

Analisis Pengembangan Startup SmartWaste AI Berbasis Internet of Things dan Artificial Intelligence Menggunakan Pendekatan Mixed Methods untuk Mendukung Smart City Berkelanjutan

Sri Titi Handayani*, Eddy Soeryanto Soegoto, Tri Utomo Wiganarto

Systems Information, Doktoral of Information Program, Universitas Komputer Indonesia, Bandung, Indonesia
Email: ^{1,*}sri.75725014@mahasiswa.unikom.ac.id, ²eddysoeryantos@email.unikom.ac.id, ³tri.utomo@tuw.ac.id
Email Penulis Korespondensi: sri.75725014@mahasiswa.unikom.ac.id

Abstrak—Peningkatan jumlah penduduk, urbanisasi, dan aktivitas ekonomi menyebabkan volume sampah perkotaan terus meningkat setiap tahun, sementara sistem pengelolaan sampah yang masih konvensional belum mampu mengimbangi kondisi tersebut. Proses pemantauan kapasitas tempat sampah masih dilakukan secara manual sehingga sering mengakibatkan keterlambatan pengangkutan, penumpukan sampah, penggunaan armada yang tidak optimal, serta rendahnya pemanfaatan data untuk mendukung pengambilan keputusan. Selain itu, belum tersedia sistem terintegrasi yang menggabungkan pemantauan real-time, analisis data, dan prediksi volume sampah sebagai dasar pengelolaan yang lebih efektif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi pengelolaan sampah saat ini, mengidentifikasi potensi penerapan *Internet of Things* (IoT) dan *Artificial Intelligence* (AI), serta mengkaji pengembangan startup SmartWaste AI sebagai solusi pengelolaan sampah cerdas untuk mendukung *Smart City* berkelanjutan. Penelitian menggunakan metode mixed methods dengan pendekatan *explanatory-descriptive*. Data dikumpulkan melalui wawancara mendalam, observasi, dan dokumentasi, kemudian dianalisis menggunakan model Miles, Huberman, dan Saldaña serta analisis kelayakan bisnis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pengelolaan sampah menangani sekitar 75 ton sampah per bulan, dengan permasalahan utama berupa tingginya volume sampah, keterbatasan sistem pemantauan, dan rendahnya partisipasi masyarakat dalam pemilahan sampah. Penerapan IoT berpotensi mengurangi keterlambatan pengangkutan hingga 50% dan mencegah sekitar tiga kejadian penumpukan sampah per bulan, sedangkan AI mampu memprediksi volume sampah dengan akurasi lebih dari 80%. Integrasi kedua teknologi melalui startup SmartWaste AI diperkirakan mampu meningkatkan efisiensi operasional sebesar 27,5%, mengurangi penumpukan sampah, mempercepat pelayanan, serta mendukung terwujudnya *Smart City* yang lebih bersih, cerdas, dan berkelanjutan. Dengan demikian, SmartWaste AI berpotensi menjadi inovasi strategis dalam transformasi pengelolaan sampah berbasis teknologi digital di Indonesia.

Kata Kunci: Artificial Intelligence; Internet of Things; Pengelolaan Sampah; Smart City; SmartWaste AI

Abstract—Population growth, urbanization, and economic activities have continuously increased the volume of municipal solid waste each year, while conventional waste management systems have not been able to cope with these growing challenges. Waste bin capacity monitoring is still largely conducted manually, resulting in delays in waste collection, waste accumulation, inefficient fleet utilization, and limited use of data to support decision-making. In addition, there is no integrated system that combines *real-time* monitoring, data analytics, and waste volume prediction to enable more effective waste management. This study aims to analyze the current condition of waste management, identify the potential application of the *Internet of Things* (IoT) and *Artificial Intelligence* (AI), and examine the development of the SmartWaste AI startup as an intelligent waste management solution to support sustainable *Smart City* initiatives. The research employed a *mixed methods* approach using an *explanatory-descriptive* design. Data were collected through in-depth interviews, observations, and documentation, and subsequently analyzed using the Miles, Huberman, and Saldaña interactive analysis model, complemented by a business feasibility analysis. The results indicate that the waste management system handles approximately 75 tons of waste per month, with major challenges including increasing waste volume, limited monitoring systems, and low community participation in waste segregation. The implementation of IoT has the potential to reduce waste collection delays by up to 50% and prevent approximately three waste accumulation incidents per month, while AI is capable of predicting waste volume with an accuracy exceeding 80%. The integration of these technologies through the SmartWaste AI startup is estimated to improve operational efficiency by 27.5%, reduce waste accumulation, accelerate service delivery, and support the realization of a cleaner, smarter, and more sustainable *Smart City*. Therefore, SmartWaste AI has the potential to become a strategic innovation in the digital transformation of waste management systems in Indonesia.

Keywords: Artificial Intelligence; Internet of Things; Smart City; SmartWaste AI; Waste Management

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk yang semakin pesat, urbanisasi yang terus meningkat, serta perkembangan aktivitas ekonomi dan industri telah menyebabkan peningkatan volume sampah di berbagai daerah perkotaan. Kondisi ini menjadi tantangan serius bagi pemerintah dalam mewujudkan kota yang bersih, sehat, dan berkelanjutan. Menurut berbagai laporan lingkungan, produksi sampah perkotaan terus mengalami peningkatan setiap tahunnya, sementara kapasitas pengelolaan sampah masih menghadapi berbagai keterbatasan, baik dari segi infrastruktur, teknologi, maupun sumber daya manusia c, [2]. Akibatnya, banyak kota menghadapi permasalahan penumpukan sampah, pencemaran lingkungan, gangguan kesehatan masyarakat, serta peningkatan emisi gas rumah kaca yang berasal dari tempat pembuangan akhir (TPA) [3].

Permasalahan pengelolaan sampah tidak hanya berkaitan dengan proses pengumpulan dan pembuangan, tetapi juga menyangkut efisiensi sistem pengelolaan secara keseluruhan. Pada banyak daerah, proses pemantauan kapasitas tempat sampah masih dilakukan secara manual sehingga sering terjadi keterlambatan pengangkutan [4]. Kondisi tersebut menyebabkan tempat sampah meluap, menimbulkan bau tidak sedap, serta mengurangi kualitas lingkungan perkotaan. Selain itu, rute pengangkutan sampah yang belum optimal mengakibatkan penggunaan bahan bakar yang berlebihan dan meningkatkan biaya operasional pengelolaan sampah. Permasalahan ini menunjukkan bahwa metode konvensional yang selama ini digunakan belum mampu menjawab kebutuhan pengelolaan sampah yang semakin kompleks di era modern [5].

Di sisi lain, perkembangan teknologi digital telah membuka peluang baru dalam menciptakan solusi inovatif untuk berbagai permasalahan perkotaan, termasuk pengelolaan sampah. Konsep *Smart City* atau kota cerdas menjadi salah satu pendekatan yang banyak diterapkan di berbagai negara untuk meningkatkan kualitas pelayanan publik melalui pemanfaatan teknologi informasi dan komunikasi [6]. Dalam konsep *Smart City*, data dan teknologi digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat, tepat, dan efisien. Salah satu teknologi yang memiliki potensi besar dalam mendukung pengelolaan sampah adalah *Internet of Things* (IoT). Teknologi IoT memungkinkan berbagai perangkat dan sensor terhubung ke jaringan internet sehingga mampu mengumpulkan, mengirimkan, dan memantau data secara real-time [7].

Penerapan IoT dalam pengelolaan sampah dapat dilakukan melalui pemasangan sensor pada tempat sampah untuk mendeteksi tingkat kepenuhan, berat sampah, maupun kondisi lingkungan di sekitarnya [8]. Data yang diperoleh kemudian dapat dikirim secara otomatis ke pusat pengelolaan sehingga petugas dapat mengetahui kondisi tempat sampah secara langsung tanpa harus melakukan pengecekan manual. Dengan demikian, proses pengangkutan dapat dilakukan secara lebih efektif berdasarkan kebutuhan aktual di lapangan [9]. Namun demikian, pengumpulan data saja belum cukup untuk menghasilkan sistem pengelolaan sampah yang benar-benar cerdas. Diperlukan teknologi yang mampu mengolah data tersebut menjadi informasi yang bermanfaat bagi pengambilan keputusan [10].

Artificial Intelligence (AI) hadir sebagai teknologi yang mampu meningkatkan efektivitas sistem pengelolaan sampah melalui kemampuan analisis data, prediksi, dan otomatisasi. AI dapat digunakan untuk memprediksi volume sampah berdasarkan pola historis, mengoptimalkan rute pengangkutan, mengidentifikasi jenis sampah melalui teknologi pengenalan gambar, serta memberikan rekomendasi pengelolaan yang lebih efisien [11]. Integrasi antara IoT dan AI memungkinkan terciptanya sistem pengelolaan sampah yang tidak hanya responsif terhadap kondisi saat ini, tetapi juga mampu melakukan prediksi terhadap kebutuhan di masa mendatang. Dengan demikian, biaya operasional dapat ditekan, kualitas pelayanan meningkat, dan dampak negatif terhadap lingkungan dapat diminimalkan [12].

Meskipun teknologi IoT dan AI memiliki potensi yang besar, implementasinya dalam sektor pengelolaan sampah di Indonesia masih relatif terbatas. Sebagian besar pengelolaan sampah masih berfokus pada pendekatan konvensional yang mengandalkan tenaga manusia dan sistem pencatatan manual [13]. Selain itu, keterlibatan masyarakat dalam proses pemilahan dan pengurangan sampah juga masih belum optimal. Kondisi ini menunjukkan adanya kebutuhan akan solusi inovatif yang mampu mengintegrasikan teknologi modern dengan sistem pengelolaan sampah yang mudah diterapkan, terjangkau, dan berkelanjutan [14].

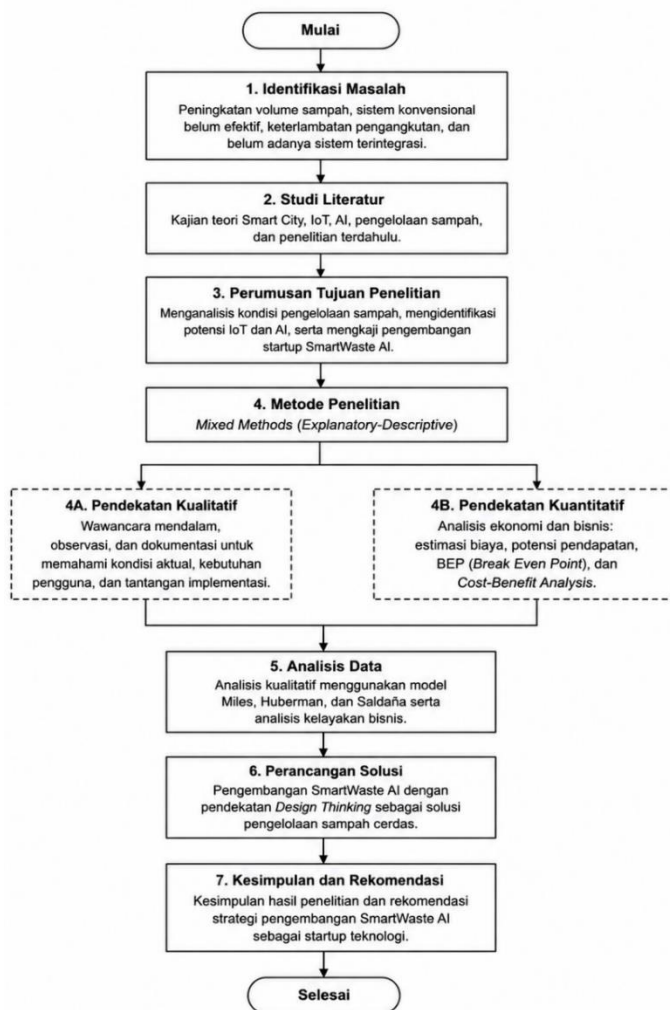
Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji penerapan *Internet of Things* (IoT) maupun *Artificial Intelligence* (AI) dalam pengelolaan sampah. Wardhana *et al.* [1] mengembangkan sistem *smart waste management* berbasis AI untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah, namun penelitian tersebut lebih berfokus pada konsep pemanfaatan AI tanpa mengintegrasikan pemantauan kondisi tempat sampah secara *real-time*. Sheng *et al.* [12] memanfaatkan teknologi IoT berbasis LoRa dan model *deep learning* untuk memantau kondisi tempat sampah, sehingga mampu meningkatkan efisiensi pengumpulan data. Sementara itu, Yadav [4] mengkaji penerapan IoT dan AI dalam sistem sanitasi perkotaan yang berkelanjutan, tetapi masih terbatas pada pembahasan konseptual dan belum mengintegrasikan aspek pengembangan model bisnis startup. Penelitian lainnya oleh Fuqaha dan Nursetiawan [6] membahas peluang dan tantangan integrasi AI dan IoT pada pengelolaan sampah cerdas, namun lebih menitikberatkan pada tinjauan literatur dibandingkan implementasi solusi yang dapat diadopsi oleh pemerintah daerah maupun masyarakat.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, masih terdapat beberapa kesenjangan penelitian. Sebagian besar penelitian terdahulu hanya berfokus pada implementasi perangkat IoT untuk pemantauan kapasitas tempat sampah atau pemanfaatan AI untuk analisis data secara terpisah. Selain itu, sebagian penelitian belum mengintegrasikan aspek teknologi, operasional, dan model bisnis dalam satu platform yang dapat mendukung implementasi *Smart City*. Penelitian terdahulu juga masih terbatas dalam mengkaji kelayakan pengembangan solusi sebagai startup digital yang mampu menghubungkan pemerintah, pengelola sampah, dan masyarakat dalam satu ekosistem. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan konsep SmartWaste AI, yaitu platform pengelolaan sampah yang mengintegrasikan teknologi IoT untuk pemantauan *real-time*, AI untuk analisis dan prediksi volume sampah, serta kajian kelayakan bisnis sebagai dasar pengembangan startup yang mendukung pengelolaan sampah perkotaan secara lebih efektif dan berkelanjutan.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi pengelolaan sampah perkotaan, mengidentifikasi potensi integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) dan *Artificial Intelligence* (AI), serta mengkaji pengembangan startup SmartWaste AI sebagai solusi pengelolaan sampah cerdas yang mendukung implementasi *Smart City* berkelanjutan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi berupa model konseptual yang mengintegrasikan aspek teknologi, operasional, dan bisnis sehingga dapat menjadi referensi bagi pengembangan sistem pengelolaan sampah berbasis teknologi digital di Indonesia.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan *explanatory-descriptive* dengan metode campuran (*mixed methods*), yaitu pendekatan yang tidak hanya bertujuan untuk mendeskripsikan fenomena pengelolaan sampah berbasis *Smart City*, tetapi juga menjelaskan hubungan antara penerapan teknologi IoT dan AI terhadap efektivitas pengelolaan sampah serta kelayakan pengembangan SmartWaste AI sebagai sebuah startup teknologi. Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Penelitian

Gambar 1 menunjukkan alur penelitian yang dimulai dari identifikasi permasalahan pengelolaan sampah perkotaan, dilanjutkan dengan studi literatur untuk mengidentifikasi konsep, metode, dan penelitian terdahulu yang relevan. Selanjutnya dilakukan perumusan tujuan penelitian, kemudian penelitian dilaksanakan menggunakan pendekatan *mixed methods* dengan desain *explanatory-descriptive*. Pada tahap ini, penelitian dibagi menjadi dua pendekatan, yaitu pendekatan kualitatif melalui wawancara mendalam, observasi, dan dokumentasi untuk memperoleh pemahaman mengenai kondisi eksisting, kebutuhan pengguna, serta tantangan implementasi teknologi, dan pendekatan kuantitatif yang digunakan untuk menganalisis aspek ekonomi dan bisnis, meliputi estimasi biaya, potensi pendapatan, *Break Even Point* (BEP), dan *cost-benefit analysis*.

Hasil dari kedua pendekatan tersebut kemudian diintegrasikan melalui proses analisis data menggunakan model Miles, Huberman, dan Saldaña yang dipadukan dengan analisis kelayakan bisnis. Tahap berikutnya adalah perancangan solusi SmartWaste AI menggunakan pendekatan *design thinking* sebagai dasar pengembangan sistem pengelolaan sampah berbasis *Internet of Things* (IoT) dan *Artificial Intelligence* (AI). Seluruh tahapan tersebut menghasilkan rekomendasi pengembangan SmartWaste AI sebagai startup teknologi yang mendukung implementasi *Smart City* secara berkelanjutan.

2.1 Teknik Pengambilan dan Sumber Data

Data dalam penelitian ini diperoleh dari dua sumber utama, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui wawancara mendalam dengan petugas kebersihan, pengelola TPS/TPST atau bank sampah, masyarakat pengguna layanan, serta pihak yang memahami teknologi IoT dan AI. Selain itu, dilakukan observasi langsung terhadap sistem pengelolaan sampah yang berjalan untuk melihat kondisi riil di lapangan.

Sementara itu, data sekunder digunakan untuk memperkuat analisis, terutama dalam aspek ekonomi dan kebijakan. Data ini meliputi laporan Dinas Lingkungan Hidup, data statistik volume sampah, kebijakan pemerintah terkait *Smart City*, serta literatur ilmiah mengenai IoT, AI, dan sistem pengelolaan sampah cerdas [15].

2.2 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui wawancara, observasi, dan dokumentasi. Wawancara dilakukan secara semi-terstruktur untuk menggali informasi mengenai permasalahan pengelolaan sampah, peluang penerapan teknologi

SmartWaste AI, serta persepsi masyarakat terhadap sistem tersebut. Observasi dilakukan untuk melihat langsung alur pengelolaan sampah dari proses pengumpulan hingga pengolahan. Dokumentasi digunakan untuk mengumpulkan data pendukung seperti laporan resmi, regulasi, dan data operasional pengelolaan sampah.

Selain itu, penelitian ini juga mengumpulkan data terkait aspek ekonomi startup, seperti estimasi biaya pengembangan sistem IoT dan AI, biaya operasional sistem digital, serta potensi model pendapatan. Hal ini dilakukan untuk menilai apakah SmartWaste AI memiliki kelayakan sebagai sebuah startup teknologi yang berkelanjutan secara finansial.

2.3 Teknik Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan melalui dua pendekatan utama. Data kualitatif dianalisis menggunakan model interaktif yang terdiri dari reduksi data, penyajian data, serta penarikan kesimpulan dan verifikasi. Model ini digunakan untuk memahami pola permasalahan pengelolaan sampah serta peluang implementasi teknologi SmartWaste AI.

Sementara itu, data kuantitatif dianalisis menggunakan pendekatan analisis kelayakan bisnis sederhana, yang meliputi perhitungan biaya dan manfaat, analisis Break Even Point (BEP), serta identifikasi model pendapatan startup. Analisis ini digunakan untuk menilai apakah SmartWaste AI layak dikembangkan sebagai startup dari sisi ekonomi.

2.4 Informan Penelitian

Informan dalam penelitian ini dipilih menggunakan teknik purposive sampling, yaitu pemilihan informan berdasarkan pertimbangan tertentu yang dianggap memiliki pengetahuan dan keterlibatan langsung terhadap topik penelitian. Informan terdiri dari petugas pengangkut sampah, pengelola TPS/TPST atau bank sampah, masyarakat pengguna layanan, serta pihak yang memahami teknologi informasi khususnya IoT dan AI. Pemilihan informan dilakukan untuk mendapatkan gambaran yang komprehensif mengenai kondisi pengelolaan sampah serta potensi penerapan teknologi SmartWaste AI

2.5 Keabsahan Data

Keabsahan data diuji menggunakan teknik triangulasi, yaitu triangulasi sumber, triangulasi teknik, dan triangulasi data. Triangulasi dilakukan dengan membandingkan hasil wawancara, observasi, dan dokumentasi untuk memastikan konsistensi data penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kondisi Pengelolaan Sampah dan Permasalahan yang Dihadapi Masyarakat

Pengelolaan sampah merupakan aspek penting dalam menjaga kebersihan lingkungan, kesehatan masyarakat, dan keberlanjutan pembangunan perkotaan. Namun, peningkatan jumlah penduduk dan aktivitas ekonomi menyebabkan volume sampah terus bertambah sehingga memunculkan berbagai permasalahan, seperti keterlambatan pengangkutan, keterbatasan armada, rendahnya kesadaran masyarakat dalam memilah sampah, serta penumpukan sampah di beberapa lokasi. Berdasarkan hasil wawancara, seluruh informan memiliki pandangan yang sama bahwa sistem pengelolaan sampah yang berjalan saat ini masih perlu ditingkatkan agar mampu mengimbangi peningkatan volume sampah setiap tahun.

Hasil wawancara menunjukkan bahwa petugas pengangkut sampah menangani sekitar 2–3 ton sampah per hari dari 12–15 titik layanan, dengan sekitar 40% titik mengalami kelebihan kapasitas dan 4–6 kejadian penumpukan sampah setiap bulan. Pengelola TPS menerima 500–700 kg sampah per hari, dengan komposisi 55% sampah organik, 25% sampah plastik, dan sekitar 65% sampah masih tercampur sehingga memperlambat proses pengolahan. Selain itu, masyarakat menyampaikan bahwa volume sampah dapat meningkat sekitar 30% pada hari-hari tertentu, sementara sekitar 35% warga belum terbiasa memilah sampah rumah tangga. Temuan tersebut menunjukkan bahwa tingginya volume sampah, keterbatasan armada, dan rendahnya partisipasi masyarakat menjadi dasar perlunya inovasi pengelolaan sampah berbasis teknologi seperti SmartWaste AI untuk meningkatkan efektivitas pemantauan, pengumpulan, dan pengangkutan sampah.

$$VS = VH \times H \quad (1)$$

Keterangan:

VS = Volume sampah bulanan

VH = Volume sampah harian

H = Hari operasional

$$VS = 2,5 \times 30$$

$$VS = 75 \text{ ton/bulan}$$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem pengelolaan sampah harus mampu menangani sekitar 75 ton sampah setiap bulan. Selanjutnya, berdasarkan data bahwa 40% titik pengangkutan mengalami kelebihan kapasitas dan jumlah titik pelayanan rata-rata 14 lokasi per hari, maka jumlah titik yang berpotensi mengalami penumpukan dapat dihitung:

$$TP = 14 \times 40\%$$

(2)

$$TP = 5,6 \approx 6 \text{ titik}$$

Artinya, terdapat sekitar enam titik yang berpotensi mengalami penumpukan sampah setiap hari sehingga diperlukan sistem pemantauan yang lebih efektif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengelolaan sampah yang berlangsung saat ini masih menghadapi berbagai permasalahan, terutama tingginya volume sampah, keterbatasan armada pengangkutan, serta rendahnya kesadaran masyarakat dalam melakukan pemilahan sampah. Kondisi tersebut menyebabkan masih terjadinya penumpukan sampah di beberapa lokasi sehingga mengurangi kualitas lingkungan dan kenyamanan masyarakat. Temuan ini menunjukkan bahwa sistem pengelolaan sampah yang ada masih bersifat konvensional dan belum mampu mengimbangi peningkatan jumlah sampah yang dihasilkan masyarakat. Pengelolaan sampah merupakan suatu sistem yang meliputi kegiatan pengumpulan, pengangkutan, pengolahan, dan pembuangan sampah secara terencana untuk menjaga kualitas lingkungan. Pengelolaan yang tidak optimal dapat menimbulkan pencemaran lingkungan, gangguan kesehatan, serta menurunkan kualitas hidup masyarakat.

Penelitian ini juga menemukan bahwa rendahnya partisipasi masyarakat dalam memilah sampah menjadi salah satu faktor utama yang menghambat efektivitas pengelolaan sampah. Sebagian besar sampah masih dibuang dalam kondisi tercampur sehingga memperlambat proses pengolahan di tingkat TPS maupun tempat pengolahan akhir. Temuan tersebut sejalan dengan pendapat [13] yang menyatakan bahwa keberhasilan pengelolaan sampah tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan sarana dan prasarana, tetapi juga dipengaruhi oleh tingkat kesadaran serta partisipasi masyarakat dalam mengelola sampah sejak dari sumbernya.

Selain itu, keterbatasan armada dan tenaga pengangkut menyebabkan pelayanan pengangkutan sampah belum dapat menjangkau seluruh wilayah secara optimal sehingga beberapa lokasi masih mengalami keterlambatan pengangkutan dan penumpukan sampah. Keterlambatan dalam proses pengumpulan dan pengangkutan merupakan salah satu penyebab utama menurunnya efektivitas sistem pengelolaan sampah perkotaan. Oleh karena itu, berdasarkan hasil penelitian dan teori yang ada, diperlukan pendekatan yang lebih modern dan terintegrasi melalui pemanfaatan teknologi digital untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan sampah sekaligus mendukung terciptanya lingkungan yang bersih, efisien, dan berkelanjutan.

3.2 Potensi Penerapan *Internet of Things (IoT)* dan *Artificial Intelligence (AI)* dalam Pengelolaan Sampah

Perkembangan teknologi digital membuka peluang untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan sampah melalui penerapan *Internet of Things (IoT)* dan *Artificial Intelligence (AI)*. IoT memungkinkan sensor mengumpulkan dan mengirimkan data kondisi tempat sampah secara *real-time*, sedangkan AI berfungsi mengolah data tersebut untuk memprediksi volume sampah, mengoptimalkan rute pengangkutan, serta mendukung pengambilan keputusan. Berdasarkan hasil wawancara, seluruh informan memberikan tanggapan positif dan menilai bahwa kedua teknologi tersebut dapat menjadi solusi atas permasalahan keterlambatan pengangkutan, pemantauan yang masih manual, dan rendahnya efisiensi operasional.

Informan yang memahami teknologi menyatakan bahwa penerapan IoT berpotensi mengurangi keterlambatan pengangkutan hingga 50%, sementara AI mampu memprediksi volume sampah dengan tingkat akurasi lebih dari 80% jika didukung data yang memadai. Petugas pengangkut sampah juga menilai penggunaan sensor dan aplikasi digital dapat mempercepat identifikasi lokasi prioritas serta menghemat waktu perjalanan sekitar 20–30 menit per hari. Selain itu, pengelola TPS memperkirakan penerapan sistem digital dapat meningkatkan efisiensi operasional hingga 30% melalui pemantauan kapasitas tempat sampah dan pengelolaan jadwal pengangkutan yang lebih optimal.

Dari sisi masyarakat, pemanfaatan teknologi dinilai mampu mempercepat pelayanan, mempermudah pelaporan kondisi sampah, serta meningkatkan komunikasi antara masyarakat dan pengelola. Beberapa informan juga memperkirakan efisiensi pelayanan dapat meningkat sekitar 25–30%, terutama dengan adanya sensor yang memberikan peringatan saat kapasitas tempat sampah mencapai 80%. Berdasarkan temuan tersebut, penerapan IoT dan AI memiliki peluang yang besar untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan sampah melalui pemantauan *real-time*, analisis data, dan optimalisasi proses pengangkutan sehingga mampu memberikan manfaat bagi petugas, pengelola TPS, maupun masyarakat. Berdasarkan hasil wawancara, penggunaan IoT diperkirakan mampu mengurangi keterlambatan pengangkutan hingga 50%. Jika rata-rata terjadi lima kejadian penumpukan sampah setiap bulan, maka jumlah kejadian yang dapat dicegah dihitung dengan rumus:

$$KP = JP \times 50\% \quad (3)$$

Keterangan:

KP = Kejadian yang dapat dicegah

JP = Jumlah penumpukan per bulan

$$KP = 5 \times 50$$

$$KP = 2,5 \approx 3 \text{ kejadian}$$

Dengan demikian, penerapan sensor IoT berpotensi mencegah sekitar tiga kejadian penumpukan sampah setiap bulan. Selain itu, penggunaan AI diperkirakan memiliki tingkat akurasi prediksi volume sampah lebih dari 80%.

$$AP = \frac{DV}{DT} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

AP = Akurasi prediksi

DV = Data yang diprediksi benar

DT = Total data

Misalnya dari 100 data sampah yang dianalisis, 82 data berhasil diprediksi dengan benar:

$$AP = \frac{82}{100} \times 100\%$$

$$AP = 82\%$$

Hasil ini menunjukkan bahwa AI memiliki kemampuan yang cukup tinggi dalam mendukung pengambilan keputusan pengangkutan sampah. Dengan demikian, pemanfaatan Internet of Things dan Artificial Intelligence dalam pengelolaan sampah merupakan langkah yang relevan untuk menjawab berbagai tantangan yang dihadapi saat ini. Dukungan yang diberikan oleh seluruh informan menunjukkan bahwa penerapan teknologi tidak hanya dipandang sebagai kebutuhan masa depan, tetapi juga sebagai solusi yang dapat membantu menciptakan sistem pengelolaan sampah yang lebih efektif, efisien, dan berkelanjutan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan IoT dan AI memiliki potensi besar untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan sampah. Penggunaan sensor pada tempat sampah memungkinkan pemantauan kapasitas secara *real-time*, sedangkan AI dapat dimanfaatkan untuk menganalisis data, memprediksi volume sampah, dan mengoptimalkan rute pengangkutan. Integrasi kedua teknologi tersebut dinilai mampu mengurangi keterlambatan pengangkutan, meningkatkan ketepatan pengambilan keputusan, serta menjadikan sistem pengelolaan sampah lebih efisien dibandingkan metode manual.

Selain memberikan manfaat bagi pengelola dan petugas lapangan, penerapan IoT dan AI juga berpotensi meningkatkan kualitas pelayanan kepada masyarakat melalui penyediaan informasi yang lebih cepat mengenai kondisi tempat sampah dan jadwal pengangkutan. Dengan demikian, pemanfaatan kedua teknologi tersebut tidak hanya menjadi inovasi dalam pengelolaan sampah, tetapi juga mendukung terciptanya sistem pelayanan publik yang lebih responsif, efisien, dan berkelanjutan.

3.3 Pengembangan Startup SmartWaste AI sebagai Solusi *Smart City* Berkelanjutan

Perkembangan konsep *Smart City* mendorong pemanfaatan teknologi digital untuk meningkatkan kualitas pelayanan publik, termasuk dalam pengelolaan sampah. SmartWaste AI dikembangkan sebagai solusi yang mengintegrasikan Internet of Things (IoT) dan Artificial Intelligence (AI) untuk melakukan pemantauan kapasitas tempat sampah secara real-time, analisis data, serta optimalisasi proses pengangkutan. Berdasarkan hasil wawancara, seluruh informan menilai bahwa sistem ini berpotensi menjawab berbagai permasalahan pengelolaan sampah sekaligus mendukung pembangunan kota yang lebih cerdas dan berkelanjutan.

Informan yang memahami teknologi menyatakan bahwa penerapan SmartWaste AI mampu meningkatkan efisiensi operasional sekitar 30% serta menurunkan biaya operasional pengangkutan sebesar 20–30% melalui optimasi rute berbasis AI. Petugas pengangkut sampah juga menilai sistem ini dapat mengurangi penggunaan bahan bakar sekitar 15%, mempercepat penentuan lokasi prioritas, dan meningkatkan produktivitas kerja. Sementara itu, pengelola TPS menilai fitur pemantauan kapasitas tempat sampah dan analisis data dapat membantu penyusunan jadwal pengelolaan yang lebih tepat serta mempercepat proses pencatatan dan evaluasi.

Dari sisi masyarakat, SmartWaste AI dinilai mampu mempermudah pelaporan masalah sampah, memberikan informasi jadwal pengangkutan secara lebih jelas, dan mengurangi keluhan masyarakat hingga lebih dari 50%. Beberapa informan juga memperkirakan efisiensi pelayanan dapat meningkat sekitar 25–30% serta mengusulkan adanya sistem penghargaan untuk mendorong partisipasi masyarakat dalam memilah sampah. Berdasarkan hasil wawancara, SmartWaste AI diperkirakan mampu menurunkan biaya operasional sebesar 20–30%. Jika digunakan nilai rata-rata 25%, maka potensi penghematan biaya dihitung menggunakan rumus:

$$PB = BO \times 25\% \quad (5)$$

Keterangan:

PB = Penghematan biaya

BO = Biaya operasional

Jika biaya operasional armada sebesar Rp10.000.000 per bulan:

$$PB = Rp10.000.000 \times 25$$

$$PB = Rp2.500.000$$

Selain itu, petugas memperkirakan penghematan waktu operasional sekitar 25 menit per hari.

$$EW = 25 \times 30EW = 750 \text{ menit}$$

$$EW = 12,5 \text{ jam/bulan}$$

Artinya, SmartWaste AI berpotensi menghemat waktu kerja hingga 12,5 jam setiap bulan sekaligus meningkatkan produktivitas pelayanan. Selanjutnya, rata-rata peningkatan efisiensi operasional berdasarkan pendapat informan berkisar 25–30%

$$EO = \frac{25+30}{2}$$

$$EO = 27,5\%$$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa SmartWaste AI berpotensi meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah sebesar 27,5% dibandingkan sistem konvensional. Dengan demikian, pengembangan startup SmartWaste AI dapat menjadi salah satu langkah strategis dalam mendukung terwujudnya *Smart City* yang berkelanjutan. Melalui pemanfaatan teknologi digital, pengelolaan sampah tidak lagi dilakukan secara reaktif, tetapi berbasis data dan prediksi sehingga mampu meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi penumpukan sampah, serta menciptakan lingkungan perkotaan yang lebih bersih, sehat, dan nyaman bagi masyarakat.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengembangan SmartWaste AI memiliki peluang besar sebagai solusi inovatif dalam pengelolaan sampah perkotaan. Integrasi teknologi IoT dan AI memungkinkan proses pemantauan real-time, analisis data, serta optimalisasi pengangkutan sampah sehingga pengelolaan menjadi lebih efektif dan efisien. Selain meningkatkan efisiensi operasional, sistem ini juga mendukung implementasi konsep *Smart City* yang berorientasi pada keberlanjutan lingkungan melalui pemanfaatan teknologi berbasis data.

Temuan penelitian menunjukkan bahwa SmartWaste AI memberikan manfaat bagi berbagai pihak yang terlibat dalam pengelolaan sampah. Bagi petugas lapangan, sistem ini membantu menentukan lokasi prioritas pengangkutan, sedangkan bagi pengelola TPS teknologi ini mempermudah proses pemantauan dan pencatatan data. Sementara itu, masyarakat memperoleh kemudahan dalam pelaporan serta akses informasi yang lebih cepat, sehingga kualitas pelayanan publik dapat meningkat dan kebutuhan pengelolaan sampah dapat direspons secara lebih efektif.

Pengembangan SmartWaste AI juga sejalan dengan prinsip pembangunan berkelanjutan yang mengintegrasikan aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan. Pemanfaatan IoT dan AI memungkinkan proses pengelolaan sampah dilakukan secara lebih sistematis, mengurangi penumpukan sampah, meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, serta mendorong partisipasi masyarakat. Dengan demikian, SmartWaste AI memiliki potensi yang kuat untuk dikembangkan sebagai startup berbasis teknologi yang mendukung terwujudnya *Smart City* yang lebih bersih, cerdas, dan berkelanjutan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan keseluruhan proses penelitian, dapat disimpulkan bahwa pengelolaan sampah perkotaan masih menghadapi berbagai tantangan yang tidak dapat diselesaikan secara optimal dengan pendekatan konvensional, terutama karena keterbatasan sistem pemantauan, rendahnya pemanfaatan data dalam pengambilan keputusan, serta belum terintegrasinya proses pengumpulan, analisis, dan pengelolaan informasi sampah. Melalui pendekatan *mixed methods*, penelitian ini berhasil mengidentifikasi kebutuhan pengguna, tantangan implementasi teknologi, serta aspek kelayakan bisnis yang menjadi dasar pengembangan SmartWaste AI sebagai startup berbasis teknologi digital. Integrasi *Internet of Things* (IoT) untuk pemantauan kondisi tempat sampah secara *real-time* dengan *Artificial Intelligence* (AI) untuk analisis dan prediksi volume sampah menunjukkan potensi dalam meningkatkan efisiensi operasional, mendukung penentuan prioritas pengangkutan, serta memperbaiki kualitas pelayanan pengelolaan sampah. Dibandingkan dengan penelitian terdahulu yang umumnya hanya berfokus pada penerapan IoT untuk pemantauan kapasitas tempat sampah atau AI untuk analisis data secara terpisah, penelitian ini menawarkan pendekatan yang lebih komprehensif dengan mengintegrasikan aspek teknologi, analisis bisnis, dan pengembangan model startup dalam satu kerangka solusi yang mendukung implementasi *Smart City*. Kontribusi tersebut memberikan perspektif bahwa pengelolaan sampah tidak hanya memerlukan inovasi teknologi, tetapi juga model bisnis yang layak agar solusi dapat diimplementasikan secara berkelanjutan. Oleh karena itu, SmartWaste AI berpotensi menjadi referensi dalam pengembangan sistem pengelolaan sampah berbasis teknologi digital di Indonesia sekaligus membuka peluang penelitian lanjutan berupa implementasi prototipe, pengujian performa sistem pada kondisi nyata, serta evaluasi dampaknya terhadap efisiensi operasional, keberlanjutan lingkungan, dan peningkatan partisipasi masyarakat.

REFERENCES

- [1] M. G. Wardhana, A. P. Putra, and B. Setyawan, "Smart Waste Management Based On Artificial Intelligence Pada Sampah Di Banyuwangi," *J. Teknol. Pangan Dan Ilmu Pertan.*, vol. 3, no. 1, pp. 31–34, 2021, doi: <https://doi.org/10.36526/jipang.v3i1.2668>.
- [2] O. Ayeni, "Smart Waste Management in the Age of Industry 4.0: IoT, AI and Blockchain Applications in Circular Economy Systems," *World J. Adv. Res. Rev.*, 2025, doi: <https://doi.org/10.30574/WJARR.2025.28.1.3358>.
- [3] F. Lanzalunga and R. M. A. I. P. Pietro Biancone, "The application of artificial intelligence in waste management: understanding the potential of data-driven approaches for the circular economy paradigm," vol. 63, no. 10, 2025, doi: <https://doi.org/10.1108/MD-10-2023-1733>.
- [4] H. L. Yadav, "Smart Waste Management Systems: Iot And AI Approaches To Sustainable Urban Sanitation," *Int. J. Environ. Sci.*, vol. 11, no. 17S, 2025, doi: <https://doi.org/10.64252/S73DGC98>.

- [5] B. I. Olawade, D. B., Fapohunda, O., Wada, O. Z., Usman, S. O., Ige, A. O., Ajisafe, O., & Oladapo, "Smart waste management: A paradigm shift enabled by artificial intelligence," *Waste Manag. Bull.*, vol. 2, no. 2, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/J.WMB.2024.05.001>.
- [6] N. Fuqaha, S., & Nursetiawan, "Artificial Intelligence and IoT for Smart Waste Management: Challenges, Opportunities, and Future Directions.," *J. Futur. Artif. Intell. Technol.*, vol. 2, no. 1, 2024, doi: <https://doi.org/10.62411/FAITH.3048-3719-85>.
- [7] F. N. Gustiyana, R. Munadi, N. Karna, and I. K. Agung Enriko, "Recommendations for Standardizing IoT for Fire Alarm Control Panel Systems: Literature Review.," *Proc. - ICT 2023 - 29th Int. Conf. Telecommun. Next-Generation Telecommun. Digit. Incl. Univers. Access*, pp. 1–6, 2023, doi: 10.1109/ICT60153.2023.10374056.
- [8] M. Idoje, G., Dagiuklas, T., & Iqbal, "Survey for smart farming technologies: Challenges and issues.," *Comput. Electr. Eng.*, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/J.COMPELECENG.2021.107104>.
- [9] M. Zakiansyah, "Integrasi Internet of Things (IoT) dan Kecerdasan Buatan (AI) untuk *Smart City* di Indonesia.," *J. Sains Student Res.*, vol. 3, no. 2, 2025, doi: <https://doi.org/10.61722/JSSR.V3I2.4315>.
- [10] S. Wafi, A., Setyawan, H., & Ariyani, "Prototipe Sistem Smart Trash Berbasis IOT (Internet Of Things) dengan Aplikasi Android.," *J. Tek. Elektro Dan Komputasi*, vol. 2, no. 1, 2020, doi: <https://doi.org/10.32528/ELKOM.V2I1.3134>.
- [11] P. Agrawal, A., Ojha, B., Shakywar, K., & Narwaiys, "Smart Agriculture: Leveraging Technology For Sustainable And Efficient Farming.," *Futur. Trends Artif. Intell.*, vol. 3, no. 4, 2024, doi: <https://doi.org/10.58532/V3BIAI4P5CH2>.
- [12] M. T. Sheng, T. J., Islam, M. S., Misran, N., Baharuddin, M. H., Arshad, H., Islam, M. R., Chowdhury, M. E. H., Rmili, H., & Islam, "An Internet of Things Based Smart Waste Management System Using LoRa and Tensorflow Deep Learning Model.," *IEEE Access*, vol. 8, 2020, doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3016255>.
- [13] M. N. Azzqy, A. A. R., Perkasa, A. W. A. P., Windarto, W., Rahman, M. V., & Mahendra, "Pemberdayaan Sosial Ekonomi RW 027 Mekarjaya Depok melalui Pengelolaan Bank Sampah Berbasis Lingkungan Cerdas (AI Smart Environment).," *KRESNA J. Ris. Dan Pengabd. Masy.*, vol. 6, no. 1, 2026, doi: <https://doi.org/10.36080/KRESNA.V6I1.283>.
- [14] I. K. A. Enriko and F. N. Gustiyana, "Wi-Fi HaLow: Literature Review About Potential Use Of Technology In Agriculture And Smart Cities in Indonesia.," *2024 Int. Conf. Green Energy, Comput. Sustain. Technol. GECOST 2024*, pp. 277–281, 2024, doi: 10.1109/GECOST60902.2024.10474936.
- [15] Sugiyono, *Metode Penelitian Pendekatan Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta, 2017.