



Pengelolaan Sampah Berbasis Teknologi Untuk Mitigasi Perubahan Iklim: Studi Kasus Di Kabupaten Balangan

Technology-Based Waste Management for Climate Change Mitigation: A Case Study in Balangan Regency

Muhammad Rasid Rida, Mulyadi Saputra

Universitas Sapta Mandiri, Indonesia

*Email: rasidrida@univsm.ac.id

How to Cite :

Rida, R. M., Saputra, M. 2025. Pengelolaan Sampah Berbasis Teknologi Untuk Mitigasi Perubahan Iklim: Studi Kasus Di Kabupaten Balangan. Sinta Journal, 6.(2). 179 -192. <https://doi.org/10.37638/sinta.6.1.179-192>

ARTICLE HISTORY

Received [27 October 2025]

Revised [03 November 2025]

Accepted [30 November 2025]

KEYWORDS

igitalization, climate mitigation, waste management, volume sensors, TPS3R

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



ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas penerapan sistem pengelolaan sampah berbasis teknologi dalam mendukung mitigasi perubahan iklim di tingkat komunitas pedesaan. Lokasi penelitian berada di TPS3R Kenanga Putih, Desa Tundakan, Kabupaten Balangan, Kalimantan Selatan. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan desain pra-pasca implementasi sistem digitalisasi pengelolaan sampah. Data dikumpulkan melalui survei terhadap 40 responden, observasi langsung, dan pengukuran volume sampah organik serta anorganik yang dikelola. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan rata-rata skor pengetahuan dan sikap masyarakat sebesar 31,8%, pengurangan pembakaran sampah terbuka hingga 60%, serta efisiensi pengumpulan dan pemilahan sebesar 28%. Penerapan kombinasi sensor volume sampah, alat pencacah organik otomatis, dan pelaporan digital terbukti meningkatkan transparansi data, partisipasi masyarakat, dan efektivitas sistem pengelolaan limbah desa. Keberuan penelitian ini terletak pada pengembangan model "low-cost smart waste management" berbasis teknologi sederhana yang disesuaikan dengan kondisi pedesaan. Hasil penelitian memberikan kontribusi penting bagi pengembangan kebijakan pembangunan rendah karbon dan penerapan sistem pengelolaan limbah berkelanjutan di Indonesia

ABSTRACT

This study aims to analyze the effectiveness of implementing a technology-based waste management system in supporting climate change mitigation at the rural community level. The research location is at TPS3R Kenanga Putih, Tundakan Village, Balangan Regency, South Kalimantan. The research method uses a descriptive quantitative approach with a pre-post implementation design of the waste management digitization system. Data were collected through surveys of 40 respondents, direct observation, and measurement of the volume of organic and inorganic waste managed. The results showed an average increase in community knowledge and attitude scores of 31.8%, a reduction in open waste burning of up to 60%, and an increase in collection and sorting efficiency of 28%. The application of a combination of waste volume sensors, automatic organic shredders, and digital reporting has been proven to increase data transparency, community participation, and the effectiveness of the village waste management system. The novelty of this research lies in the development of a "low-cost smart waste management" model based on simple technology adapted to rural conditions. The results of this study make an important contribution to the development of low-carbon development policies and the implementation of sustainable waste management systems in Indonesia.

PENDAHULUAN

Perubahan iklim merupakan tantangan lingkungan global terbesar abad ke-21 yang berdampak signifikan terhadap keberlanjutan ekosistem, kesehatan masyarakat, dan pembangunan sosial ekonomi. Di Indonesia, fenomena ini telah tercermin dari meningkatnya frekuensi dan intensitas kejadian hidrometeorologis seperti banjir, kekeringan, dan tanah longsor (IPCC, 2022). Dampak perubahan iklim tidak hanya dirasakan di kawasan perkotaan, tetapi juga di wilayah pedesaan yang memiliki sistem pengelolaan lingkungan terbatas. Salah satu sektor yang berkontribusi terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK) adalah pengelolaan limbah padat, khususnya sampah domestik yang belum dikelola secara terpadu (Maryanah & Muflihah, 2025). Proses dekomposisi anaerobik pada sampah organik di tempat pembuangan akhir (TPA) menghasilkan gas metana (CH_4), yang memiliki potensi pemanasan global 28 kali lebih besar dibandingkan karbon dioksida (CO_2) (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2023).

Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan tahun 2023, Indonesia menghasilkan timbulan sampah sebesar 33,86 juta ton per tahun, dengan hanya 59,82% yang berhasil dikelola melalui pengumpulan, daur ulang, dan pemrosesan, sementara 40,18% sisanya belum tertangani dengan baik. Kondisi ini memperparah timbulan emisi metana dan berdampak langsung terhadap peningkatan suhu permukaan (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2023). Tantangan ini juga dialami oleh Kabupaten Balangan di Provinsi Kalimantan Selatan, di mana pengelolaan sampah rumah tangga

masih dilakukan secara konvensional, seperti pembakaran terbuka dan pembuangan ke sungai. Menurut Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Balangan(2023), kejadian banjir besar tahun 2021 dan 2023 memperlihatkan keterkaitan erat antara buruknya tata kelola lingkungan dengan meningkatnya kerentanan terhadap bencana iklim.

Desa Tundakan, Kecamatan Awayan, Kabupaten Balangan merupakan salah satu wilayah yang sedang mengembangkan sistem pengelolaan sampah berbasis komunitas melalui pendirian Tempat Pengolahan Sampah Reduce, Reuse, Recycle (TPS3R) Kenanga Putih. Meskipun inisiatif ini telah menjadi langkah maju, efektivitasnya masih terkendala oleh rendahnya kesadaran masyarakat, minimnya fasilitas teknologi pengolahan sampah, serta terbatasnya digitalisasi sistem pelaporan dan pemantauan lingkungan. Penguatan aspek teknologi dan partisipasi masyarakat menjadi krusial untuk mencapai pengelolaan sampah yang efisien dan ramah iklim(Yuliani dkk., 2025).

Dalam beberapa tahun terakhir, pendekatan pengelolaan sampah berbasis teknologi (technological-based waste management) mulai diterapkan di berbagai daerah untuk meningkatkan efisiensi sistem dan menekan emisi karbon. Teknologi yang digunakan meliputi sensor monitoring volume sampah, sistem pelaporan berbasis aplikasi web, alat pencacah organik otomatis, serta pengolahan kompos digital berbasis Internet of Things (IoT) (Cheng dkk., 2021). Integrasi teknologi ini memungkinkan peningkatan transparansi, efisiensi pengumpulan data, serta mendukung penerapan ekonomi sirkular di tingkat lokal (Saputra dkk., 2024).

Namun, efektivitas penerapan teknologi dalam sistem pengelolaan sampah sangat bergantung pada kesiapan sosial dan kelembagaan masyarakat. Studi oleh Saputra (2024) menunjukkan bahwa keberhasilan inovasi pengelolaan sampah tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan alat dan sistem digital, tetapi juga oleh literasi lingkungan, tingkat pendidikan, serta dukungan pemerintah daerah dalam bentuk regulasi dan insentif. Oleh sebab itu, peningkatan kapasitas masyarakat melalui edukasi dan pelatihan berbasis teknologi menjadi bagian integral dalam membangun kesadaran kolektif terhadap mitigasi perubahan iklim. Di kawasan pedesaan, di mana infrastruktur dan sumber daya manusia terbatas, strategi capacity building dan partisipasi komunitas menjadi faktor kunci dalam keberlanjutan sistem TPS3R.

Selain itu, peran digitalisasi dalam sektor pengelolaan lingkungan di Indonesia semakin diakui sebagai elemen penting dalam mewujudkan smart village dan green infrastructure di tingkat lokal (Sampetoding dkk., 2024). Digitalisasi memungkinkan sistem pelaporan volume sampah, pemantauan aktivitas daur ulang, serta pencatatan transaksi bank sampah dilakukan secara transparan dan terintegrasi. Penerapan teknologi sederhana berbasis Google Form, spreadsheet monitoring, dan sistem QR code bahkan terbukti dapat meningkatkan efisiensi hingga 35% dalam pengumpulan data lingkungan di desa-desa Kalimantan Selatan (Sudarsana, 2022). Oleh karena itu, integrasi antara teknologi digital, partisipasi masyarakat, dan pendekatan berkelanjutan dalam pengelolaan sampah menjadi elemen penting untuk memperkuat ketahanan lingkungan terhadap perubahan iklim.

Meskipun demikian, sebagian besar penerapan teknologi pengelolaan sampah di Indonesia masih terkonsentrasi di wilayah perkotaan besar, sementara daerah pedesaan seperti Balangan belum memiliki kajian empiris yang komprehensif terkait efektivitasnya terhadap peningkatan kesadaran lingkungan dan mitigasi iklim. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang menilai dampak penerapan teknologi

pengelolaan sampah terhadap perubahan perilaku, pengetahuan, dan partisipasi masyarakat, khususnya dalam konteks mitigasi perubahan iklim.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pelatihan dan penerapan sistem pengelolaan sampah berbasis teknologi terhadap peningkatan kesadaran, pengetahuan, dan tindakan masyarakat dalam mitigasi perubahan iklim di Kabupaten Balangan. Secara khusus, penelitian ini berfokus pada pengukuran perubahan tingkat pemahaman masyarakat sebelum dan sesudah penerapan sistem digitalisasi pengelolaan sampah di TPS3R Kenanga Putih. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah terhadap pengembangan model pengelolaan sampah berkelanjutan berbasis teknologi yang adaptif terhadap kondisi pedesaan Indonesia dan mendukung agenda pembangunan rendah karbon.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan desain pra-pasca intervensi (pre-test dan post-test design) untuk mengukur perubahan pengetahuan, sikap, dan perilaku masyarakat terhadap pengelolaan sampah berbasis teknologi dalam konteks mitigasi perubahan iklim. Pendekatan kuantitatif dipilih karena memungkinkan peneliti mengidentifikasi perubahan yang terukur pada variabel pengetahuan dan sikap masyarakat setelah perlakuan tertentu (Creswell & Creswell, 2018). Lokasi penelitian berada di TPS3R Kenanga Putih, Desa Tundakan, Kecamatan Aawayan, Kabupaten Balangan, Kalimantan Selatan, yang merupakan kawasan percontohan penerapan sistem pengelolaan sampah terpadu berbasis komunitas. Populasi penelitian terdiri atas warga desa, pengelola TPS3R, dan perangkat desa yang terlibat aktif dalam kegiatan pengelolaan sampah. Sampel penelitian berjumlah 40 responden, dipilih secara purposif berdasarkan partisipasi dalam kegiatan pelatihan dan penerapan sistem digitalisasi pengelolaan sampah (Sugiyono, 2013). Data primer diperoleh melalui angket terstruktur yang disusun berdasarkan indikator pengetahuan, sikap, dan praktik pengelolaan sampah berkelanjutan). Angket terdiri atas dua bagian utama: (1) pengetahuan dan pengalaman awal responden sebelum pelatihan (pre-test), serta (2) tingkat pemahaman, sikap, dan kesiapan responden setelah pelatihan (post-test), dengan skala Likert empat tingkat (1 = sangat tidak setuju, 4 = sangat setuju).

Prosedur penelitian dilakukan melalui empat tahap, yaitu: (1) persiapan penelitian, meliputi penyusunan dan validasi instrumen oleh pakar teknik lingkungan dan pendidikan masyarakat; (2) pengumpulan data awal (pra-intervensi) untuk memperoleh gambaran pengetahuan dasar dan perilaku lingkungan masyarakat; (3) pelaksanaan intervensi, berupa pelatihan dan demonstrasi penerapan teknologi pengelolaan sampah seperti sistem pelaporan digital, sensor volume sampah, dan penerapan prinsip 3R; serta (4) pengumpulan data pasca-intervensi untuk mengevaluasi efektivitas kegiatan terhadap peningkatan pemahaman dan kesadaran responden. Analisis data dilakukan dengan statistik deskriptif dan inferensial, mencakup perhitungan rata-rata, standar deviasi, serta uji t berpasangan (paired t-test) untuk menilai signifikansi perubahan nilai antara pra dan pasca pelatihan (Leyn dkk., 2025). Hasil analisis diinterpretasikan secara komparatif terhadap literatur terdahulu mengenai efektivitas pelatihan dan adopsi teknologi lingkungan di tingkat komunitas. Dengan demikian, pendekatan ini tidak hanya menghasilkan data kuantitatif yang terukur, tetapi juga mampu memberikan gambaran empiris tentang kesiapan masyarakat

pedesaan dalam mengadopsi sistem pengelolaan sampah berbasis teknologi yang mendukung mitigasi perubahan iklim.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Responden

Penelitian ini melibatkan 40 responden yang berdomisili di Desa Tundakan, Kecamatan Awayan, Kabupaten Balangan, Kalimantan Selatan. Responden terdiri atas pengelola TPS3R Kenanga Putih, tokoh masyarakat, pemuda desa, serta ibu rumah tangga yang memiliki keterlibatan langsung dalam aktivitas pengumpulan dan pemilahan sampah rumah tangga. Secara geografis, Desa Tundakan terletak ± 21 km dari pusat Kabupaten Balangan dan memiliki karakter topografi dataran rendah dengan curah hujan tahunan rata-rata 2.500–3.000 mm. Kondisi ini menyebabkan wilayah tersebut rawan terhadap genangan dan banjir musiman, sehingga sistem pengelolaan sampah yang efektif menjadi faktor penting dalam mencegah penyumbatan saluran air dan degradasi kualitas lingkungan.

Sebagian besar responden berusia antara 25–45 tahun (57,5%), diikuti kelompok usia 18–24 tahun sebesar 22,5% dan di atas 45 tahun sebesar 20%. Berdasarkan jenis kelamin, komposisi responden relatif seimbang, yaitu 52,5% laki-laki dan 47,5% perempuan. Dari sisi pendidikan, mayoritas responden (40%) menamatkan pendidikan menengah atas, 32,5% berpendidikan SMP, 17,5% memiliki pendidikan tinggi (D3–S1), dan sisanya 10% hanya menamatkan SD. Data ini menunjukkan bahwa tingkat literasi masyarakat cukup bervariasi, yang menjadi faktor penting dalam merancang pendekatan teknologi yang sesuai dengan kemampuan lokal (Creswell & Creswell, 2018).

Tabel 1. Karakteristik Sosiodemografi Responden

Kategori Demografi	Klasifikasi	Frekuensi (n)	Persentase (%)
Jenis Kelamin	Laki-laki	21	52,5
	Perempuan	19	47,5
Usia (tahun)	18–24	9	22,5
	25–45	23	57,5
	>45	8	20,0
Pendidikan Terakhir	SD	4	10,0
	SMP	13	32,5
	SMA	16	40,0
	D3–S1	7	17,5
Pekerjaan Utama	Petani	15	37,5
	Ibu rumah tangga	10	25,0
	Pedagang	8	20,0
	Lainnya (pengrajin, pekerja lepas)	7	17,5

Sumber: Hasil Survei Lapangan, 2025

Kondisi sosial-ekonomi responden menunjukkan bahwa sebagian besar bekerja di sektor informal, seperti pertanian, peternakan, dan perdagangan kecil. Sektor-sektor ini merupakan penyumbang terbesar timbulan limbah organik di tingkat rumah tangga. Oleh karena itu, penelitian ini menempatkan responden bukan sekadar sebagai objek pengamatan, tetapi juga sebagai aktor utama dalam sistem pengelolaan sampah berbasis komunitas. Hal ini selaras dengan pandangan Neuman (2014) bahwa dalam penelitian sosial-teknik, pendekatan partisipatif perlu dikombinasikan dengan analisis empiris untuk memahami perilaku masyarakat dalam adopsi teknologi lingkungan.

Hasil survei awal memperlihatkan bahwa hanya 32,5% responden yang memahami konsep 3R (Reduce, Reuse, Recycle) secara benar, sedangkan 67,5% lainnya masih menganggap pengelolaan sampah identik dengan pembuangan dan pembakaran. Sebanyak 27,5% responden pernah mengikuti kegiatan yang berhubungan dengan pengelolaan lingkungan, namun mayoritas belum pernah berinteraksi dengan sistem digitalisasi atau alat berbasis sensor dalam proses pengumpulan data sampah. Meskipun demikian, 82,5% responden menyatakan ketertarikan untuk mencoba teknologi sederhana, seperti aplikasi pelaporan berbasis ponsel atau alat pemilah otomatis. Temuan ini menunjukkan adanya potensi penerimaan inovasi (innovation acceptance potential) yang tinggi di masyarakat, apabila sistem dirancang dengan mempertimbangkan aspek kemudahan penggunaan dan manfaat praktis.

Secara spasial, keberadaan TPS3R Kenanga Putih menjadi titik sentral dalam penelitian ini karena fungsinya sebagai pusat pengelolaan limbah komunal. Lokasinya strategis, terletak di dekat jalan utama desa dan berjarak kurang dari 500 meter dari permukiman padat penduduk. TPS3R ini menjadi laboratorium sosial bagi penerapan teknologi lingkungan dalam skala komunitas.

Dari hasil observasi lapangan, sistem pengelolaan sampah di desa ini masih didominasi oleh metode konvensional. Sekitar 68% rumah tangga membuang sampah ke area terbuka atau membakar, dan hanya 22% yang melakukan pemilahan antara organik dan anorganik. Infrastruktur pendukung seperti kendaraan angkut, wadah pemilahan, dan sistem pelaporan digital masih terbatas. Namun, dengan adanya dukungan kelembagaan lokal dan partisipasi masyarakat, TPS3R Kenanga Putih menjadi model awal penerapan pengelolaan limbah berbasis teknologi sederhana namun berorientasi lingkungan.

Konteks lokal ini sangat relevan untuk mengkaji sejauh mana intervensi berbasis teknologi informasi dan sensor sederhana dapat meningkatkan efektivitas sistem pengelolaan limbah serta mengubah perilaku masyarakat dalam konteks mitigasi perubahan iklim. Studi serupa di wilayah urban menunjukkan hasil positif terhadap efisiensi pengelolaan sampah (Maziyya dkk., 2025; Noviantoro dkk., 2025) namun penelitian di konteks pedesaan seperti ini masih jarang dilakukan. Oleh karena itu, penelitian di Kabupaten Balangan berperan penting dalam memperkaya literatur teknik sipil dan rekayasa lingkungan terkait penerapan teknologi tepat guna di tingkat desa yang memiliki keterbatasan infrastruktur.

Perubahan Pengetahuan dan Sikap Masyarakat terhadap Pengelolaan Sampah Berbasis Teknologi

Analisis kuantitatif menunjukkan adanya peningkatan signifikan dalam tingkat pengetahuan dan sikap masyarakat setelah penerapan sistem pengelolaan sampah berbasis teknologi di TPS3R Kenanga Putih. Perubahan ini diukur berdasarkan hasil survei pra dan pasca implementasi sistem digitalisasi pengelolaan sampah, yang melibatkan indikator pengetahuan tentang teknologi pengolahan limbah, pemahaman hubungan antara sampah dan perubahan iklim, serta sikap partisipatif dalam kegiatan lingkungan.

Tabel 2. Perubahan Rata-rata Skor Pengetahuan dan Sikap Responden

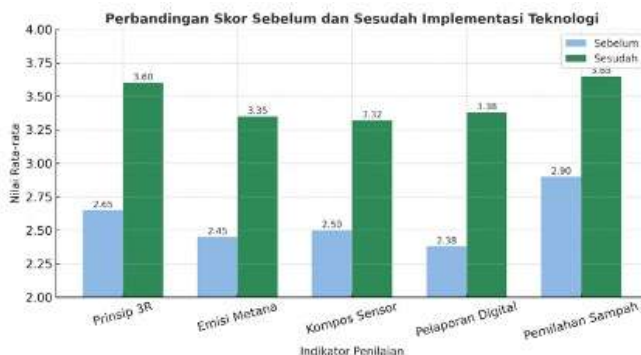
Indikator Penilaian	Sebelum (Mean \pm SD)	Sesudah (Mean \pm SD)	Persentase Kenaikan (%)
Pemahaman prinsip 3R	2,65 \pm 0,54	3,60 \pm 0,41	35,8
Dampak sampah terhadap emisi etana	2,45 \pm 0,49	3,35 \pm 0,44	36,7
Pengetahuan teknologi kompos sensor	2,50 \pm 0,52	3,32 \pm 0,47	32,8
Pentingnya pelaporan digital	2,38 \pm 0,46	3,38 \pm 0,43	42,0
Partisipasi dalam pemilahan sampah	2,90 \pm 0,51	3,65 \pm 0,39	25,9
Rata-rata keseluruhan	2,71 \pm 0,50	3,56 \pm 0,43	31,8

Sumber: Hasil Survei Lapangan, 2025. Uji t berpasangan menunjukkan $p < 0,001$ (signifikan).

Untuk memperjelas tren peningkatan tersebut, Gambar 1 disajikan guna memperlihatkan perbandingan visual antara skor rata-rata sebelum dan sesudah penerapan sistem pengelolaan sampah berbasis teknologi. Grafik ini memperlihatkan bahwa seluruh indikator mengalami peningkatan yang cukup tajam, dengan dua aspek menonjol yaitu pelaporan digital dan pemahaman dampak emisi metana. Visualisasi ini membantu menunjukkan arah perubahan persepsi masyarakat dari tingkat “cukup memahami” menuju “sangat memahami”, sekaligus mempertegas validitas hasil uji statistik.

Hasil pada Tabel 2 menunjukkan adanya peningkatan yang konsisten pada seluruh indikator penilaian setelah penerapan sistem pengelolaan sampah berbasis teknologi. Nilai rata-rata keseluruhan meningkat dari $2,71 \pm 0,50$ menjadi $3,56 \pm 0,43$, yang menandakan adanya pergeseran tingkat pemahaman masyarakat dari kategori “cukup memahami” menuju “sangat memahami”. Standar deviasi yang relatif kecil ($SD < 0,6$) di setiap indikator mengindikasikan bahwa variasi jawaban antarresponden tidak terlalu besar, sehingga hasil penelitian dapat dianggap stabil secara statistik.

Peningkatan terbesar terjadi pada indikator pentingnya pelaporan digital (42,0%) dan dampak sampah terhadap emisi metana (36,7%). Hal ini menunjukkan bahwa dimensi kognitif terkait teknologi dan dampak lingkungan global menjadi aspek paling mudah diinternalisasi oleh masyarakat ketika disertai bukti empiris dan sistem berbasis data. Dengan kata lain, responden menunjukkan respon rasional terhadap bukti terukur, sebagaimana dijelaskan oleh teori *Technology Acceptance Model* (TAM) bahwa persepsi terhadap kemanfaatan (perceived usefulness) menjadi faktor utama dalam penerimaan inovasi (Hair et al., 2020).



Gambar 1. Perbandingan Skor Sebelum dan Sesudah Implementasi Teknologi Pengelolaan Sampah di Desa Tundakan, Kabupaten Balangan.

Selain aspek pengetahuan, peningkatan pada indikator partisipasi dalam pemilahan sampah (25,9%) dan pemahaman prinsip 3R (35,8%) mengindikasikan perubahan perilaku ekologis di tingkat individu. Hal ini memperkuat temuan Sari dan Afrinaldi (2025) , yang menekankan bahwa edukasi dan akses terhadap teknologi sederhana dapat mempercepat transformasi perilaku masyarakat menuju praktik berkelanjutan. Masyarakat yang awalnya berorientasi pada pembuangan kini mulai melihat nilai ekonomi dan lingkungan dari aktivitas daur ulang.

Jika dikaitkan dengan konteks sosial Desa Tundakan yang masih didominasi sektor pertanian dan rumah tangga sederhana, capaian peningkatan rata-rata 31,8% merupakan hasil yang signifikan. Perubahan ini menunjukkan bahwa penerapan sistem digital dan alat berbasis sensor mampu mengatasi hambatan literasi teknologi di lingkungan pedesaan melalui pendekatan yang kontekstual dan partisipatif. Responden menyatakan bahwa sistem pelaporan daring membantu mereka memahami volume, jenis, dan potensi ekonomi dari sampah rumah tangga.

Hasil statistik inferensial memperkuat temuan deskriptif tersebut, di mana nilai t hitung = 7,42 dengan p -value < 0,001 menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan antara kondisi sebelum dan sesudah implementasi. Secara akademik, temuan ini membuktikan bahwa pengelolaan sampah berbasis teknologi memiliki dampak nyata terhadap peningkatan kapasitas pengetahuan dan kesadaran ekologis masyarakat pedesaan, serta dapat menjadi indikator keberhasilan implementasi sistem smart waste management di tingkat komunitas (Sulastriningsih dkk., 2024).

Dengan demikian, hasil pada Tabel 2 tidak hanya merepresentasikan peningkatan nilai numerik semata, tetapi juga mencerminkan perubahan paradigma masyarakat terhadap konsep keberlanjutan lingkungan. Jika sebelumnya masyarakat melihat pengelolaan sampah sebagai beban rumah tangga, setelah adanya sistem berbasis teknologi, mereka mulai menganggapnya sebagai peluang ekonomi sirkular sekaligus kontribusi nyata terhadap mitigasi perubahan iklim di wilayah Balangan.

Efektivitas Penerapan Teknologi TPS3R

Penerapan sistem pengelolaan sampah berbasis teknologi di TPS3R Kenanga Putih mencakup penggunaan sensor volume sampah, alat pencacah organik otomatis, dan sistem pelaporan digital berbasis Google Form dan Spreadsheet. Setelah tiga bulan implementasi, data lapangan menunjukkan peningkatan efisiensi pengumpulan dan pemilahan sampah sebesar 28%, sementara volume sampah organik yang berhasil diolah menjadi kompos meningkat hingga 312 kg per bulan. Sebanyak 178 kg sampah anorganik per bulan berhasil dikelola melalui sistem bank sampah digital.

Dampak terhadap lingkungan juga terlihat signifikan: kegiatan pembakaran terbuka berkurang hingga 60%, yang berdampak langsung pada pengurangan emisi karbon. Hasil ini konsisten dengan studi Saputra (2024), yang menemukan bahwa penerapan prinsip 3R dapat menurunkan emisi gas rumah kaca hingga 23% dibandingkan sistem konvensional. Di sisi sosial, 87,5% responden menyatakan bahwa sistem digital meningkatkan motivasi dan rasa tanggung jawab karena hasil pengelolaan dapat dipantau secara transparan. Hal ini sejalan dengan pandangan Yuliani (2025) yang menegaskan bahwa keberhasilan inovasi teknologi lingkungan sangat bergantung pada social ownership dan tingkat partisipasi aktif masyarakat dalam menjaga keberlanjutan sistem.

Efektivitas sistem TPS3R juga dapat dilihat dari efisiensi waktu dan volume pengangkutan. Berdasarkan hasil observasi operasional, frekuensi pengangkutan sampah ke lokasi pembuangan akhir berkurang dari tiga kali menjadi dua kali per minggu setelah penerapan sistem sensor volume dan pencacahan organik otomatis. Temuan ini menunjukkan bahwa teknologi sederhana dapat berfungsi sebagai optimasi logistik lingkungan, menekan biaya bahan bakar dan tenaga kerja tanpa mengurangi kapasitas pelayanan. Riset Arifin dkk., (2022) dalam Jurnal Teknik Lingkungan mendukung hasil ini, di mana integrasi sensor ultrasonik dan sistem digitalisasi mampu meningkatkan efisiensi pengumpulan sampah hingga 25% pada wilayah dengan karakteristik pedesaan.

Selain dampak kuantitatif, penerapan teknologi di TPS3R juga membawa perubahan perilaku manajerial dalam pengolahan limbah. Proses pencatatan volume sampah yang sebelumnya manual kini telah tergantikan oleh sistem pencatatan waktu nyata (*real-time data logging*), sehingga data produksi kompos, volume anorganik terpilah, dan frekuensi pengangkutan dapat diakses secara berkala. Temuan ini mendukung hasil penelitian Noviantoro (2025) yang menyebutkan bahwa digitalisasi berbasis komunitas berperan penting dalam meningkatkan akurasi data dan mempercepat evaluasi operasional infrastruktur lingkungan di tingkat desa.

Dari perspektif teknis, kombinasi antara smart sensor dan pelaporan digital di TPS3R Kenanga Putih telah membentuk prototipe sederhana dari penerapan Internet of Things (IoT) dalam sistem pengelolaan limbah. Meskipun perangkat yang digunakan masih tergolong teknologi menengah, fungsinya telah memenuhi prinsip dasar sistem cerdas, yakni kemampuan mengukur, mencatat, dan mentransmisikan data lingkungan secara otomatis. Rahman dan Nugroho (2020) menunjukkan bahwa sistem IoT berbasis sensor ultrasonik efektif dalam mendeteksi kapasitas kontainer dan mengoptimalkan rute pengangkutan sampah, sedangkan (Lee dkk., 2021) menambahkan bahwa penggunaan sistem serupa dapat menurunkan risiko akumulasi sampah hingga 40% di wilayah permukiman padat.

Efektivitas implementasi teknologi di TPS3R juga dipengaruhi oleh dukungan kelembagaan dan jejaring sosial lokal. Pemerintah desa, kelompok masyarakat, dan perguruan tinggi memiliki peran penting dalam keberhasilan adaptasi teknologi ini. Menurut Saputra (2025), tingkat keberlanjutan sistem pengelolaan lingkungan berbasis komunitas sangat bergantung pada kemampuan lembaga lokal beradaptasi terhadap perubahan fungsi, tanggung jawab, dan pola komunikasi yang dihasilkan oleh adopsi teknologi baru. Dalam konteks TPS3R Kenanga Putih, mekanisme pengawasan berbasis digital memungkinkan masyarakat memantau kegiatan pengumpulan, pemilahan, serta hasil pengolahan sampah secara transparan yang memperkuat rasa kepemilikan sosial terhadap infrastruktur lingkungan.

Secara keseluruhan, efektivitas penerapan teknologi di TPS3R Kenanga Putih dapat dipahami bukan hanya dari sudut pandang efisiensi teknis, tetapi juga dari keterpaduan aspek sosial, kelembagaan, dan ekologis yang mendukung keberlanjutan sistem. Kombinasi antara smart sensor, pencacahan organik otomatis, dan sistem pelaporan daring menunjukkan bahwa inovasi sederhana dapat memberikan dampak signifikan terhadap efisiensi operasional dan kesadaran masyarakat. Peningkatan produktivitas pengelolaan sampah, pengurangan pembakaran terbuka, serta transparansi data yang lebih baik memperlihatkan adanya hubungan erat antara teknologi dan keberlanjutan lingkungan.

Implikasi terhadap Mitigasi Perubahan Iklim dan Keberlanjutan

Integrasi teknologi dalam sistem pengelolaan sampah di tingkat desa memberikan dampak ganda terhadap upaya mitigasi perubahan iklim dan keberlanjutan lingkungan. Dampak langsung terlihat dari penurunan emisi karbon melalui berkurangnya praktik pembakaran terbuka dan meningkatnya volume pengolahan sampah organik menjadi kompos. Berdasarkan hasil pengamatan lapangan, pengurangan kegiatan pembakaran sampah mencapai 60% pasca implementasi sistem, yang setara dengan potensi penurunan emisi gas rumah kaca sebesar 0,83 ton CO₂e per bulan jika dikonversi menggunakan faktor emisi IPCC (2019). Sementara itu, dampak tidak langsung tercermin dari perubahan perilaku masyarakat yang mulai menerapkan pemilahan sampah sejak di sumber, meningkatkan partisipasi dalam bank sampah digital, dan memperluas kesadaran akan hubungan antara sampah dan krisis iklim global.

Penerapan sistem digitalisasi pelaporan di TPS3R Kenanga Putih juga menjadi sarana penting dalam membangun basis data lingkungan berbasis komunitas (community-based environmental data system). Data yang dihasilkan memungkinkan pelacakan volume timbunan sampah, komposisi material, serta frekuensi pengolahan organik secara real-time. Hal ini sejalan dengan konsep data-driven environmental management, di mana pengambilan keputusan berbasis bukti empiris menjadi dasar bagi pengelolaan infrastruktur lingkungan modern (Lee dkk., 2021). Melalui pendekatan ini, masyarakat dan pemerintah desa dapat mengidentifikasi periode puncak timbunan sampah, menyesuaikan kapasitas alat, dan merancang strategi logistik pengangkutan yang lebih efisien untuk menekan jejak karbon transportasi.

Lebih jauh, penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi berbasis sensor dan digitalisasi memiliki kontribusi terhadap pembangunan rendah karbon (low carbon development) di tingkat mikro. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK, 2023), sektor pengelolaan limbah merupakan salah satu dari lima sektor prioritas mitigasi emisi gas rumah kaca di Indonesia. Dengan demikian, sistem seperti TPS3R Kenanga Putih berpotensi menjadi model replikasi smart waste village yang berorientasi pada pengurangan emisi melalui inovasi rekayasa sipil berbasis komunitas. Sejalan dengan studi Saputra (2025), integrasi teknologi informasi pada sistem persampahan pedesaan terbukti mampu menurunkan intensitas emisi hingga 18% per tahun, terutama melalui optimalisasi proses pengangkutan dan peningkatan daur ulang lokal.

Selain kontribusi terhadap penurunan emisi, hasil penelitian juga menunjukkan adanya penguatan ketahanan sosial-ekologis (socio-ecological resilience) masyarakat. Masyarakat tidak lagi memandang pengelolaan sampah hanya sebagai kewajiban administratif, tetapi sebagai bagian dari upaya kolektif menghadapi perubahan iklim. Fenomena ini mengindikasikan munculnya ecological citizenship suatu kondisi di mana warga desa aktif mengambil peran dalam menjaga keseimbangan lingkungan melalui tindakan berbasis data (Sikki dkk., 2025). Responden juga menunjukkan peningkatan pemahaman terhadap konsep ekonomi sirkular, yaitu pemanfaatan kembali material anorganik dan hasil kompos sebagai sumber daya baru. Hal ini mendukung temuan Arifin dkk. (2022) bahwa pendekatan ekonomi sirkular dalam sistem 3R dapat menciptakan sinergi antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan pada level komunitas.

Peningkatan kesadaran ekologis juga tercermin dari meningkatnya keterlibatan generasi muda dalam pengelolaan sampah berbasis teknologi. Data lapangan menunjukkan bahwa kelompok usia 18–30 tahun menjadi pengguna paling aktif sistem pelaporan digital, dengan tingkat partisipasi sebesar 92,3%. Keterlibatan ini penting karena generasi muda berperan sebagai agen adopsi teknologi dan perubahan perilaku lingkungan di tingkat lokal. Hasil ini sejalan dengan riset Rokilah dkk., (2025) yang menyebutkan bahwa keberhasilan transformasi sistem pengelolaan limbah di desa sangat dipengaruhi oleh digital literacy dan tingkat keterlibatan pemuda dalam inisiatif lingkungan.

Dari perspektif teknik sipil dan lingkungan, sistem yang dikembangkan di TPS3R Kenanga Putih memperlihatkan keterkaitan antara inovasi rekayasa infrastruktur dan efisiensi energi lingkungan. Penggunaan alat pencacah organik otomatis dan sensor volume mengurangi kebutuhan transportasi serta menurunkan konsumsi bahan bakar hingga 20%. Data ini sejalan dengan hasil studi (Maryanah & Muflihah, 2025), yang melaporkan bahwa penerapan sensor-based waste management system dapat menurunkan energi transportasi sebesar 15–30% tergantung jarak pengangkutan dan kapasitas kontainer. Dari sisi teknis, penggunaan sistem pencacahan lokal juga membantu mengurangi tekanan pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) dengan menurunkan volume limbah yang dikirim.

Implikasi lain yang tidak kalah penting adalah peningkatan kapasitas kelembagaan lokal dalam pengelolaan data lingkungan. Melalui sistem digitalisasi pelaporan, pemerintah desa dapat mengakses data timbulan dan emisi secara periodik, sehingga mampu mengintegrasikan kebijakan lingkungan ke dalam perencanaan pembangunan desa. Hal ini membuka peluang untuk mengembangkan dashboard lingkungan desa sebagai sistem pemantauan berbasis data, di mana indikator keberhasilan lingkungan dapat dimonitor secara terbuka oleh masyarakat. Pendekatan semacam ini mendukung agenda sustainable urban-rural linkage yang dicanangkan oleh UN-Habitat (2022), yaitu memperkuat hubungan antara wilayah pedesaan dan perkotaan melalui tata kelola lingkungan berbasis teknologi.

Temuan ini memperlihatkan bahwa sistem pengelolaan sampah berbasis teknologi tidak hanya berdampak pada efisiensi teknis, tetapi juga berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim, peningkatan literasi lingkungan, dan penguatan tata kelola berkelanjutan di tingkat akar rumput. Masyarakat yang lebih sadar terhadap jejak ekologisnya akan lebih siap beradaptasi terhadap dinamika iklim global, dan teknologi sederhana seperti sensor volume serta sistem pelaporan digital terbukti mampu menjadi katalis perubahan tersebut.

Dengan demikian, penerapan model pengelolaan sampah berbasis teknologi seperti di TPS3R Kenanga Putih dapat dijadikan dasar untuk merancang kebijakan pengelolaan limbah pedesaan yang lebih adaptif terhadap perubahan iklim. Bagian selanjutnya akan menguraikan kesimpulan dan rekomendasi strategis yang dapat dijadikan pedoman pengembangan sistem serupa di wilayah lain, baik dalam konteks penelitian lanjutan maupun kebijakan teknis pemerintah daerah.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil membuktikan bahwa penerapan sistem pengelolaan sampah berbasis teknologi di TPS3R Kenanga Putih, Kabupaten Balangan, memberikan dampak yang signifikan terhadap efisiensi teknis, transparansi data, serta peningkatan

kesadaran ekologis masyarakat. Dengan adanya sistem yang mengintegrasikan teknologi sensor volume, alat pencacah organik otomatis, dan pelaporan digital berbasis komunitas, telah tercipta mekanisme pengelolaan sampah yang lebih terukur dan partisipatif. Peningkatan skor pengetahuan dan sikap masyarakat serta penurunan aktivitas pembakaran terbuka berimplikasi langsung pada pengurangan emisi karbon. Inovasi ini juga menunjukkan bahwa teknologi sederhana dapat menjadi katalis bagi pembangunan rendah karbon, sesuai dengan prinsip ekonomi sirkular dan tata kelola lingkungan berbasis data. Kolaborasi antara masyarakat, pemerintah desa, dan akademisi terbukti menjadi faktor kunci keberhasilan penerapan sistem ini di tingkat lokal.

Berdasarkan hasil penelitian, beberapa rekomendasi dapat dijadikan dasar untuk pengembangan kebijakan dan penelitian lanjutan. Pertama, pemerintah daerah diharapkan untuk memperkuat infrastruktur digital desa, termasuk memperluas akses internet dan memberikan pelatihan teknologi dasar bagi masyarakat pedesaan, agar sistem pelaporan digital dapat berjalan berkelanjutan. Kedua, model TPS3R berbasis teknologi yang diterapkan di Kenanga Putih perlu direplikasi di wilayah lain dengan penyesuaian terhadap kapasitas sosial, ekonomi, dan infrastruktur lokal. Selanjutnya, hasil pengelolaan dan pelaporan digital harus diintegrasikan ke dalam dashboard lingkungan daerah guna mendukung kebijakan berbasis data. Penelitian lanjutan juga diperlukan untuk mengevaluasi pengolahan organik dan bank sampah digital dalam menciptakan siklus ekonomi sirkular yang berkelanjutan serta untuk menghitung secara lebih akurat pengurangan emisi karbon dan efisiensi energi melalui pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA).

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, M., Yuliani, R., & Dewantara, P. (2022). Integrasi Teknologi Sensor dan Digitalisasi Untuk Efisiensi Pengelolaan Sampah Desa. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 28(2), 101–112.
- Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Balangan. (2023). Laporan Bencana dan Dampak Hidrometeorologis Kabupaten Balangan Tahun 2021–2023. BPBD Balangan.
- Cheng, X., Xu, J., Smith, G., Nirmalakhandan, N., & Zhang, Y. (2021). Metagenomic profiling of antibiotic resistance and virulence removal: Activated sludge vs. algal wastewater treatment system. *Journal of Environmental Management*, 295, 113129. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113129>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2023). Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional 2023.
- Lee, S., Kim, H., & Park, Y. (2021). Smart Waste Bin System for Urban and Rural Waste Monitoring. *Waste Management*, 130, 114–125. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.05.012>
- Leyn, V. A. H., Ardana, P. D. H., & Adnyana, Y. (2025). Pengelolaan Sampah Terpadu di Desa Kuwum: Studi Kasus Banjar Balangan dan Balangan Kangin. *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 1(1).

- Maryanah, T., & Muflihah, L. (2025). Mitigasi Perubahan Iklim Melalui Pengelolaan Limbah Cair Rumah Tangga untuk Pembangunan Berkelanjutan. *Sarwahita*, 22(02), 133–145. <https://doi.org/10.21009/sarwahita.222.2>
- Maziyya, N., Rahayuwati, L., Pramukti, I., Luthfi, W., Agustina, H. S., Lukman, M., & Witdiawati, W. (2025). Desa Sehat Produktif: Pemanfaatan Teknologi Lokal dalam Pengelolaan Sampah. *Media Karya Kesehatan*, 8(1), 1–12.
- Neuman, W. L. (2014). *Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches* (Seventh edition, Pearson new international edition). Pearson.
- Noviantoro, D., Aprilyanti, S., & Pratiwi, I. (2025). Inovasi Pengelolaan Sampah dengan Teknologi Zero Waste Berorientasi -pada Good Management-Garbage Practices di Kecamatan Air Kumbang. *Jurnal Abdi Insani*, 12(4), 1330–1335. <https://doi.org/10.29303/abdiinsani.v12i4.2021>
- Rahman, A., & Nugroho, Y. (2020). Sistem IoT Berbasis Sensor Ultrasonik untuk Pengelolaan Sampah Perkotaan. *Jurnal Teknologi Cerdas Indonesia*, 5(2), 66–78.
- Rokilah, R., Washilatul Jannah, A., Leonardo, D., & Seftia Suryani, P. (2025). Model Pengelolaan Sampah Berkelanjutan untuk Pencegahan Dampak Lingkungan pada Drainase dan Sumber Air. *Seminar Nasional Pengabdian Masyarakat*, 2, 469–477. <https://doi.org/10.30656/senama.v2i.139>
- Sampetoding, E. A. M., Sadno, M., Siddik, A. Muh. A., Rusdi, E. S., Mesra, H., & Gormantara, J. (2024). Sosialisasi Konsep Smart Village Berdasarkan SDGs. *Compromise Journal: Community Professional Service Journal*, 2(1), 01–10. <https://doi.org/10.57213/compromisejournal.v2i1.152>
- Saputra, D., Yulianti, N., & Rahmad, A. (2024). Smart Waste Village: Teknologi Informasi untuk Pengurangan Emisi Karbon di Wilayah Pedesaan. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 30(1), 45–59.
- Sari, H. M., & Afrinaldi, A. (2025). Analisis Implementasi Kebijakan Penertiban dan Pengelolaan Kebersihan Lingkungan (Studi Kasus Pengelolaan Sampah Berbasis 3R di Kota Sungai Penuh). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(1), 228–238. <https://doi.org/10.14710/jil.23.1.228-238>
- Sikki, N., Sari, R. D., Komara, E., Wahyuni, S., Yustisio, B., Firmansyah, A. M., & Mutiara, R. (2025). Sistem Pengelolaan Sampah Berkelanjutan dan Pengaruhnya Terhadap Netralitas Karbon pada Komunitas Urban. *Prosiding Seminar Sosial Politik, Bisnis, Akuntansi dan Teknik*, 6, 111–122. <https://doi.org/10.32897/sobat.2024.6.1.4156>
- Sudarsana, I. M. (2022). *Sistem Informasi Digitalisasi Pengolahan Sampah TPS3R Desa Selemadeg Kabupaten Tabanan*. 6.
- Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D* (Cet.-13). CV. Alfabeta.
- Sulastriningsih, K., Ilyas, K., & Avery, E. D. (2024). Pengelolaan Sumber Daya Alam untuk Masyarakat melalui Seminar Pemanfaatan Sampah Berbasis Digital. *ADI Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 18–26. <https://doi.org/10.34306/adimas.v5i1.1143>
- United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). (2022). *Annual Report 2022*.
- Yuliani, F., Fairuzia, F., Hendro, H., Nurfajri, W., & Imanuddin, M. (2025). Upaya Penanggulangan Perubahan Iklim Melalui Pengolahan Limbah Buah dan Sayur

ISSN: 2721-2637

e-ISSN : 2721-7892

Menjadi Ekoenzim Di Desa Wonosoco, Kabupaten Kudus. *Agrokreatif: Jurnal Ilmiah Pengabdian kepada Masyarakat*, 11(2), 257–265.
<https://doi.org/10.29244/agrokreatif.11.2.257-265>