

# Training on Utilizing an IoT-Based Inorganic Waste Management System for Sustainable Public Welfare

## Pelatihan Pemanfaatan Sistem Pengelolaan Limbah Anorganik Berbasis IoT Guna Kesejahteraan Rakyat Berkelanjutan

Ruli Supriati<sup>1\*</sup> , Ageng Setiani Rafika<sup>2</sup> , Dwi Andayani<sup>3</sup> , Aulia Rahma Dina<sup>4</sup> , Muhammad Ghifari

Ilham<sup>5</sup> , Ersa Aura Natasya<sup>6</sup> , Irene Apriani Widjaya<sup>7</sup> 

<sup>1,2,5,6,7</sup>Faculty of Science and Technology, University of Raharja, Indonesia

<sup>3,4</sup>Faculty of Economics and Business, University of Raharja, Indonesia

<sup>1</sup>ruli@raharja.info, <sup>2</sup>agengsetianirafika@raharja.info, <sup>3</sup>dwi.andayani@raharja.info, <sup>4</sup>aulia.rahma@raharja.info,

<sup>5</sup>ghifari.ilham@raharja.info, <sup>6</sup>ersa.aura@raharja.info, <sup>7</sup>irene.apriani@raharja.info

\*Penulis Korespondensi

### Article Info

#### Riwayat Artikel:

Penyerahan 19 Juni 2025

Revisi 14 Agustus 2025

Diterima 8 Oktober 2025

Diterbitkan 19 November 2025

#### Keywords:

Orange Box

IoT

Waste Management

Recycling

Community Participation

#### Kata Kunci:

Orange Box

IoT

Pengelolaan Sampah

Daur Ulang

Partisipasi Masyarakat



### ABSTRACT

The increasing accumulation of unmanaged **inorganic waste** has become a serious environmental issue that threatens ecosystem sustainability and public health. However, the distribution of advanced technology has not yet reached many local communities. Therefore, the Orange Box technology was introduced as an Internet of Things (IoT)-based innovation designed to automatically sort and recycle inorganic waste through intelligent detection and data-driven processing systems. The intended benefits for the community are to improve the effectiveness and social impact of waste management through the implementation of the Orange Box. Hence, technological literacy and training are required to enhance the efficiency of waste sorting and **utilization**. This community service program applied a **mixed-methods** approach, combining surveys, direct observations, and interviews to assess community behavior, awareness levels, and satisfaction. The results of continuous socialization and training activities showed a **significant increase** in the quantity and accuracy of inorganic waste sorting, as well as improved public awareness of sustainable waste management. Furthermore, the community found the system easy to use and motivating for consistent waste sorting practices. These findings confirm that **IoT technology** plays an essential role in achieving smart waste management and fostering environmental responsibility at the community level, in alignment with the Sustainable Development Goals (SDG 12 Responsible Consumption and Production, and SDG 13 Climate Action). Future studies are recommended to expand implementation, integrate economic incentives, and enhance real-time monitoring systems for broader urban applications.

*Ini adalah artikel akses terbuka di bawah [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.*



### ABSTRAK

Meningkatnya akumulasi **sampah anorganik** yang tidak terkelola dengan baik telah menjadi masalah lingkungan yang serius dan mengancam keberlanjutan ekosistem serta kesehatan masyarakat. Namun, pemerataan teknologi canggih belum sampai ke masyarakat sekitar. Maka diperlukan teknologi Orange Box yang menjadi inovasi berbasis *Internet of Things* (IoT) serta dirancang untuk melakukan pemilahan dan daur ulang sampah anorganik secara otomatis melalui sistem

deteksi cerdas dan pengolahan berbasis data. **Adapun pemanfaatan** yang ingin dicapai bagi masyarakat dapat terwujud dengan efektivitas dan dampak sosial dari pengelolaan sampah melalui Orange Box. Sehingga diperlukan pengetahuan teknologi melalui pelatihan dalam meningkatkan efisiensi pemilahan sampah berbab. Metode yang digunakan adalah *mixed methods* melalui survei, observasi langsung, dan wawancara untuk menilai perilaku, tingkat kesadaran, serta kepuasan masyarakat. Hasil pengabdian kepada masyarakat melalui sosialisasi berkelanjutan menunjukkan adanya **peningkatan signifikan** dalam jumlah dan ketepatan pemilahan sampah anorganik, serta meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap pengelolaan sampah berkelanjutan. Selain itu, masyarakat menilai sistem ini mudah digunakan dan mampu memotivasi mereka untuk memilah sampah secara konsisten. Temuan ini menegaskan bahwa **teknologi IoT** berperan penting dalam mewujudkan pengelolaan sampah cerdas dan tanggung jawab lingkungan di tingkat komunitas yang sejalan dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG 12 & SDG 13). Penelitian lanjutan disarankan untuk memperluas penerapan, mengintegrasikan insentif ekonomi, dan meningkatkan sistem pemantauan real time untuk skala perkotaan yang lebih luas.

*Ini adalah artikel akses terbuka di bawah [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.*



DOI: <https://doi.org/10.34306/adimas.v6i1.1346>

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah CC-BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

©Penulis memegang semua hak cipta

## 1. PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah telah menjadi isu global yang semakin mendesak, terutama di tengah laju urbanisasi yang terus meningkat dan pertumbuhan populasi yang pesat yang menambah tekanan pada lingkungan hidup [1]. Di Indonesia sendiri, permasalahan sampah khususnya limbah anorganik masih menjadi tantangan besar yang memerlukan perhatian serius serta kolaborasi lintas sektor, mulai dari pemerintah, akademisi, industri, hingga masyarakat umum. Berbagai laporan menunjukkan bahwa timbulan sampah plastik terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun, sejalan dengan tingginya konsumsi produk sekali pakai, dan sebagian besar limbah tersebut berakhir di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) tanpa proses daur ulang yang memadai [2]. Kondisi ini tidak hanya mencemari lingkungan dan memperburuk kualitas ekosistem, tetapi juga menyebabkan hilangnya potensi nilai ekonomi yang seharusnya dapat diciptakan melalui pengelolaan limbah anorganik yang lebih efektif dan terstruktur. Di sisi lain, rendahnya tingkat kesadaran masyarakat terhadap pentingnya pemilahan sampah, minimnya infrastruktur pendukung seperti fasilitas daur ulang berbasis teknologi, serta belum optimalnya penerapan pemilahan sampah dari sumber menjadi faktor utama yang memperparah situasi [3]. Permasalahan ini cenderung berkelanjutan apabila tidak diimbangi dengan intervensi yang tepat, baik dalam bentuk teknologi maupun edukasi berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan sebuah solusi inovatif, adaptif, dan berkelanjutan yang mampu menjawab tantangan pengelolaan sampah dari hulu hingga hilir, sekaligus memberdayakan masyarakat agar terlibat secara aktif dalam setiap tahapan pengelolaan. Solusi ini idealnya tidak hanya meningkatkan efisiensi pemilahan serta mengurangi volume sampah yang berakhir di TPA, tetapi juga membuka peluang bagi masyarakat untuk memperoleh nilai tambah ekonomi melalui pemanfaatan kembali limbah anorganik [4]. Lebih jauh lagi, pengembangan solusi pengelolaan sampah modern perlu diintegrasikan dengan kerangka kerja global seperti Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), terutama SDG 12 mengenai Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab serta SDG 13 yang berfokus pada Penanganan Perubahan Iklim. Integrasi ini penting untuk memastikan bahwa setiap upaya pengelolaan sampah tidak hanya menyelesaikan permasalahan lingkungan jangka pendek, tetapi juga memberikan kontribusi nyata terhadap keberlanjutan jangka panjang dan ketahanan iklim [5]. Dengan demikian, diperlukan pendekatan yang komprehensif, sistematis, dan berbasis teknologi agar pengelolaan sampah di Indonesia dapat bergerak menuju arah yang lebih modern, inklusif, dan berorientasi masa depan.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sekaligus mengimplementasikan sebuah solusi teknologi yang bersifat inovatif, adaptif, dan berkelanjutan dalam pengelolaan sampah anorganik. Fokus utama diarahkan pada upaya meningkatkan partisipasi aktif masyarakat serta mendorong terciptanya nilai ekonomi baru dari limbah yang sebelumnya tidak dimanfaatkan. Pendekatan ini tidak hanya menghadirkan teknologi sebagai alat bantu, tetapi juga menempatkan masyarakat sebagai aktor utama yang terlibat dalam proses perubahan perilaku menuju pengelolaan sampah yang lebih bertanggung jawab. Selain itu, penelitian ini secara jelas memberikan kontribusi nyata terhadap pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs)

khususnya poin 12 dan 13, yang menekankan pentingnya pola konsumsi dan produksi yang berkelanjutan serta aksi mitigasi terhadap perubahan iklim [6]. Melalui inovasi Internet of Things (IoT) pada sistem Orange Box, solusi ini diharapkan mampu mempercepat pengurangan limbah, meningkatkan efektivitas proses daur ulang, dan membentuk perilaku masyarakat yang lebih sadar lingkungan.



Gambar 1. Sampah sebelum di olah

Dengan dukungan visual pada Gambar 1, penelitian ini memperlihatkan bagaimana penerapan teknologi tersebut mampu memperkuat implementasi program pengabdian kepada masyarakat dalam rangka mewujudkan keberlanjutan lingkungan secara nyata dan terukur. Kondisi aktual di Kelompok Masyarakat RW 01 Kelurahan Poris Plawad, Kecamatan Cipondoh, Kota Tangerang, menunjukkan adanya potensi besar dalam menghasilkan dan mengelola sampah anorganik, namun potensi tersebut belum termanfaatkan secara optimal [7]. Sebagian besar sampah rumah tangga masih bercampur sejak di sumber, sehingga proses pemilahan tidak dapat berjalan dengan baik. Kurangnya kesadaran masyarakat mengenai pentingnya pemilahan sampah turut memperburuk situasi ini. Selain itu, sarana dan prasarana yang tersedia baru sebatas tempat sampah konvensional yang tidak mampu mendukung proses pemilahan yang lebih sistematis. Belum adanya fasilitas berbasis teknologi yang dapat memberikan edukasi, insentif, maupun pemantauan membuat masyarakat masih bergantung pada pola pengelolaan tradisional. Kondisi tersebut semakin menegaskan urgensi penelitian ini sebagai upaya memberikan solusi terintegrasi yang dapat membantu masyarakat, pemerintah, dan pihak terkait dalam menciptakan sistem pengelolaan sampah yang lebih efektif, modern, serta berorientasi pada keberlanjutan jangka panjang. Rendahnya pengetahuan dan kesadaran masyarakat mengenai pentingnya pemilahan serta dampaknya terhadap lingkungan menyebabkan masyarakat cenderung membuang sampah tanpa memperhatikan jenis dan kebermanfaatannya [8]. Masalah ini mengakibatkan tingginya volume sampah yang berakhir di TPA, berkurangnya peluang daur ulang, serta hilangnya potensi nilai ekonomi yang sebenarnya dapat diperoleh dari pengelolaan limbah anorganik secara lebih baik. Namun, di sisi lain, masyarakat juga memiliki peluang untuk mengembangkan pengelolaan limbah menjadi aktivitas produktif bernilai ekonomi [9]. Sebagian besar anggota masyarakat berpendidikan menengah dan memiliki aktivitas utama sebagai ibu rumah tangga, sehingga pemanfaatan limbah sebagai sumber tambahan ekonomi berpotensi menjadi solusi yang signifikan. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pengembangan solusi yang tidak hanya mengatasi permasalahan sampah, tetapi juga memberikan nilai tambah ekonomi bagi masyarakat, serta meningkatkan kesadaran dan partisipasi aktif dalam pengelolaan sampah.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan inovasi teknologi Orange Box sebagai sistem pengelolaan sampah berbasis IoT yang dirancang untuk memilah sampah anorganik secara otomatis [10]. Orange Box diharapkan dapat menjadi solusi konkret untuk mengatasi masalah sampah di Kelompok Masyarakat RW 01 Kelurahan Poris Plawad, Kecamatan Cipondoh, Kota Tangerang, serta membantu meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya pengelolaan sampah yang bertanggung jawab. Sistem ini akan dilengkapi dengan sensor yang dapat mendeteksi dan memisahkan sampah anorganik berdasarkan jenis, ukuran, dan bentuknya. Proses pemilahan akan dilakukan secara otomatis, sehingga mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manusia dan meminimalkan kesalahan dalam pemilahan [11]. Data hasil pemilahan akan dikirim dan disimpan melalui *cloud storage*, sehingga memungkinkan pemantauan dan analisis data secara *real-time*. Selain itu, Orange Box juga akan dilengkapi dengan sistem insentif bagi masyarakat

yang berpartisipasi aktif dalam program pengelolaan sampah, sehingga mendorong partisipasi yang lebih besar dan berkelanjutan. Dengan demikian, Orange Box diharapkan dapat menjadi solusi yang efektif dan efisien dalam mengatasi permasalahan sampah anorganik, serta memberikan nilai tambah ekonomi dan sosial bagi masyarakat [12].

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam upaya pengelolaan sampah yang berkelanjutan di Indonesia. Selain memberikan solusi teknologi yang inovatif, penelitian ini juga berfokus pada pelatihan dan sosialisasi terhadap pemberdayaan masyarakat dan peningkatan kesadaran tentang pentingnya pengelolaan sampah yang bertanggung jawab [13]. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi contoh yang dapat diterapkan di kelompok masyarakat lainnya, serta memberikan dampak positif yang luas bagi keberlanjutan lingkungan dan ekonomi di Kota Tangerang dan wilayah lainnya. Tidak hanya itu, juga memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang pengelolaan sampah [14]. Lebih lanjut, keberhasilan implementasi Orange Box diharapkan dapat menjadi model bagi pengembangan sistem pengelolaan sampah yang lebih cerdas dan berkelanjutan di masa depan, serta mendorong terciptanya lingkungan yang lebih bersih, sehat, dan nyaman bagi seluruh masyarakat.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pengelolaan sampah telah menjadi isu strategis yang memerlukan pendekatan komprehensif agar tantangan lingkungan dan sosial dapat ditangani secara menyeluruh. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa solusi pengelolaan sampah tidak dapat berdiri sendiri, melainkan harus mengintegrasikan aspek teknologi, kelembagaan, dan pemberdayaan masyarakat. Dengan memahami dinamika tersebut, pembahasan berikut menguraikan berbagai perspektif penting mengenai pengelolaan sampah terpadu, pemanfaatan teknologi IoT, penerapan ekonomi sirkular, serta peran masyarakat dalam mendukung keberlanjutan sistem pengelolaan sampah.

### 2.1. Pengelolaan Sampah Terpadu dan Berkelanjutan

Pengelolaan sampah yang efektif merupakan kunci untuk mencapai keberlanjutan lingkungan dan kesehatan masyarakat. Pendekatan terpadu yang melibatkan berbagai aspek, mulai dari pemilahan di sumber hingga pengolahan akhir, menjadi semakin penting untuk mengatasi kompleksitas permasalahan sampah [15]. Meneliti kapasitas organisasi dalam mengimplementasikan program pengelolaan sampah "Kang Pisman" di Kota Bandung, menyoroti pentingnya kapasitas organisasi dalam keberhasilan program pengelolaan sampah. Menekankan pentingnya pemberdayaan masyarakat melalui pembelajaran sosial untuk meningkatkan keterlibatan dalam pengelolaan sampah di Mandiri Kasturi [16]. Penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan partisipatif dan berbasis masyarakat memiliki peran penting dalam keberhasilan program pengelolaan sampah. Meneliti revitalisasi ekosistem melalui program penghijauan dan pengelolaan sampah sebagai strategi mitigasi perubahan iklim.

### 2.2. Peran Teknologi IoT dalam Pengelolaan Sampah

Integrasi teknologi, khususnya IoT, menawarkan potensi besar dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengelolaan sampah. Mengembangkan sistem kualitas udara dalam ruangan berbasis IoT menggunakan ESP32, menunjukkan potensi IoT dalam memantau dan mengelola lingkungan [17]. Mengusulkan keamanan menggunakan OTP berbasis blockchain dengan konsep publish/subscribe IoT, menunjukkan potensi blockchain dalam meningkatkan keamanan dan transparansi pengelolaan sampah. Menggunakan jaringan saraf *convolutional* dan *machine learning* untuk prediksi kualitas udara berbasis gambar, menunjukkan potensi *machine learning* dalam pengelolaan lingkungan. Meneliti integrasi teknologi dalam pelestarian warisan budaya, meningkatkan keterlibatan dan efektivitas masyarakat, menunjukkan potensi teknologi dalam meningkatkan kesadaran dan partisipasi masyarakat. Membangun sistem IoT efisien dengan integrasi komputasi edge, menunjukkan potensi komputasi edge dalam meningkatkan efisiensi sistem IoT [18]. Selain penelitian tersebut, literatur terbaru (2024–2025) memperkuat bukti bahwa pendekatan IoT terintegrasi sering dikombinasikan dengan analitik berbasis cloud dan kecerdasan buatan dapat meningkatkan efisiensi pengumpulan, akurasi pemilahan, serta pengurangan kelebihan muatan tempat sampah di wilayah perkotaan. Beberapa studi terkini melaporkan keberhasilan penerapan smart bin dan sistem pemantauan real time yang mengoptimalkan rute pengangkutan, menurunkan biaya operasional, serta meningkatkan tingkat daur ulang melalui klasifikasi otomatis [19]. Penambahan referensi ini memperkuat landasan teoritis implementasi Orange Box sebagai solusi IoT yang inovatif dan berpotensi tinggi dalam mendukung pengelolaan sampah berkelanjutan.

### 2.3. Daur Ulang dan Ekonomi Sirkular

Daur ulang merupakan komponen penting dalam pengelolaan sampah yang berkelanjutan. Pendekatan ekonomi sirkular, yang bertujuan untuk meminimalkan limbah dan memaksimalkan penggunaan sumber daya, semakin mendapatkan perhatian sebagai solusi untuk permasalahan sampah [20]. Meneliti AI dan mikrobiologi terapan dalam daur ulang sampah berkelanjutan dan ekonomi sirkular, menyoroti potensi AI dalam meningkatkan proses daur ulang. Meninjau regulasi *e-waste* di Uni Eropa dan tren global dalam legislasi dan teknologi inovasi untuk ekonomi sirkular, menyoroti pentingnya regulasi dan inovasi teknologi dalam mencapai ekonomi sirkular [21]. Meneliti dukungan gerakan pilah-pilih sampah dengan sistem digitalisasi daur ulang, menunjukkan potensi digitalisasi dalam meningkatkan efisiensi daur ulang.

### 2.4. Pemberdayaan Masyarakat dalam Pengelolaan Sampah

Pemberdayaan masyarakat merupakan faktor kunci dalam keberhasilan program pengelolaan sampah. Keterlibatan aktif masyarakat dalam pemilahan, pengumpulan, dan pengolahan sampah dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas sistem pengelolaan sampah [22]. Menilai pengaruh faktor sosiodemografi terhadap adopsi teknologi biofloc untuk pengelolaan air berkelanjutan dalam budidaya perairan, menunjukkan pentingnya faktor sosiodemografi dalam adopsi teknologi. Merancang kerangka kerja TAM dengan variabel emosional dalam penerimaan IoT berbasis kesehatan di Indonesia, menunjukkan pentingnya faktor emosional dalam penerimaan teknologi. Meningkatkan manajemen sumber daya manusia dengan teknologi blockchain, menunjukkan potensi blockchain dalam meningkatkan manajemen [23]. Meneliti solusi big data berbasis AI untuk perawatan kesehatan personal, menganalisis data pasien untuk meningkatkan hasil perawatan, menunjukkan potensi AI dalam meningkatkan perawatan kesehatan.

## 3. METODE PENGABDIAN

Untuk memastikan bahwa implementasi program Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) Orange Box berjalan secara terstruktur, terukur, dan sesuai dengan tujuan keberlanjutan lingkungan, diperlukan metode pelaksanaan yang dirancang secara sistematis. Metode pengabdian ini disusun untuk memberikan dasar ilmiah yang kuat dalam memahami konteks lapangan, menguji efektivitas teknologi, serta mengevaluasi keterlibatan masyarakat dalam proses pengelolaan sampah berbasis IoT. Dengan pendekatan yang komprehensif, rangkaian metode ini diharapkan mampu menghasilkan temuan yang akurat sekaligus memberikan kontribusi nyata bagi masyarakat sasaran.

### 3.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan campuran (*mixed methods*) yang mengkombinasikan metode kuantitatif dan kualitatif [24]. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk mengukur efektivitas Orange Box dalam meningkatkan efisiensi pemilahan sampah dan partisipasi masyarakat, sedangkan pendekatan kualitatif digunakan untuk memahami persepsi dan pengalaman masyarakat terkait penggunaan Orange Box [25]. Desain penelitian ini adalah studi kasus (*case study*) dengan fokus pada Kelompok Masyarakat RW 01 Kelurahan Poris Plawad, Kecamatan Cipondoh, Kota Tangerang [26].

### 3.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kelompok Masyarakat RW 01 Kelurahan Poris Plawad, Kecamatan Cipondoh, Kota Tangerang. Waktu penelitian direncanakan selama 5 bulan, mulai dari bulan Juni 2025 hingga November 2025.

### 3.3. Populasi

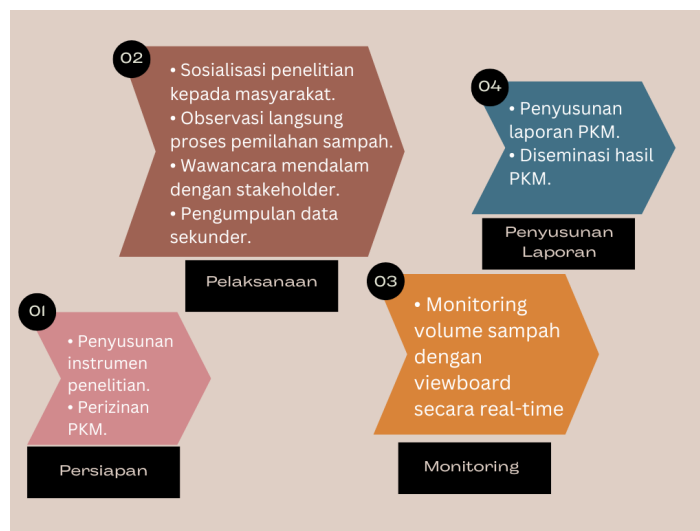
Populasi dalam penelitian ini mencakup seluruh warga Kelompok Masyarakat RW 01 Kelurahan Poris Plawad, Kecamatan Cipondoh, Kota Tangerang [27]. Penentuan sampel dilakukan dengan menggunakan teknik *purposive sampling*, yaitu pemilihan sampel berdasarkan kriteria tertentu yang dianggap relevan dengan tujuan penelitian. Adapun kriteria sampel meliputi Ibu Rumah Tangga (IRT) yang aktif dalam kegiatan rumah tangga, bersedia berpartisipasi dalam kegiatan penelitian, serta petugas bank sampah yang terlibat dalam proses pengelolaan dan pemilahan sampah di lingkungan tersebut [28]. Berdasarkan pertimbangan kebutuhan data dan keterlibatan masyarakat, jumlah sampel yang direncanakan dalam penelitian ini adalah sebanyak 20 hingga 30 Ibu Rumah Tangga (IRT).

### 3.4. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi survei, observasi, wawancara, dan dokumentasi. Metode survei dilakukan dengan memperoleh data mengenai praktik pengelolaan sampah anorganik/organik, tingkat partisipasi masyarakat dalam pelatihan, serta tingkat kepuasan terhadap penggunaan Orange Box [29]. Selanjutnya, observasi dilakukan secara langsung di lapangan untuk mengamati proses pemilahan sampah menggunakan Orange Box serta menilai tingkat keterlibatan masyarakat dalam kegiatan pengelolaan sampah di lingkungan mereka. Selain itu, wawancara dan pelatihan mendalam dilakukan dengan beberapa informan kunci, seperti tokoh pengurus bank sampah, pengurus RW, dan perwakilan Ibu Rumah Tangga (IRT), guna menggali informasi kualitatif mengenai persepsi, pengalaman, serta harapan terhadap penerapan teknologi Orange Box [30, 31]. Metode ini memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai penerimaan dan dampak sosial dari PKM tersebut. Terakhir, dokumentasi digunakan untuk melengkapi data penelitian dengan mengumpulkan data sekunder dari berbagai sumber, seperti catatan kegiatan RW, laporan hasil observasi, serta dokumen pendukung lain yang relevan. Data ini berfungsi untuk memperkuat validitas hasil penelitian dan memberikan gambaran yang lebih menyeluruh mengenai pelaksanaan PKM Orange Box. Data yang terkumpul kemudian diklasifikasikan berdasarkan jenis dan tingkat relevansinya terhadap tujuan penelitian. Data kuantitatif dari hasil survei diolah menggunakan analisis deskriptif untuk menampilkan kecenderungan umum mengenai partisipasi dan tingkat kepuasan masyarakat. Sementara itu, data kualitatif dari hasil wawancara dan observasi dianalisis secara tematik untuk mengidentifikasi pola persepsi, tantangan, serta dampak sosial dari penerapan teknologi Orange Box [32].

### 3.5. Alur Pengabdian Kepada Masyarakat

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) Orange Box dilaksanakan melalui empat tahapan utama, yaitu persiapan, pelaksanaan, monitoring, dan penyusunan laporan. Setiap tahapan memiliki fungsi dan peran strategis dalam memastikan kegiatan berjalan terarah, efektif, serta memberikan dampak nyata bagi masyarakat. Rangkaian alur ini tidak hanya berfokus pada penerapan teknologi, tetapi juga menekankan aspek pendidikan, penyuluhan, dan pelatihan sebagai sarana untuk meningkatkan pemahaman masyarakat terhadap pengelolaan sampah berbasis IoT. Dengan perencanaan yang sistematis sejak tahap awal hingga pelaporan akhir, kegiatan PKM ini diharapkan dapat menghasilkan model pemberdayaan masyarakat yang berkelanjutan, memperkuat kolaborasi antar pihak, serta memperluas manfaat sosial dan lingkungan dari implementasi sistem Orange Box.



Gambar 2. Alur Pengabdian Kepada Masyarakat

Gambar 2 menampilkan Alur Pengabdian Kepada Masyarakat Orange Box yang terdiri atas empat tahapan utama, yaitu persiapan, pelaksanaan, monitoring, dan penyusunan laporan. Pada tahap persiapan, tim pengabdian melakukan penyusunan instrumen penelitian yang akan digunakan dalam kegiatan, seperti kuesioner, panduan wawancara, serta dokumen observasi lapangan. Selain itu, dilakukan pula proses perizinan pengabdian kepada masyarakat (PKM) kepada pihak-pihak terkait seperti Ketua RW, Pengelola Bak Sam-

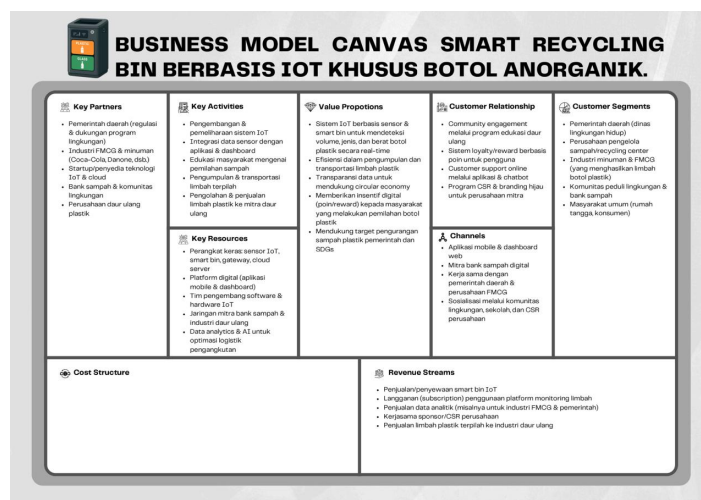
pah, Pengurus Posyandu maupun lembaga mitra yang terlibat. Selanjutnya, tahap pelaksanaan diawali dengan kegiatan penyuluhan dan pelatihan kepada masyarakat mengenai tujuan dan manfaat Orange Box sebagai inovasi dalam pengelolaan sampah berbasis teknologi. Pada tahap ini, dilakukan pula observasi langsung terhadap proses pemilahan sampah di lapangan, wawancara mendalam dengan para stakeholder seperti pengelola bank sampah dan masyarakat pengguna, serta pengumpulan data sekunder untuk memperkuat hasil kegiatan.

Tahap berikutnya adalah monitoring, yang berfokus pada proses pemantauan volume sampah secara real-time melalui viewboard yang terhubung dengan sistem IoT pada Orange Box. Aktivitas ini bertujuan untuk menilai efektivitas program dan tingkat partisipasi masyarakat dalam memilah sampah plastik. Terakhir, pada tahap penyusunan laporan, tim menyusun laporan hasil kegiatan PKM yang berisi analisis temuan lapangan, hasil evaluasi, dan rekomendasi pengembangan program ke depan. Tahap ini juga mencakup kegiatan diseminasi hasil pengabdian melalui publikasi ilmiah, seminar, atau sosialisasi kepada masyarakat luas agar manfaat program dapat berkelanjutan serta mendukung tercapainya tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs) terutama dalam aspek pengelolaan lingkungan dan pemberdayaan masyarakat.

### 3.6. Metode BMC

Pentingnya hasil kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat (PKM) diwujudkan melalui penerapan metode *Business Model Canvas (BMC)* sebagai kerangka strategis dalam merancang dan mengimplementasikan program secara komprehensif. Metode ini menekankan pentingnya kolaborasi antara pemerintah daerah, komunitas lingkungan, lembaga pendidikan, dan bank sampah sebagai pemangku kepentingan utama dalam membangun ekosistem pengelolaan sampah yang berkelanjutan. Melalui pendekatan BMC, kegiatan PKM tidak hanya berfokus pada penerapan solusi teknologi, tetapi juga mengintegrasikan aspek sosial, ekonomi, dan edukatif guna memperkuat peran aktif masyarakat.

Penerapan teknologi IoT pada sistem Orange Box memungkinkan masyarakat untuk merasakan manfaat langsung melalui insentif digital berbasis poin, yang berfungsi sebagai motivasi dalam meningkatkan partisipasi dan kedisiplinan dalam memilah sampah. Selain itu, kegiatan ini juga memperkuat pemberdayaan masyarakat melalui pelatihan, penyuluhan, dan pembiasaan perilaku ramah lingkungan, sehingga tercipta kesadaran kolektif terhadap pentingnya menjaga keberlanjutan lingkungan. Pendekatan BMC ini sekaligus menjadi sarana untuk membangun sinergi lintas sektor, menciptakan model pengelolaan sampah yang inovatif, efisien, dan berdaya guna, serta memperluas dampak sosial dan ekonomi dari implementasi sistem Orange Box di tingkat lokal maupun regional.



Gambar 3. BMC Orange Box

Dengan metode BMC ini, pada Gambar 3 program pengabdian diharapkan menjadi gerakan berkelanjutan yang menghu-bungkan antara masyarakat, dunia industri, dan pemerintah untuk mengurangi volume sampah plastik serta menciptakan nilai ekonomi baru dari pengelolaan limbah. Inisiatif ini sejalan dengan SDGs 12 (Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab) & 13 (Penanganan Perubahan Iklim).

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan kegiatan PKM Orange Box merupakan tahap penting dalam upaya meningkatkan efektivitas pengelolaan sampah berbasis teknologi di lingkungan RW 01 Kelurahan Poris Plawad. Kegiatan ini dirancang untuk memastikan bahwa masyarakat tidak hanya memahami konsep teknologi yang diperkenalkan, tetapi juga mampu menerapkannya secara langsung dalam aktivitas pemilahan sampah sehari-hari. Melalui pendekatan partisipatif dan edukatif, pelaksanaan PKM menjadi sarana untuk mengukur sejauh mana teknologi Orange Box dapat diterima, dimanfaatkan, dan memberikan dampak terhadap perilaku pengelolaan sampah masyarakat.

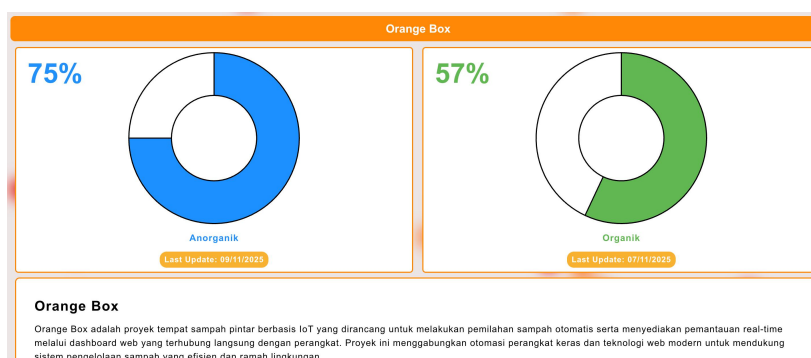
##### 4.1. Pelaksanaan Pengabdian kepada Masyarakat



Gambar 4. Pelaksanaan PKM

Penelitian ini menjelaskan Gambar 4 yang menampilkan pelaksanaan kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) Orange Box dengan melibatkan 30 Ibu Rumah Tangga (IRT) dari RW 01 Kelurahan Poris Plawad, Kecamatan Cipondoh, Kota Tangerang. Sebagian besar responden berpendidikan menengah dan berprofesi sebagai IRT yang berperan aktif dalam pengelolaan sampah rumah tangga. Kegiatan dilaksanakan melalui penyuluhan dan pelatihan yang mencakup demonstrasi penggunaan Orange Box serta praktik pemilahan sampah anorganik secara langsung. Pembahasan pada bagian ini diawali dengan deskripsi karakteristik responden, kemudian hasil efisiensi pemilahan, peningkatan partisipasi masyarakat, dan persepsi terhadap penggunaan alat, serta diakhiri dengan analisis dampak sosial dan lingkungan untuk memperjelas hubungan antara temuan empiris dan interpretasinya.

##### 4.2. Monitoring sistem IoT



Gambar 5. ViewBoard Orange Box

Hasil penelitian Gambar 5 menunjukkan bahwa penggunaan Orange Box secara signifikan meningkatkan efisiensi pemilahan sampah di tingkat rumah tangga. Sebelum penggunaan Orange Box, sebagian besar responden mencampur sampah organik dan anorganik. Setelah penggunaan Orange Box, responden mampu

memilah sampah anorganik berdasarkan jenisnya (plastik, kaca, logam) dengan lebih baik. Peningkatan efisiensi pemilahan sampah ini didukung oleh data observasi yang menunjukkan penurunan volume sampah anorganik yang berakhir di TPA. Untuk memperkuat analisis, penelitian ini menambahkan data numerik yang menggambarkan peningkatan tingkat efisiensi pemilahan sampah sebelum dan sesudah penggunaan Orange Box. Berdasarkan hasil observasi, tingkat ketepatan pemilahan meningkat dari rata-rata 58% sebelum penerapan menjadi 91% setelah alat digunakan, atau mengalami peningkatan sebesar 33%. Volume sampah anorganik yang tidak terpilah juga menurun dari 42% menjadi hanya 9%. Data ini menunjukkan bahwa penerapan sistem berbasis IoT dapat meningkatkan akurasi dan konsistensi perilaku pemilahan masyarakat.

### 4.3. Dampak Pengabdian Kepada Masyarakat



Gambar 6. Demonstrasi Penggunaan Orange Box

Pada Gambar 6 ini adalah cara penggunaan Orange Box, juga berdampak positif terhadap peningkatan partisipasi masyarakat dalam kegiatan pengelolaan sampah. Respon menunjukkan minat yang lebih besar dalam memilah sampah dan mengikuti kegiatan penyuluhan dan pelatihan yang diselenggarakan. Hal ini menunjukkan bahwa Orange Box tidak hanya memberikan solusi teknologi, tetapi juga meningkatkan kesadaran dan motivasi masyarakat untuk berpartisipasi aktif dalam pengelolaan sampah.

## 5. IMPLIKASI MANAJERIAL

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) melalui program “Orange Box” memberikan sejumlah implikasi manajerial yang signifikan dalam konteks pengelolaan lingkungan berbasis teknologi dan pemberdayaan masyarakat. Pertama, dari sisi manajemen lingkungan, penerapan sistem pemilahan sampah otomatis berbasis IoT menunjukkan bahwa integrasi teknologi dapat meningkatkan efisiensi operasional dalam proses pengelolaan limbah rumah tangga. Sensor cerdas yang mendeteksi jenis dan volume sampah secara real-time memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat dalam pengangkutan serta daur ulang, sekaligus mendukung transparansi data dan efektivitas sistem smart waste management.

Kedua, dari perspektif manajerial komunitas, kegiatan ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis teknologi perlu diimbangi dengan strategi pemberdayaan masyarakat yang berkelanjutan. Pelatihan penggunaan alat, teknik pemilahan otomatis, serta pengelolaan hasil daur ulang terbukti mampu meningkatkan kesadaran, keterampilan, dan partisipasi warga dalam menjaga kebersihan lingkungan. Hal ini memperkuat kapasitas sosial masyarakat untuk berperan aktif sebagai mitra dalam sistem ekonomi sirkular, bukan sekadar sebagai pengguna teknologi.

Ketiga, dari sisi ekonomi dan kewirausahaan sosial, pengelolaan hasil pemilahan melalui Orange Box mendorong munculnya peluang ekonomi baru berbasis daur ulang. Produk-produk seperti celengan, vas bunga, pot tanaman, dan wadah serbaguna yang dihasilkan dari sampah anorganik tidak hanya bernilai guna tetapi juga bernilai jual, sehingga dapat menjadi sumber pendapatan alternatif bagi masyarakat. Implikasi ini menegaskan pentingnya pengelolaan sumber daya lokal secara produktif melalui model bisnis ramah lingkungan.

Terakhir, dari aspek kebijakan dan tata kelola, program ini memperlihatkan bahwa keberhasilan implementasi inovasi lingkungan memerlukan sinergi antara institusi pendidikan, pemerintah daerah, komunitas,

dan sektor industri. Universitas Raharja, melalui Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DPPM), berperan sebagai fasilitator dan inkubator inovasi sosial dengan melakukan pendampingan berkelanjutan, penguatan kemitraan lintas sektor, serta replikasi program di wilayah lain. Implikasi ini menegaskan bahwa keberlanjutan program PKM tidak hanya bergantung pada teknologi, tetapi juga pada strategi manajerial kolaboratif yang mampu mengintegrasikan inovasi, kebijakan, dan partisipasi masyarakat menuju pembangunan berkelanjutan.

## 6. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa implementasi Orange Box, sebuah inovasi teknologi berbasis IoT, memberikan dampak positif terhadap pengelolaan sampah anorganik di Kelompok Masyarakat RW 01 Kelurahan Poris Plawad, Kecamatan Cipondoh, Kota Tangerang. Penggunaan Orange Box secara signifikan meningkatkan efisiensi pemilahan sampah di tingkat rumah tangga, yang ditunjukkan dengan peningkatan volume sampah anorganik yang dipilah berdasarkan jenisnya. Selain itu, penelitian ini juga menunjukkan adanya peningkatan partisipasi masyarakat dalam kegiatan pengelolaan sampah, yang didorong oleh kemudahan penggunaan Orange Box dan peningkatan kesadaran tentang pentingnya pengelolaan sampah yang bertanggung jawab. Dengan demikian, Orange Box terbukti menjadi solusi yang efektif dan efisien dalam mengatasi permasalahan sampah anorganik di tingkat komunitas. Kegiatan pelatihan dan penyuluhan yang dilakukan secara berkesinambungan menjadi faktor penting dalam meningkatkan partisipasi masyarakat dan efektivitas penggunaan teknologi Orange Box.

Penelitian ini bertujuan untuk menjawab pertanyaan tentang efektivitas Orange Box dalam meningkatkan efisiensi pemilahan sampah dan partisipasi masyarakat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Orange Box efektif dalam meningkatkan kedua aspek tersebut. Namun, penelitian ini juga memiliki beberapa keterbatasan. Jumlah sampel yang relatif kecil dan fokus pada satu kelompok masyarakat membatasi generalisasi hasil penelitian. Selain itu, penelitian ini belum mempertimbangkan faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi keberhasilan implementasi Orange Box, seperti dukungan pemerintah dan kerjasama dengan sektor swasta. Oleh karena itu, hasil penelitian ini perlu diinterpretasikan dengan hati-hati dan tidak dapat digeneralisasikan ke seluruh populasi.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan penelitian dengan sampel yang lebih besar dan di lokasi yang berbeda untuk menguji validitas dan reliabilitas hasil penelitian ini. Penelitian selanjutnya juga perlu mempertimbangkan faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi keberhasilan implementasi Orange Box, seperti dukungan pemerintah dan kerjasama dengan sektor swasta. Selain itu, penelitian selanjutnya dapat mengembangkan model implementasi Orange Box yang lebih komprehensif dan berkelanjutan, serta mengintegrasikan aspek ekonomi sirkular dalam pengelolaan sampah. Dengan demikian, diharapkan dapat dihasilkan solusi pengelolaan sampah yang lebih efektif, efisien, dan berkelanjutan. Kesimpulannya, penerapan inovasi Orange Box secara nyata mendukung pencapaian SDG 12 (Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab) dan SDG 13 (Penanganan Perubahan Iklim). Melalui penerapan teknologi IoT yang mampu mengurangi timbulan sampah, mengoptimalkan sistem daur ulang, serta meningkatkan kesadaran lingkungan berbasis masyarakat, penelitian ini tidak hanya memberikan solusi teknologi, tetapi juga memberikan kontribusi nyata terhadap pembangunan berkelanjutan di tingkat lokal maupun global.

## 7. DEKLARASI

### 7.1. Tentang Penulis

Ruli Supriati (RS)  <https://orcid.org/0009-0005-0315-5088>


Ageng Setiani Rafika (AS)  <https://orcid.org/0000-0002-9737-7298>

Dwi Andayani (DA)  <https://orcid.org/0009-0007-1095-4093>

Aulia Rahma Dina (AR)  <https://orcid.org/0009-0008-5861-6904>

Muhammad Ghifari Ilham (MG)  <https://orcid.org/0009-0007-9195-2857>

Ersa Aura Natasya (EA)  <https://orcid.org/0009-0001-6257-4865>

Irene Apriani Widjaya (IA)  <https://orcid.org/0009-0000-1723-8144>

## 7.2. Kontribusi Penulis

Konseptualisasi: EA; Metodologi: RS; Perangkat Lunak: DA; Validasi: IA dan AS; Analisis Formal: MG dan AR; Investigasi: MG; Sumber Daya: EA; Kurasi Data: AR; Penulisan Draf Asli Persiapan: IA dan RS; Penulisan Tinjauan dan Penyuntingan: RS dan AS; Visualisasi: DA. Semua penulis, RS, AS, DA, AR, MG, EA, dan IA yang telah membaca dan menyetujui versi naskah yang diterbitkan.

## 7.3. Pernyataan Ketersediaan Data

Data yang disajikan dalam studi ini tersedia atas permintaan dari penulis terkait.

## 7.4. Pendanaan

Penelitian ini didanai oleh Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi sebagai Hibah PKM (Pengabdian Kepada Masyarakat) dengan Nomor SP DIPA-139.04.1.6 93320/2025.

## 7.5. Deklarasi Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan bahwa mereka tidak memiliki konflik kepentingan, baik secara finansial maupun hubungan pribadi, yang dapat memengaruhi pekerjaan yang dilaporkan dalam makalah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Saeed, S. A. Altamimi, N. A. Alkayyal, E. Alshehri, and D. A. Alabbad, "Digital transformation and cybersecurity challenges for businesses resilience: Issues and recommendations," *Sensors*, vol. 23, no. 15, p. 6666, 2023.
- [2] S. Andrewson, T. Herbert, and A. Coker, "Strategic integration of cybersecurity in cloud-based digital transformation: A roadmap for sme resilience and growth," 2025.
- [3] H. Hamdan, D. Sunaryo, and J. Edwards, "Catalyzing sdg 4: A strategic management and edupreneurship initiatives," *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, vol. 7, no. 2, pp. 411–423, 2025.
- [4] M. Lubis, H. Fakhurroja, A. N. Muttaqin, and M. I. Alhari, "Sistem rekayasa internet of things (iot) pada sistem monitoring box storage budidaya maggot untuk mencapai zero waste dalam pengelolaan sampah organik," *ARSY: Jurnal Aplikasi Riset kepada Masyarakat*, vol. 6, no. 2, pp. 421–429, 2025.
- [5] H. Gusdevi, A. Hadhiwibowo, N. Agustina, A. Fatah, and M. Naseer, "Timbangan berbasis iot untuk pemantauan dan pengelolaan sampah organik pada smart waste management di desa manyingsal," *Naratif: Jurnal Nasional Riset, Aplikasi dan Teknik Informatika*, vol. 5, no. 2, pp. 162–170, 2023.
- [6] S. A. Sibagariang, N. Septiani, and A. Rodriguez, "Enhancing educational management through social media and e-commerce-driven branding," *International Journal of Cyber and IT Service Management (IJCITSM)*, vol. 5, no. 2, pp. 235–245, 2025.
- [7] B. Aji, S. U. Khasanah, R. R. Mahestra, and S. A. Kusprihatini, "I-findi: Pengolahan limbah cair sampah organik (leachate) dengan reverse osmosis terintegrasi solar cell system dan iot berbasis filtrasi aerasi bioremediasi," in *Prosiding Seminar Nasional UNARS*, vol. 3, no. 1, 2024, pp. 54–61.
- [8] B. A. Prakosa, M. Rifki, E. Setiawan, A. E. K. Pramuko, S. Suhadi *et al.*, "Using circular economy to manage organic and inorganic waste with internet of things-based monitoring system," *Instrumentation, Measure, Metrologie*, vol. 24, no. 1, p. 53, 2025.
- [9] R. N. Mauliza and Y. R. Sipayung, "Penerapan text mining dalam menganalisis pendapat masyarakat terhadap pemilu 2024 pada media sosial x menggunakan metode naive bayes," *Technomedia Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 1–16, 2024.
- [10] A. Addas, M. N. Khan, and F. Naseer, "Waste management 2.0 leveraging internet of things for an efficient and eco-friendly smart city solution," *Plos one*, vol. 19, no. 7, p. e0307608, 2024.
- [11] A. K. Afkarien, I. G. P. Astawa, and F. Nadziroh, "Development of iot-based smart waste management systems for organic and non-organic waste in smart cities," *The Indonesian Journal of Computer Science*, vol. 14, no. 2, 2025.
- [12] I. N. Chazanah and A. B. D. Nandiyanto, "Literature of waste management (sorting of organic and inorganic waste) through digital media in community," *International Journal of Research and Applied Technology (INJURATECH)*, vol. 2, no. 1, pp. 114–123, 2022.
- [13] J. W. Simatupang and A. A. Ar-Rafif, "Prototype of a smart trash bin for trash composting based on load cell hx711 and ultrasonic sensors," *Journal Serambi Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 8289–8301, 2024.

- [14] A. Bist, N. Zakaria, N. Anwar, G. Jacqueline, and L. MING, "Future of work: How digital tools are transforming human resource management," *APTISI TRANSACTIONS ON MANAGEMENT: iLearning Journal Center*, vol. 8, no. 3, pp. 213–220, 2024.
- [15] P. Diviaco, M. Iurcev, R. J. Carbajales, N. Potleca, A. Viola, M. Burca, and A. Busato, "Monitoring air quality in urban areas using a vehicle sensor network (vsn) crowdsensing paradigm," *Remote Sensing*, vol. 14, no. 21, p. 5576, 2022.
- [16] T. Matos, M. Martins, R. Henriques, and L. Goncalves, "Design of a sensor to estimate suspended sediment transport in situ using the measurements of water velocity, suspended sediment concentration and depth," *Journal of Environmental Management*, vol. 365, p. 121660, 2024.
- [17] F. E. Putra, M. Khasanah, and M. R. Anwar, "Optimizing stock accuracy with ai and blockchain for better inventory management," *ADI Journal on Recent Innovation*, vol. 6, no. 2, pp. 190–200, 2025.
- [18] S. Kakadellis, J. Woods, and Z. M. Harris, "Friend or foe: Stakeholder attitudes towards biodegradable plastic packaging in food waste anaerobic digestion," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 169, p. 105529, 2021.
- [19] C. Deng, Y. Li, and J. Huang, "Building smarter aqueous batteries," *Small Methods*, vol. 8, no. 6, p. 2300832, 2024.
- [20] I. P. Gustiah and H. Newell, "Enhancing human resource management efficiency through scalable blockchain networks with an adaptive ai approach," *Startupreneur Business Digital (SABDA Journal)*, vol. 4, no. 2, pp. 114–123, 2025.
- [21] M. Matabos, T. Barreyre, S. K. Juniper, M. Cannat, D. Kelley, J. M. Alfaro-Lucas, V. Chavagnac, A. Colaço, J. Escartin, E. Escobar *et al.*, "Integrating multidisciplinary observations in vent environments (imove): decadal progress in deep-sea observatories at hydrothermal vents," *Frontiers in Marine Science*, vol. 9, p. 866422, 2022.
- [22] M. R. Arefin, "The commodification of waste in cairo, egypt: Capital, colonial sanitation, and value's mobile frontier," *Antipode*, vol. 57, no. 5, pp. 1639–1662, 2025.
- [23] A. Argani and W. Taraka, "Pemanfaatan teknologi blockchain untuk mengoptimalkan keamanan sertifikat pada perguruan tinggi," *ADI Bisnis Digital Interdisiplin Jurnal*, vol. 1, no. 1, pp. 10–21, 2020.
- [24] B. Adewale S, M. A. Al-Ghouti, and M. H. Abu-Dieyeh, "Sustainable and long-term management of municipal solid waste: A review," 2022.
- [25] T. Mkilima, K. Meiramkulova, A. Kydyrbekova, T. Bazarbayeva, D. Gulnur, Z. Aknur, A. Shegenbayev, D. Nurbolat, G. Oshanova, and K. Gulzhakhan, "Biofilm-enhanced natural zeolite material in purification performance for slaughterhouse wastewater," *Water*, vol. 15, no. 19, p. 3501, 2023.
- [26] A. Sutarman, D. Juliastuti, I. Yati, L. P. Pasha *et al.*, "Enhancing security and privacy in blockchain systems for tax administration," *Blockchain Frontier Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 145–155, 2025.
- [27] M. H. Khanjani, M. Sharifinia, M. Akhavan-Bahabadi, and M. G. C. Emerenciano, "Probiotics and phytobiotics as dietary and water supplements in biofloc aquaculture systems," *Aquaculture Nutrition*, vol. 2024, no. 1, p. 3089887, 2024.
- [28] A. Hayes, "Seeing environmental injustice through moss-colored glasses: Neighborhood monitoring of toxic metal air pollution disparities with *orthotrichum lyellii*," 2023.
- [29] P. A. Sunarya, M. Asri, N. Azizah, C. P. Lim *et al.*, "Evaluation of educational information systems for data and decision management: Evaluasi sistem informasi pendidikan untuk pengelolaan data dan keputusan," *Jurnal MENTARI: Manajemen, Pendidikan dan Teknologi Informasi*, vol. 3, no. 2, pp. 118–126, 2025.
- [30] Y. Zhang, J. P. Ryan, B. W. Hobson, B. Kieft, A. Romano, B. Barone, C. M. Preston, B. Roman, B.-Y. Raanan, D. Pargett *et al.*, "A system of coordinated autonomous robots for lagrangian studies of microbes in the oceanic deep chlorophyll maximum," *Science Robotics*, vol. 6, no. 50, p. eabb9138, 2021.
- [31] C. A. Zimring and S. H. Corey, *Coastal Metropolis: Environmental Histories of Modern New York City*. University of Pittsburgh Press, 2021.
- [32] K. L. H. dan Kehutanan, "Sipsn – sistem informasi pengelolaan sampah nasional," <https://sipsn.kemenvh.go.id/sipsn/>, 2025, diakses tanggal 14 November 2025.