan Hendra Sukmana, "Waste Management Program Effectiveness (TPST) In Grabagan Village, Tulangan District, Sidoarjo Regency: Efektivitas Program Pengelolaan Sampah (TPST) Di Desa Grabagan Kecamatan Tulangan Kabupaten Sidoarjo," preprint, UMSIDA Preprints Server, 11 April 2025, <https://doi.org/10.21070/ups.7671>.

⁵ Ismaila Rimi Abubakar dkk., "Environmental Sustainability Impacts of Solid Waste Management Practices in the Global South," *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19, no. 19 (2022): 12717, <https://doi.org/10.3390/ijerph191912717>.

tidak efisien.⁶

Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) telah memberikan kontribusi penting terhadap peningkatan efisiensi pengelolaan sampah. Sheng et al. mengembangkan sistem pengelolaan sampah cerdas berbasis IoT yang mengintegrasikan sensor ultrasonik, komunikasi LoRa, GPS, dan model *deep learning* TensorFlow. Sistem tersebut memungkinkan pemantauan tingkat keterisian tempat sampah secara *real-time* sekaligus mendukung proses klasifikasi sampah secara otomatis.⁷ Pendekatan serupa dikembangkan oleh Sallang et al. melalui pemanfaatan TensorFlow Lite, Raspberry Pi, sensor ultrasonik, serta LoRa-GPS untuk melakukan klasifikasi sampah sekaligus memantau persentase keterisian tempat sampah.⁸ Ali et al. juga menunjukkan bahwa sistem pemantauan tempat sampah berbasis IoT dapat mendukung pengumpulan sampah secara lebih tepat waktu melalui pemantauan tingkat keterisian dan lokasi tempat sampah, sehingga dapat mengurangi risiko penumpukan dan luapan sampah.⁹ Sementara itu, Kanade et al. mengembangkan sistem monitoring sampah berbasis IoT dengan memanfaatkan mikrokontroler, sensor ultrasonik, sensor beban, dan konektivitas Wi-Fi untuk memperoleh informasi mengenai tingkat keterisian dan berat sampah, sehingga proses pengumpulan dapat direncanakan secara lebih efektif.¹⁰

Selain aspek monitoring, penerapan IoT juga terbukti memberikan dampak terhadap efisiensi operasional pengelolaan sampah. Addas dkk. menunjukkan bahwa sistem pengelolaan sampah berbasis IoT yang memanfaatkan sensor ultrasonik, LoRaWAN, jaringan seluler, dan optimasi rute mampu meningkatkan efisiensi rute sebesar 32%, menurunkan konsumsi bahan bakar dan emisi sebesar 29%, meningkatkan *waste processing throughput* sebesar 33%, serta mengurangi biaya pemeliharaan kendaraan sebesar 18% dibandingkan metode konvensional.¹¹ Temuan serupa

⁶ Shofiya Dzumirrotin dkk., "Komunikasi, Karang Taruna, Manaj Penguatan Komunikasi Karang Taruna Melalui Pelatihan Manajemen Organisasi Di Dusun Daleman, Desa Jetis," *Al Mu'azarah: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat* 3, no. 1 (2025): 46–54, <https://doi.org/10.38073/almuazarah.v3i1.3394>; Hanifah Hikmawati dan Sulastri Sulastri, "Pelatihan Pengolahan Keripik Singkong Untuk Pemberdayaan Ekonomi Masyarakat Desa Jati," *Al Mu'azarah: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat* 1, no. 2 (2024): 75–85, <https://doi.org/10.38073/almuazarah.v1i2.1797>.

⁷ Teoh Ji Sheng dkk., "An Internet of Things Based Smart Waste Management System Using LoRa and Tensorflow Deep Learning Model," *IEEE Access* 8 (2020): 148793–811, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3016255>.

⁸ Nicholas Chieng Anak Sallang dkk., "A CNN-Based Smart Waste Management System Using TensorFlow Lite and LoRa-GPS Shield in Internet of Things Environment," *IEEE Access* 9 (2021): 153560–74, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3128314>.

⁹ Tariq Ali dkk., "IoT-Based Smart Waste Bin Monitoring and Municipal Solid Waste Management System for Smart Cities," *Arabian Journal for Science and Engineering* 45, no. 12 (2020): 10185–98, <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04637-w>.

¹⁰ Prakash Kanade dkk., "Smart Garbage Monitoring System using Internet of Things(IoT)," *2021 5th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, April 2021, 330–35, <https://doi.org/10.1109/ICCMC51019.2021.9418359>.

¹¹ Abdullah Addas dkk., "Waste Management 2.0 Leveraging Internet of Things for an Efficient and Eco-Friendly Smart City Solution," *PLOS ONE* 19, no. 7 (2024): e0307608, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0307608>.

dikemukakan oleh Al Yarubi et al., yang menunjukkan bahwa integrasi sensor IoT, GPS, dan perencanaan rute berbasis kecerdasan buatan mampu menurunkan konsumsi bahan bakar sebesar 28%, mengurangi biaya operasional sebesar 15%, serta meningkatkan kinerja pengumpulan sampah lebih dari 41,5%.⁶ Abba dan Light juga menegaskan pentingnya integrasi sensor ultrasonik dan IoT dalam sistem monitoring dan kontrol sampah untuk mendukung pengelolaan yang lebih responsif dan berbasis data.¹² Bahkan, Kang et al. menunjukkan bahwa sistem pengumpulan limbah elektronik berbasis IoT dapat mengintegrasikan sensor tingkat keterisian, server *backend*, dan aplikasi seluler untuk menghasilkan notifikasi dan penjadwalan pengumpulan secara otomatis ketika kapasitas tempat penampungan mencapai batas tertentu.¹³

Meskipun berbagai penelitian tersebut menunjukkan perkembangan yang kuat dalam penerapan IoT untuk pemantauan kapasitas, klasifikasi sampah, optimasi rute, dan pengendalian proses pengumpulan, sebagian besar masih berfokus pada *smart bin* dan sistem monitoring sampah. Integrasi antara teknologi pencacahan mekanis dengan sistem IoT yang menggabungkan pemantauan kapasitas dan kendali operasional jarak jauh pada fasilitas TPST 3R berbasis komunitas masih relatif terbatas. Kesenjangan tersebut menjadi dasar bagi kegiatan pengabdian ini untuk mengintegrasikan mesin pencacah sampah dengan sistem IoT sebagai strategi transformasi digital menuju pengelolaan sampah yang lebih efektif, aman, dan berkelanjutan.

Kegiatan pengabdian ini merupakan hilirisasi dari riset tim dosen Jurusan Teknik Mesin dan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang di bidang perancangan mesin industri dan pengembangan sistem IoT terapan. Pendekatan interdisipliner ini memadukan keahlian mekanik dalam fabrikasi mesin pencacah dengan kompetensi elektronika dalam pembangunan sistem monitoring dan kontrol berbasis mikrokontroler serta *cloud platform*.¹⁴

Tujuan kegiatan ini adalah mengimplementasikan mesin pencacah sampah terintegrasi IoT dengan fitur deteksi kapasitas dan kontrol jarak jauh di TPST 3R Sumber Sehat sebagai strategi transformasi digital bagi pekerja TPST menuju pengelolaan sampah yang efektif, aman, dan berkelanjutan. Secara spesifik, kegiatan ini bertujuan untuk: (1) mereduksi *volume* sampah melalui pencacahan mekanis; (2) mengintegrasikan sistem *monitoring* dan kontrol berbasis IoT yang dapat diakses melalui aplikasi *mobile*; (3) meningkatkan kompetensi teknis pengelola dalam mengoperasikan dan memelihara sistem; serta (4) menurunkan biaya operasional melalui efisiensi proses dan pengurangan frekuensi pengangkutan.

¹² Khadija Salim Al Yarubi dkk., "Internet of Things-Driven Waste Management: Paving the Way for Sustainable Smart Cities," *Processes* 13, no. 4 (2025), <https://doi.org/10.3390/pr13041140>.

¹³ Kai Dean Kang dkk., "Electronic waste collection systems using Internet of Things (IoT): Household electronic waste management in Malaysia," *Journal of Cleaner Production* 252 (April 2020): 119801, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119801>.

¹⁴ Ahmad Qusairi dkk., "Pemberdayaan Jamaah Yasinta Pada Kawasan Penyangga Industri PT PIER Melalui Tanaman Apotik Hidup," *Al Mu'azarah: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat* 3, no. 2 (2026): 1–14, <https://doi.org/10.38073/almuazarah.v3i2.4207>.

Metode

Kegiatan pengabdian ini menerapkan pendekatan berbasis teknologi tepat guna yang mengintegrasikan rekayasa mekanik, sistem elektronika terapan, dan pemberdayaan sumber daya manusia mitra. Seluruh rangkaian dilaksanakan secara sistematis melalui lima tahapan, yaitu persiapan, perancangan dan pengembangan, implementasi, evaluasi, serta diseminasi hasil.

Tahap awal pengabdian dimulai dengan tahap persiapan. Tim melaksanakan koordinasi awal dengan pengelola TPST 3R Sumber Sehat di Dusun Boto Putih, Desa Sumberpasir, Kecamatan Pakis, Kabupaten Malang, untuk mengidentifikasi permasalahan mitra, meliputi ketiadaan mesin pencacah, penumpukan sampah tidak terkendali, keterbatasan adopsi teknologi digital, tingginya biaya operasional, serta dampak lingkungan dan kesehatan. Hasil identifikasi menjadi dasar perancangan sistem, dilanjutkan penyiapan seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak.

Tahap berikutnya perancangan dan pengembangan mencakup dua aspek utama, yaitu perancangan mekanik dan pengembangan sistem IoT. Dari aspek mekanik, mesin pencacah dirancang dengan dimensi 120 cm × 80 cm × 150 cm menggunakan rangka besi hollow 40 × 40 mm berketebalan 3 mm, kapasitas hopper 100 liter, serta pisau rotary berkonfigurasi 6 mata dengan *chamber* bersudut 45°. Sistem transmisi menggunakan motor 1,5 HP (1.500 RPM) dengan rasio *belt* dan *pulley* 1:2, menghasilkan kecepatan pisau 725 RPM, serta dilengkapi *safety coupling* untuk proteksi beban berlebih. Dari aspek elektronika, sistem IoT dikembangkan dengan mengintegrasikan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk deteksi kapasitas secara *real-time*, mikrokontroler ESP8266 NodeMCU sebagai unit pemroses, Firebase Realtime Database sebagai *server cloud*, dan aplikasi mobile berbasis Flutter untuk pemantauan serta kontrol jarak jauh. Sistem juga dilengkapi *buzzer* sebagai indikator peringatan, relay module untuk pengendalian mesin, serta LCD 16×2 untuk tampilan data di lokasi.

Pada tahap implementasi, mesin diinstalasi pada area kerja berpemukaan datar dan terlindung dari hujan, mencakup penyambungan komponen listrik, pemasangan sensor pada bak penampung, serta koneksi modul NodeMCU ke jaringan internet. Seluruh sambungan diverifikasi dengan multimeter untuk memastikan tidak ada hubungan pendek. Tahap *commissioning* dilakukan melalui pengujian fungsi menyeluruh terhadap komponen mekanik, elektrik, dan sistem kontrol, dengan seluruh fitur beroperasi sesuai rancangan. Selanjutnya dilaksanakan pelatihan dan transfer teknologi kepada pengelola, mencakup aspek teknis mekanik serta pengoperasian dan pemantauan sistem IoT.

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung, wawancara dengan pengelola, dan perekaman data dari platform IoT, kemudian dianalisis dengan membandingkan kondisi sebelum dan setelah implementasi. Hasil disebarluaskan melalui publikasi jurnal pengabdian, media massa, dan video kegiatan pada kanal resmi institusi.

Keberhasilan diukur menggunakan instrumen kuantitatif dan kualitatif. Secara kuantitatif, digunakan lima parameter: (1) persentase pengurangan *volume* sampah; (2) persentase penghematan biaya operasional; (3) jumlah sistem IoT yang diterapkan; (4) frekuensi penggunaan IoT per hari; serta (5) jumlah pengelola terampil. Data diperoleh dari pengukuran langsung volume sampah, pencatatan biaya operasional, dan *log* penggunaan pada Firebase. Secara kualitatif, pengukuran dilakukan melalui observasi partisipatif dan wawancara untuk menilai perubahan dari tiga dimensi. Dari sisi perubahan sikap, diukur peningkatan kesadaran pengelola dalam mengadopsi teknologi digital dan komitmen terhadap pengelolaan sampah yang bersih dan sehat. Dari sisi sosial budaya, diukur terbentuknya budaya kerja berbasis data, kapasitas kolaboratif antaroperator, serta peran pengelola sebagai agen perubahan. Dari sisi ekonomi, diukur efisiensi biaya operasional, potensi hasil cacahan sebagai bahan baku daur ulang bernilai jual, serta penguatan ekonomi sirkular komunitas. Selanjutnya, seluruh indikator dibandingkan antara kondisi sebelum dan setelah pengabdian.

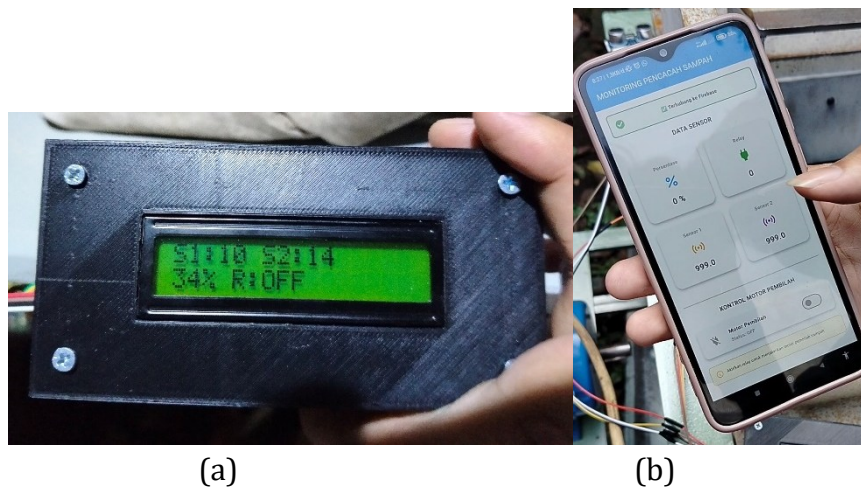
Hasil dan Pembahasan

Kegiatan pengabdian dilaksanakan di TPST 3R Sumber Sehat, Dusun Boto Putih, Desa Sumberpasir, Kecamatan Pakis, Kabupaten Malang melalui lima tahapan sistematis. Kegiatan ini merupakan inisiatif kolaboratif dosen dari Jurusan Teknik Mesin dan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pengolahan sampah melalui penerapan teknologi tepat guna berbasis *Internet of Things*. Seluruh rangkaian kegiatan mulai dari perencanaan, fabrikasi, implementasi, hingga evaluasi telah dilalui secara sistematis dan menghasilkan capaian konkret sebagaimana diuraikan berikut ini.

Mesin pencacah direalisasikan dengan dimensi 120 cm × 80 cm × 150 cm, rangka besi hollow 40 × 40 mm berketebalan 3 mm, hopper 100 liter, serta pisau *rotary* 6 mata dengan *chamber* bersudut 45°. Motor penggerak 1,5 HP (1.500 RPM) dengan rasio *pulley* 1:2 menghasilkan kecepatan pisau 725 RPM, dilengkapi *safety coupling* sebagai proteksi beban berlebih. Proses fabrikasi meliputi pemotongan, pengelasan, pemesinan as, pengasahan pisau baja karbon tinggi, hingga *finishing* cat anti karat sehingga mesin kokoh dan tahan terhadap kondisi lingkungan kerja lapangan.

Dari aspek elektronika dan digital, sistem IoT berhasil dikembangkan dan diintegrasikan pada mesin pencacah. Sistem ini menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur ketinggian sampah di dalam bak penampung, yang kemudian dikonversi menjadi persentase kapasitas. Data tersebut dikirim ke mikrokontroler ESP8266 NodeMCU yang terhubung ke jaringan Wi-Fi, selanjutnya diteruskan ke Firebase *Realtime Database* sebagai *server* penyimpanan *cloud*. Informasi kapasitas ditampilkan secara *real-time* pada aplikasi mobile berbasis Flutter yang dikembangkan khusus untuk keperluan ini. Sistem juga dilengkapi buzzer otomatis sebagai indikator ketika wadah mencapai kondisi tertentu, relay module untuk pengendalian *on/off* mesin dari jarak jauh, serta LCD 16×2 untuk menampilkan data hasil deteksi sensor secara

langsung di lokasi. Implementasi antarmuka pemantauan sistem disajikan pada Gambar 1.



(a) (b)
Gambar 1. (a) Tampilan Hasil Data Sensor pada LCD; (b) Tampilan Aplikasi pada Smartphone

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengirim dan menerima data dengan waktu respons kurang dari 2 detik. *Buzzer* aktif tepat ketika sensor mendeteksi kapasitas pada kondisi tertentu. Komunikasi antara perangkat keras dan aplikasi berjalan stabil tanpa gangguan koneksi yang berarti, membuktikan keandalan sistem dalam mendukung operasional harian TPST.

Mesin yang telah difabrikasi diinstalasi di lokasi TPST 3R Sumber Sehat pada area kerja yang memiliki permukaan datar dan terlindung dari paparan air hujan. Proses instalasi mencakup penyambungan komponen listrik, pemasangan sensor ultrasonik pada bagian atas bak penampung, koneksi modul NodeMCU ke jaringan internet, serta penempatan *buzzer* pada panel kontrol. Seluruh sambungan diverifikasi menggunakan multimeter untuk memastikan tidak terdapat hubungan pendek dan tegangan kerja sesuai spesifikasi. Tahap *commissioning* dilaksanakan melalui pengujian fungsi menyeluruh terhadap komponen mekanik, elektrik, dan sistem kontrol.

Setelah instalasi dan *commissioning* dinyatakan berhasil, dilaksanakan program pelatihan dan transfer teknologi kepada pengelola TPST. Pelatihan mencakup dua aspek utama, yaitu pelatihan teknis mekanik mengenai konstruksi mesin, prinsip kerja pisau pencacah, dan prosedur perawatan rutin, serta pelatihan sistem IoT mengenai mekanisme kerja sensor ultrasonik, sistem notifikasi berbasis Firebase, dan proses pemantauan kapasitas secara *real-time*. Melalui kegiatan ini, terjadi transfer pengetahuan dan keterampilan dari tim pengembang kepada operator lapangan, sehingga keberlanjutan pengoperasian dan pemeliharaan sistem dapat dilakukan secara mandiri. Dokumentasi pelaksanaan pelatihan disajikan pada Gambar 2 yang menampilkan suasana sesi teknis dan pendampingan langsung di lokasi TPST.



Gambar 2. Pelatihan kepada Pengelola TPST

Berdasarkan data yang diperoleh dari kuesioner peningkatan level keberdayaan mitra, hasil pengukuran kuantitatif menunjukkan capaian yang signifikan sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Analisis Kuantitatif Peningkatan Keberdayaan Mitra

Luaran	Indikator	Sebelum	Setelah
Daya saing mitra	Pengurangan volume sampah	0%	70%
	Penghematan biaya operasional	0%	40%
Penerapan IPTEK	Jumlah sistem IoT diterapkan	0 sistem	1 sistem
	Frekuensi penggunaan IoT per hari	0 kali	4 kali

Data pada Tabel 1 menunjukkan tiga capaian utama. Pertama, terjadi peningkatan daya saing mitra yang signifikan melalui pengurangan volume sampah sebesar 70% dan efisiensi biaya operasional sebesar 40%. Kedua, adopsi teknologi IoT berhasil diimplementasikan dan digunakan secara rutin dengan frekuensi 4 kali per hari, membuktikan keandalan sistem dalam mendukung operasional harian. Ketiga, kapasitas sumber daya manusia mitra meningkat secara kuantitas dan kualitas, ditunjukkan dengan 3 orang pengelola yang kini mampu mengoperasikan sistem IoT secara mandiri.

Perubahan jangka pendek terlihat dari reduksi *volume* sampah 70% dan penurunan biaya operasional 40% akibat berkurangnya frekuensi pengangkutan, serta penguasaan kompetensi teknis oleh tiga pengelola yang sebelumnya bekerja secara manual. Perubahan jangka panjang mencakup terbentuknya budaya kerja berbasis data untuk perencanaan pengangkutan, lingkungan TPST yang lebih bersih dan sehat, transformasi pengelola menjadi *agent of change*, serta peluang pemanfaatan hasil cacahan sebagai bahan baku daur ulang bernilai jual yang memperkuat ekonomi sirkular komunitas.

Keunggulan luaran ditinjau dari kondisi masyarakat meliputi desain ringkas yang sesuai keterbatasan ruang TPST, material tahan korosi untuk lingkungan lembap, antarmuka aplikasi intuitif bagi operator non-teknis, kontrol jarak jauh yang

meningkatkan keamanan kerja, serta respons sistem yang cepat. Kelemahannya antara lain ketergantungan pada stabilitas jaringan internet, kebutuhan kalibrasi sensor berkala di lingkungan berdebu, perawatan ketajaman pisau rutin, serta kapasitas *hopper* yang perlu ditingkatkan bila *volume* sampah bertambah.

Tingkat kesulitan fabrikasi tergolong moderat, menuntut presisi pengelasan dan pemesinan, sedangkan integrasi IoT memerlukan kompetensi pemrograman mikrokontroler dan aplikasi; keduanya tertangani berkat fasilitas laboratorium Politeknik Negeri Malang. Peluang pengembangan ke depan meliputi penambahan pemantauan suhu motor, integrasi panel surya, pemantauan proses pengomposan, kemitraan rantai nilai plastik daur ulang, serta replikasi model di TPST lain. Secara keseluruhan, sinergi inovasi mekanik dan digital terbukti memberikan nilai tambah ekonomi, sosial, dan institusional bagi mitra.

Kesimpulan

Kegiatan pengabdian di TPST 3R Sumber Sehat berhasil merealisasikan mesin pencacah sampah yang terintegrasi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan memberikan dampak nyata terhadap peningkatan efisiensi pengelolaan sampah. Intervensi teknologi ini mampu mereduksi volume timbulan sampah hingga 70% serta menekan biaya operasional pengangkutan sebesar 40%. Sistem IoT juga menunjukkan tingkat keandalan yang baik dengan intensitas penggunaan rata-rata empat kali sehari, sementara kapasitas sumber daya manusia mitra mengalami peningkatan yang ditunjukkan oleh kemandirian tiga orang pengelola dalam mengoperasikan sistem kendali jarak jauh. Dari aspek teknis, mesin memiliki struktur yang kokoh dengan material anti-korosi serta desain yang adaptif terhadap keterbatasan ruang dan kondisi lingkungan TPST. Antarmuka aplikasi yang intuitif memudahkan operator non-teknis dalam menjalankan mesin, sedangkan fitur kendali jarak jauh dengan waktu respons kurang dari dua detik mampu meningkatkan fleksibilitas operasional sekaligus mendukung keselamatan kerja. Meskipun demikian, kinerja sistem IoT masih bergantung pada kestabilan jaringan internet di lokasi yang terkadang berfluktuasi. Kondisi lingkungan kerja yang berdebu juga menuntut kalibrasi sensor ultrasonik secara berkala, sementara bilah pisau pencacah perlu diasah secara rutin agar performa mesin tetap optimal. Ke depan, penyempurnaan teknologi dapat diarahkan pada penambahan sensor suhu motor dan integrasi panel surya sebagai sumber energi alternatif. Dalam perspektif ekonomi sirkular, pendampingan lanjutan perlu difokuskan pada pembentukan rantai nilai hasil cacahan plastik melalui kemitraan strategis dengan industri daur ulang, serta replikasi model inovasi ini pada TPST lain di wilayah Kabupaten Malang.

Daftar Pustaka

Abubakar, Ismaila Rimi, Khandoker M. Maniruzzaman, Umar Lawal Dano, dkk.
"Environmental Sustainability Impacts of Solid Waste Management Practices in the Global South." *International Journal of Environmental Research and Public*

- Health* 19, no. 19 (2022): 12717. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912717>.
- Addas, Abdullah, Muhammad Nasir Khan, dan Fawad Naseer. "Waste Management 2.0 Leveraging Internet of Things for an Efficient and Eco-Friendly Smart City Solution." *PLOS ONE* 19, no. 7 (2024): e0307608. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0307608>.
- Aisyah, Iis Siti, Moch Syamsul Ma Arif, dan Erna Retna Rahadjeng. "Technological Touch Initiative on Waste Management in TPST 3R Mulyoagung Bersatu to Realize Clean Earth Green Future." *Journal of Community Service and Empowerment* 6, no. 3 (2025): 552–64. <https://doi.org/10.22219/jcse.v6i3.42856>.
- Ali, Tariq, Muhammad Irfan, Abdullah Saeed Alwadie, dan Adam Glowacz. "IoT-Based Smart Waste Bin Monitoring and Municipal Solid Waste Management System for Smart Cities." *Arabian Journal for Science and Engineering* 45, no. 12 (2020): 10185–98. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04637-w>.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Malang. *Kecamatan Pakis dalam Angka 2023*. BPS Kabupaten Malang, 2023.
- Dzumirrotin, Shofiya, Jihad Iqabakti, Afifah Nur Istiqomah, dkk. "Komunikasi, Karang Taruna, Manaj Penguatan Komunikasi Karang Taruna Melalui Pelatihan Manajemen Organisasi Di Dusun Daleman, Desa Jetis." *Al Mu'azarah: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat* 3, no. 1 (2025): 46–54. <https://doi.org/10.38073/almuazarah.v3i1.3394>.
- Hikmawati, Hanifah, dan Sulastri Sulastri. "Pelatihan Pengolahan Keripik Singkong Untuk Pemberdayaan Ekonomi Masyarakat Desa Jati." *Al Mu'azarah: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat* 1, no. 2 (2024): 75–85. <https://doi.org/10.38073/almuazarah.v1i2.1797>.
- Kanade, Prakash, Prajna Alva, Jai Prakash Prasad, dan Sunay Kanade. "Smart Garbage Monitoring System using Internet of Things(IoT)." *2021 5th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, April 2021, 330–35. <https://doi.org/10.1109/ICCMC51019.2021.9418359>.
- Kang, Kai Dean, Harnyi Kang, I. M. S. K. Ilankoon, dan Chun Yong Chong. "Electronic waste collection systems using Internet of Things (IoT): Household electronic waste management in Malaysia." *Journal of Cleaner Production* 252 (April 2020): 119801. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119801>.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. *Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional: Laporan Kinerja 2023*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2023.
- Maulana, Muhammad Faris, Budi Sugiarto Waloejo, dan Septiana Hariyani. "Waste Reduction Potential of the Waste Management Facility (TPST) in Gili Trawangan, Pemenang District, North Lombok Regency." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1452, no. 1 (2025): 012035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1452/1/012035>.
- Qusairi, Ahmad, Asep Rahmatullah, Dino Afrija, dan Eman Rahmadi. "Pemberdayaan

- Jamaah Yasinta Pada Kawasan Penyangga Industri PT PIER Melalui Tanaman Apotik Hidup.” *Al Mu'azarah: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat* 3, no. 2 (2026): 1–14. <https://doi.org/10.38073/almuazarah.v3i2.4207>.
- Sallang, Nicholas Chieng Anak, Mohammad Tariqul Islam, Mohammad Shahidul Islam, dan Haslina Arshad. “A CNN-Based Smart Waste Management System Using TensorFlow Lite and LoRa-GPS Shield in Internet of Things Environment.” *IEEE Access* 9 (2021): 153560–74. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3128314>.
- Sari, Dewi Ratna, dan Hendra Sukmana. “Waste Management Program Effectiveness (TPST) In Grabagan Village, Tulangan District, Sidoarjo Regency: Efektivitas Program Pengelolaan Sampah (TPST) Di Desa Grabagan Kecamatan Tulangan Kabupaten Sidoarjo.” Preprint, UMSIDA Preprints Server, 11 April 2025. <https://doi.org/10.21070/ups.7671>.
- Sheng, Teoh Ji, Mohammad Shahidul Islam, Norbahiah Misran, dkk. “An Internet of Things Based Smart Waste Management System Using LoRa and Tensorflow Deep Learning Model.” *IEEE Access* 8 (2020): 148793–811. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3016255>.
- Yarubi, Khadija Salim Al, Sallam O. F. Khairy, S. M. Emdad Hossain, dan Gasim Hayder. “Internet of Things-Driven Waste Management: Paving the Way for Sustainable Smart Cities.” *Processes* 13, no. 4 (2025). <https://doi.org/10.3390/pr13041140>.