

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Kota Semarang merupakan kota metropolitan dan menghadapi berbagai tekanan dan tantangan pada kualitas lingkungan hidup, salah satunya dalam pengelolaan sampah. Permasalahan pengelolaan sampah seperti peningkatan volume sampah karena pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi, serta pola konsumsi masyarakat yang cenderung menghasilkan lebih banyak sampah (Al Khumairoh et al., 2024). Meskipun pelayanan sampah di Kota Semarang telah lebih dari 90% (DLH Kota Semarang, 2023), tetapi masih rendahnya pengolahan sampah dari sumber (hulu) maupun di TPA (hilir) menyebabkan kapasitas TPA Jatibarang menjadi berkurang dan diperkirakan dalam beberapa tahun ke depan sudah *over capacity* jika tidak ada upaya pengelolaan yang signifikan. Berdasarkan laporan pada Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), sumber sampah yang ada di Kota Semarang didominasi oleh sampah yang bersumber dari rumah tangga sekitar 72%, dan terdapat sumber sampah yang bersumber dari kawasan, sekitar 6,6% dari total timbulan sampah atau sekitar 28.660,10 Ton pada tahun 2024 (Kementerian Lingkungan Hidup, 2024) yang salah satunya berasal dari kawasan wisata yang ada di Kota Semarang

Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Semarang mencatat adanya peningkatan kunjungan wisatawan pada objek wisata sejarah dalam empat tahun terakhir (BPS Kota Semarang, 2024). Lebih lanjut, BPS Kota Semarang mencatat pada tahun

2021 jumlah kunjungan wisata sejarah di Kota Semarang hanya 607.963 kunjungan, dan pada tahun 2024 meningkat menjadi 3.690.645 kunjungan. Peningkatan ini terjadi seiring dengan pulihnya kondisi ekonomi Kota Semarang pasca pandemi Covid-19 (Utami & Widyasputri, 2023). Semakin meningkatnya jumlah kunjungan wisata di Kota Semarang juga akan membawa tekanan terhadap kondisi lingkungan, salah satunya dari sektor timbulan sampah. Setidaknya terdapat lima destinasi wisata sejarah di Kota Semarang, salah satunya adalah situs Kota Lama Semarang yang menjadi salah satu destinasi wisata yang paling banyak dikunjungi oleh wisatawan di Kota Semarang (Dinas Pariwisata Kota Semarang, 2024).

Situs Kota Lama Semarang menjadi salah satu destinasi wisata *heritage* yang ada di Kota Semarang dan juga ditetapkan menjadi kawasan strategis dan menjadi kawasan cagar budaya berdasarkan Peraturan Daerah Kota Semarang Nomor 5 Tahun 2021 tentang Perubahan Atas Peraturan Daerah Nomor 14 Tahun 2011 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Semarang Tahun 2011-2031. Sebagai kawasan strategis dan kawasan cagar budaya dalam RTRW Kota Semarang, salah satu upaya strategis yang dilakukan dalam pelestariannya adalah dengan meningkatkan nilai kawasan bersejarah dan/atau bernilai arsitektur tinggi dan mengembangkan potensi sosial budaya masyarakat yang memiliki nilai sejarah sehingga harapannya dapat meningkatkan daya tarik wisatawan.

Sebagai kawasan strategis, situs Kota Lama Semarang tidak hanya sebagai kawasan pariwisata, akan tetapi terdapat beberapa kegiatan seperti perkantoran, penyediaan akomodasi, dan perdagangan. Salah satu aspek peningkatan yang perlu

dipertimbangkan adalah aspek pengelolaan sampah. Pengelolaan kawasan wisata terkadang tidak terlalu memperhatikan pengelolannya. Hal ini dikarenakan keterbatasan waktu dan juga biaya ekonomi yang mahal jika dilakukan pengelolaan sampah secara mandiri oleh masing-masing kegiatan (Perkumienè et al., 2023). Lebih lanjut, semakin banyaknya kunjungan wisata di suatu destinasi wisata, maka jumlah timbulan sampah yang dihasilkan akan semakin besar (Obersteiner et al., 2021; Perkumienè et al., 2023). Aktivitas pariwisata, kuliner, perkantoran, dan ekonomi kreatif yang berlangsung setiap hari menyebabkan peningkatan timbulan sampah secara signifikan, terutama pada jam puncak kunjungan dan akhir pekan. Karakter kawasan *heritage* tropis yang memiliki ruang jalan sempit, tingkat kelembaban tinggi, serta kebutuhan menjaga kualitas visual menjadikan pengelolaan sampah sebagai komponen krusial dalam pelestarian suatu kawasan.

Namun, perkembangan Situs Kota Lama Semarang menimbulkan persoalan serius dalam pengelolaan lingkungan. Peningkatan densitas aktivitas, minimnya ruang terbuka, dan keterbatasan prasarana menyebabkan sistem persampahan masih mengandalkan pola manual kumpul–angkut–buang (Greco et al., 2018). Data menunjukkan bahwa mayoritas sampah menumpuk di titik-titik dekat bangunan *heritage*, menimbulkan risiko degradasi visual, pencemaran lingkungan, serta mengurangi kenyamanan wisatawan (Gao et al., 2024). Kondisi ini diperparah oleh banjir rob dan drainase yang buruk, yang meningkatkan kerentanan ekologis kawasan (Priti & Mandal, 2019; H. Kaur & Kaur, 2024).

Meskipun Pemerintah Kota Semarang telah menerapkan kebijakan pengelolaan sampah perkotaan, kondisi pengelolaan sampah eksisting di Situs Kota Lama Semarang masih menghadapi berbagai persoalan pada lima aspek ISWM (*Integrated Solid Waste Management*), yaitu: (1) teknis-operasional, di mana banyak tempat sampah (TS) tidak standar dan sering mengalami *overflow* karena kelambatan pengangkutan; (2) kelembagaan, dimana peran Dinas Lingkungan Hidup (DLH), Badan Pengelola Kawasan Kota Lama (BPK2L), pelaku usaha, dan komunitas belum terintegrasi dalam suatu SOP yang baku; (3) regulasi, karena belum terdapat kebijakan *pro-heritage* yang mengatur standar visual, desain TS, zonasi TPS, dan tata kelola berbasis pelestarian; (4) finansial, berupa keterbatasan skema pembiayaan dan belum adanya perhitungan efisiensi biaya operasional; serta (5) partisipasi publik yang masih rendah karena mekanisme pelaporan dan pengawasan sampah masih bersifat manual. Persoalan – persoalan tersebut apabila tidak dilakukan upaya penyelesaian akan berimplikasi pada degradasi visual *heritage*, akumulasi sampah basah yang mempercepat kerusakan fisik bangunan, serta menurunnya kualitas pengalaman wisata. Hal ini sejalan dengan perspektif *Urban Ecology*, bahwa tekanan lingkungan, termasuk sampah dan aktivitas manusia, dapat menurunkan kualitas ekosistem kota dan persepsi pengunjung (Buruzs, 2024).

Sementara itu, perkembangan teknologi digital dan kecerdasan buatan (AI) yang semakin pesat memberikan peluang untuk membangun sistem pengelolaan sampah yang lebih adaptif dan berbasis data. Beberapa penelitian terdahulu telah membuktikan efektivitas *machine learning* (ML) untuk mendukung pengelolaan

sampah perkotaan, seperti *Convolutional Neural Network* (CNN) untuk klasifikasi citra kondisi sampah dengan akurasi tinggi (Malik et al., 2023; Alsabt et al., 2024; Idrissi et al., 2025), *Random Forest Regression* (RFR) yang efektif dalam memprediksi timbulan sampah dan dalam menangani pola data non-linear (Liang et al., 2021; Jafari & Mousavi, 2025; Abdeljaber et al., 2025), dan *Vehicle Routing Problem* (VRP) untuk optimasi rute pengangkutan (Iqbal et al., 2022). Namun, penerapan teknologi ini pada Situs *heritage* masih jarang, terutama yang mengintegrasikan aspek sosial, regulasi, finansial, dan konservasi budaya (Rossitto et al., 2022; Ahmed et al., 2023). Pendekatan *Smart city* menawarkan solusi melalui integrasi IoT, big data, dashboard digital, klasifikasi citra, dan pengambilan keputusan berbasis data *real-time*. Sementara itu, kerangka ISWM menekankan integrasi aspek teknis, sosial, kelembagaan, regulasi, dan finansial. Ketika kedua pendekatan ini dikombinasikan dengan perspektif *Urban Ecology*, kebutuhan akan model pengelolaan sampah di situs *heritage* menjadi semakin jelas: model tersebut harus adaptif, responsif terhadap dinamika wisata, menjaga kualitas visual, serta mendukung pelestarian lingkungan dan cagar budaya.

keterbatasan pengolahan sampah baik di hulu maupun di hilir menunjukkan bahwa pendekatan pengelolaan sampah konvensional belum sepenuhnya menjawab tantangan keberlanjutan (Pongrácz & Phillips, 2004; Seadon, 2010).

Beban lingkungan tersebut semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan sektor pariwisata, khususnya wisata sejarah dan *heritage*. Dalam kerangka model keberlanjutan lingkungan–sosial–ekonomi, aktivitas pariwisata dipandang sebagai pendorong ekonomi sekaligus sumber tekanan ekologis melalui peningkatan

konsumsi sumber daya dan timbulan sampah (Terra dos Santos et al., 2023; Tariq, 2025). Fluktuasi jumlah wisatawan memengaruhi volume dan karakteristik sampah secara temporal, sehingga menuntut sistem persampahan yang adaptif terhadap dinamika aktivitas manusia (Pongrácz, 2006; Batista et al., 2021).

Situs Kota Lama Semarang merupakan salah satu destinasi wisata *heritage* utama di Kota Semarang yang berstatus sebagai kawasan strategis dan kawasan cagar budaya. Dalam teori pelestarian kawasan cagar budaya (*tangible heritage*), kawasan *heritage* tidak hanya dipahami sebagai objek fisik yang dilindungi, tetapi sebagai lanskap budaya yang mengintegrasikan nilai sejarah, fungsi sosial, dan kualitas lingkungan (Haselberger & Krist, 2022; Guven Ulusoy, 2023). Oleh karena itu, pelestarian kawasan *heritage* menuntut pengelolaan lingkungan yang sensitif terhadap keaslian, integritas visual, dan kenyamanan ruang publik, termasuk pengelolaan sampah sebagai bagian dari kualitas lingkungan kawasan (Lee & Yen, 2016).

Sebagai kawasan strategis, Situs Kota Lama Semarang tidak hanya berfungsi sebagai destinasi wisata, tetapi juga sebagai ruang aktivitas perkantoran, perdagangan, kuliner, dan ekonomi kreatif. Literatur pelestarian *heritage* dan pariwisata berkelanjutan menunjukkan bahwa intensifikasi aktivitas tanpa sistem lingkungan yang adaptif dapat menurunkan kualitas visual dan nilai kawasan bersejarah (Eppich & Grinda, 2019; Xiao et al., 2024). Keterbatasan spasial, kebutuhan menjaga estetika visual, serta intensitas aktivitas harian menjadikan pengelolaan sampah sebagai komponen krusial dalam menjaga keberlanjutan kawasan *heritage* (Kevseroğlu et al., 2021).

Perkembangan Situs Kota Lama Semarang juga memunculkan persoalan lingkungan yang semakin kompleks. Kepadatan aktivitas dan keterbatasan prasarana menyebabkan sistem persampahan masih mengandalkan pola kumpul–angkut–buang. Dalam perspektif urban ecology, pola tersebut meningkatkan risiko degradasi visual, pencemaran lingkungan, dan penurunan kenyamanan kawasan (Islam, 2005; Buruzs, 2024). Tekanan ini diperparah oleh karakter kawasan pesisir yang rentan terhadap genangan dan gangguan ekologis, sehingga akumulasi sampah berpotensi mempercepat degradasi lingkungan dan bangunan bersejarah (Dastgerdi et al., 2019).

Ditinjau dari kerangka Integrated Solid Waste Management (ISWM), pengelolaan sampah eksisting di Situs Kota Lama Semarang masih menghadapi persoalan pada aspek teknis-operasional, kelembagaan, regulasi, finansial, dan partisipasi publik. Literatur ISWM menegaskan bahwa kegagalan integrasi kelima aspek tersebut akan menurunkan efektivitas dan keberlanjutan sistem persampahan (Memon, 2012; Asefi & Lim, 2017; Batista et al., 2021). Selain itu, dalam perspektif environmental governance, lemahnya koordinasi lintas aktor dan ketiadaan indikator kinerja menunjukkan belum optimalnya mekanisme tata kelola lingkungan kawasan (Paavola, 2023; Bennett & Satterfield, 2018).

Di sisi lain, perkembangan teknologi digital dan kecerdasan buatan membuka peluang transformasi pengelolaan lingkungan perkotaan. Konsep smart environment dalam kerangka smart city menempatkan teknologi digital sebagai instrumen pengambilan keputusan berbasis data untuk meningkatkan kualitas lingkungan dan keberlanjutan kota (Cengiz & Boz, 2020; Mete, 2023).

Pemanfaatan AI, analitik spasial, dan optimasi logistik berpotensi meningkatkan efisiensi operasional sistem persampahan. Namun, literatur menegaskan bahwa penerapan teknologi di kawasan *heritage* harus sensitif terhadap nilai visual, sosial, dan kultural, sehingga teknologi diposisikan sebagai instrumen lingkungan dan pelestarian, bukan sekadar alat efisiensi teknis (Rossitto et al., 2022; Afshari et al., 2024).

Selain aspek teknis, pengelolaan sampah berkelanjutan sangat dipengaruhi oleh partisipasi publik. Teori partisipasi publik dan Community-Based Waste Management (CBWM) menekankan bahwa keberhasilan pengelolaan lingkungan memerlukan keterlibatan aktif berbagai aktor, termasuk aktor non-residen seperti wisatawan dan pelaku usaha (Arnstein, 1969; Sekito et al., 2013; Nabatchi & Leighninger, 2015). Kualitas partisipasi dipengaruhi oleh nilai sosial, kepedulian lingkungan, dan kemudahan mekanisme pelaporan, sebagaimana dijelaskan dalam Social Value Theory dan teori perilaku pro-lingkungan (Schwartz, 2012; Tsirogianni & Gaskell, 2011).

Berdasarkan sintesis teori pengelolaan sampah berkelanjutan, pelestarian *heritage*, partisipasi publik, teknologi digital, tata kelola lingkungan, dan mitigasi perubahan iklim, dapat disimpulkan bahwa belum terdapat penelitian yang secara komprehensif mengintegrasikan seluruh dimensi tersebut dalam satu model pengelolaan sampah berbasis kawasan *heritage* (Seadon, 2010; Paavola, 2023; Powell et al., 2018). Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk mengembangkan Model Pengelolaan Sampah Berkelanjutan di Lingkungan Situs Kota Lama Semarang yang mengintegrasikan partisipasi publik dan teknologi

digital dalam kerangka Ilmu Lingkungan, dengan tujuan meningkatkan efisiensi operasional, memperkuat partisipasi sosial, menurunkan tekanan lingkungan dan emisi, serta menjaga nilai dan keaslian *heritage*, sekaligus mendukung pencapaian SDGs 11, 12, dan 13. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mengisi gap akademik, tetapi juga menyediakan rekomendasi praktis bagi pemerintah daerah, pengelola situs, dan pemangku kepentingan lainnya.

1.2 Rumusan Masalah

Situs Kota Lama Semarang, sebagai kawasan cagar budaya nasional, menghadapi tantangan pengelolaan sampah yang semakin kompleks seiring meningkatnya aktivitas wisata, intensifikasi ekonomi kreatif, dan keterbatasan infrastruktur lingkungan. Sistem pengelolaan sampah yang masih mengandalkan pola manual *kumpul–angkut–buang* belum mampu merespons dinamika timbulan yang fluktuatif, terutama pada titik-titik dekat bangunan cagar budaya. Kondisi ini tidak hanya menurunkan kualitas estetika kawasan, tetapi juga meningkatkan risiko degradasi visual dan fisik bangunan *heritage*, sebagaimana dicatat dalam berbagai studi mengenai sensitivitas lanskap budaya terhadap polusi visual (Gao et al., 2024; Montacchini et al., 2024).

Di sisi sosial, peran publik yang mencakup warga, pelaku usaha, dan wisatawan, belum terintegrasi secara efektif. Mekanisme pelaporan kondisi tempat sampah masih bersifat informal dan tidak terdokumentasi, sehingga tidak mampu memberikan umpan balik yang diperlukan bagi pengelola kawasan. Padahal, literatur partisipasi publik menegaskan bahwa pelibatan tiga kelompok aktor ini

merupakan kunci keberhasilan pengelolaan lingkungan di kawasan bersejarah (Arnstein, 1969; Siwawa, 2025; Dong et al., 2023).

Dari perspektif kelembagaan, koordinasi antara Dinas Lingkungan Hidup, Badan Pengelola Situs Kota Lama, dan Dinas Kebudayaan dan Pariwisata masih berjalan parsial. Belum tersedia SOP khusus persampahan *heritage*, sehingga tindakan operasional sering terfragmentasi dan tidak adaptif terhadap dinamika situasi lapangan. Tantangan serupa ditemukan pada kota-kota *heritage* lain, yang menurut Sari et al. (2019) memerlukan tata kelola kolaboratif berbasis data untuk mencegah konflik kewenangan dan memastikan efektivitas layanan.

Di sisi teknologi, perkembangan kecerdasan buatan dan analisis spasial sebenarnya menawarkan potensi besar, namun belum ada model yang mengintegrasikan AI, GIS, dan partisipasi publik untuk pengelolaan sampah di situs *heritage* Indonesia. Kesenjangan penerapan ini juga diidentifikasi dalam studi *smart city* yang menyoroti minimnya adaptasi teknologi digital untuk kawasan bersejarah yang sensitif secara visual dan kultural (Rossitto et al., 2022; Ahmed et al., 2023).

Lebih jauh, belum terdapat kajian yang mengukur dampak lingkungan dari sistem pengangkutan sampah di Situs Kota Lama Semarang melalui pendekatan emisi CO₂e berbasis metode IPCC, padahal sektor transportasi sampah diketahui memiliki kontribusi signifikan terhadap jejak karbon kota. Demikian pula, evaluasi keberlanjutan secara komprehensif, misalnya melalui RAP-FISH/RAP-WASTE, belum pernah dilakukan untuk kawasan *heritage*. Dengan demikian, terdapat urgensi akademik dan kebijakan untuk mengembangkan model pengelolaan

sampah yang integratif, berbasis teknologi digital, melibatkan publik, dan tetap sejalan dengan prinsip pelestarian cagar budaya serta tujuan pembangunan berkelanjutan.

Berdasarkan uraian tersebut, rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kondisi eksisting sistem pengelolaan sampah di Situs Kota Lama Semarang, ditinjau dari aspek teknis, sosial, kelembagaan, regulasi, dan finansial, dan implikasinya terhadap pelestarian *heritage*?
2. Teknologi digital apa yang relevan dan dapat diintegrasikan untuk mendukung pengelolaan sampah di Situs *heritage*?
3. Bagaimana bentuk dan efektivitas partisipasi publik (warga, pelaku usaha, dan wisatawan) dalam sistem pengelolaan sampah digital?
4. Bagaimana rancangan model integratif pengelolaan sampah berbasis teknologi digital, partisipasi publik, dan kelembagaan yang sesuai dengan karakteristik *heritage*?
5. Bagaimana hasil evaluasi keberlanjutan dan kinerja model pengelolaan sampah terhadap konservasi Situs Kota Lama Semarang dan pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs 11, 12, dan 13)?

1.3 Orisinalitas Penelitian

Penelitian mengenai pengelolaan sampah perkotaan, khususnya pada kawasan cagar budaya, telah berkembang secara signifikan selama dua dekade terakhir. Berbagai studi terdahulu menyoroti aspek teknis seperti prediksi timbulan berbasis *machine learning* (Breiman, 2001; Liang et al., 2021), optimasi rute pengangkutan melalui *Vehicle Routing Problem* (Laporte, 2009; Iqbal et al., 2022),

atau klasifikasi citra menggunakan CNN (Malik et al., 2023). Sementara itu, studi lain berfokus pada pendekatan sosial seperti partisipasi publik (Arnstein, 1969; Edward & Ofili, 2023) dan model berbasis komunitas (Kurniawan et al., 2021), namun penerapannya masih bersifat manual dan belum terintegrasi dengan teknologi digital.

Pada konteks konservasi *heritage*, sejumlah penelitian menekankan pentingnya menjaga estetika kawasan dan keberlanjutan aktivitas wisata (Sugangga et al., 2021; Montacchini et al., 2024), tetapi belum menghubungkannya dengan sistem pengelolaan sampah yang berbasis data, prediktif, dan partisipatif. Di tingkat lokal, penelitian tentang Situs Kota Lama Semarang sebagian besar masih deskriptif, seperti pemetaan visual pasca revitalisasi (Sugangga et al., 2021) dan studi kondisi eksisting persampahan (Milasari et al., 2025), tanpa menghasilkan model integratif yang siap diuji secara teknis maupun sosial.

Kesenjangan tersebut menunjukkan bahwa belum ada penelitian yang mengembangkan model pengelolaan sampah yang secara simultan: (1) digital–prediktif, (2) partisipatif–sosial, (3) adaptif–kelembagaan, dan (4) selaras dengan konservasi *heritage*. Di sinilah letak orisinalitas penelitian disertasi ini. Penelitian ini menawarkan *novelty* yang dapat diuraikan dalam empat dimensi utama.

Pertama, penelitian ini mengintegrasikan tiga teknologi prediktif dan operasional secara bersamaan: *Convolutional Neural Network* (CNN), *Random Forest Regression* (RFR), dan *Vehicle Routing Problem* (VRP) ke dalam sistem pengelolaan sampah di kawasan *heritage* tropis. Integrasi teknologi ini, meskipun terbukti efektif di kota modern, belum pernah diterapkan pada kawasan bersejarah

yang memiliki sensitivitas spasial dan visual seperti Situs Kota Lama Semarang (Ahmed et al., 2023; Rossitto et al., 2022).

Kedua, penelitian ini memperkenalkan mekanisme partisipasi publik berbasis digital, melalui kanal pelaporan daring (WhatsApp Chatbot) yang melibatkan tiga komponen publik: warga, pelaku usaha, dan wisatawan (Siwawa, 2025). Pendekatan ini memperluas model partisipasi konvensional (Arnstein, 1969; Dong et al., 2023) dan menempatkan publik sebagai bagian integral dari sistem deteksi, pelaporan, dan validasi kondisi tempat sampah.

Ketiga, penelitian ini menautkan pengelolaan sampah dengan pelestarian *heritage*, dengan merancang infrastruktur persampahan dan sensor digital yang ramah estetika kawasan. Pendekatan ini menambahkan dimensi kultural yang selama ini absen dalam studi teknologi lingkungan, sehingga menghasilkan model yang tidak hanya efisien secara teknis tetapi juga melindungi integritas visual dan nilai sejarah (Montacchini et al., 2024; Farouk Hassan et al., 2022).

Keempat, penelitian ini menyusun kelembagaan adaptif melalui rancangan SOP persampahan khusus *heritage* dan skema kolaborasi lintas instansi (DLH, BPSKL, Dinas Kebudayaan dan Pariwisata). Pendekatan ini melengkapi solusi teknis dengan tata kelola yang dapat diimplementasikan langsung, sekaligus menjawab problem fragmentasi kelembagaan yang diidentifikasi pada penelitian sebelumnya (Sari et al., 2019).

Selain itu, penelitian ini menambahkan novelty dalam hal evaluasi keberlanjutan, dengan memasukkan analisis emisi CO_{2e} berbasis metode IPCC serta analisis RAP-FISH untuk menilai keberlanjutan multidimensi sistem

persampahan, dua hal yang belum pernah dilakukan pada penelitian persampahan di kawasan *heritage* Indonesia.

Secara keseluruhan, kontribusi ilmiah penelitian ini terletak pada pengembangan Model Pengelolaan Sampah Berkelanjutan Berbasis Partisipasi Publik dan Teknologi Digital pada Situs Kota Lama Semarang, yang mengintegrasikan dimensi teknis, sosial, regulatif, kelembagaan, dan kultural dalam satu sistem adaptif. Model ini divalidasi melalui simulasi multi-skenario dan dirancang bersifat modular sehingga dapat direplikasi di kawasan *heritage* lain seperti Kota Tua Jakarta, Kotagede Yogyakarta, atau Lasem.

Ringkasan komparasi penelitian terdahulu dengan kontribusi baru penelitian ini disajikan dalam Tabel 1 sebagai bukti sistematis novelty disertasi ini.

Tabel 1. Matriks Orisinalitas Penelitian

No	Konsep Utama	Fokus dalam Literatur	Keterbatasan Teoretis yang Ada	Posisi & Orisinalitas Penelitian Ini	Referensi
1	Sistem Sosial–Ekologis (SES)	Integrasi biofisik–sosial dalam sistem lingkungan	Belum spesifik pada persampahan kawasan <i>heritage</i>	Penerapan SES untuk memodelkan tekanan lingkungan–respon sistem persampahan di kawasan <i>heritage</i> aktif wisata	Odum (1983); Berkes & Folke (1998); Ostrom (2009)
2	ISWM	Kerangka integratif pengelolaan sampah (teknis–sosial–ekonomi–kelembagaan)	Dominan untuk kota reguler	Adaptasi ISWM pada kawasan <i>heritage</i> dengan pembatasan spasial–visual	Memon (2012); Asefi & Lim (2017)
3	Pengelolaan Sampah Berkelanjutan	Sistem pengelolaan sampah untuk mencegah dampak kesehatan/lingkungan	Definisi & tujuan berkelanjutan	Penguatan konsep “tekanan lingkungan” dan keberlanjutan	Pongrácz et al. (2004); Seadon (2010)

No	Konsep Utama	Fokus dalam Literatur	Keterbatasan Teoretis yang Ada	Posisi & Orisinalitas Penelitian Ini	Referensi
4	Keterbatasan ISWM & kebutuhan pengayaan	Faktor kritis/barrier dalam pengelolaan sampah terintegrasi	sering belum kontekstual Belum memasukkan karakter khusus kawasan sensitif (<i>heritage</i>)	dalam konteks <i>heritage</i> Merumuskan pengayaan ISWM untuk kawasan khusus berbasis pembatasan <i>heritage</i>	Batista et al. (2021)
5	Tangible <i>Heritage</i> Conservation	Keaslian dan integritas pelestarian kawasan	Sampah belum diposisikan sebagai instrumen konservasi	Reposisi pengelolaan sampah sebagai bagian strategi konservasi kawasan	Lee & Yen (2016); Haselberger & Krist (2022)
6	Tekanan iklim pada <i>heritage</i>	Risiko iklim sebagai faktor kebijakan pelestarian	Belum ditautkan dengan sistem persampahan kawasan	Mengaitkan pengelolaan sampah (terutama organik/transport) dengan adaptasi-mitigasi kawasan <i>heritage</i>	Dastgerdi et al. (2019); Xiao et al. (2024)
7	Partisipasi Publik	Tingkatan partisipasi dan legitimasi keputusan	Model konvensional cenderung residen-sentris	Model partisipasi multi-aktor (residen-usaha-wisatawan) sebagai sumber data & kontrol sosial	Arnstein (1969); Nabatchi & Leighninger (2015)
8	CBWM	Peran komunitas dalam manajemen sampah	Banyak studi manual dan terbatas integrasi sistem	Integrasi CBWM dengan sistem digital pelaporan-umpan balik	Parizeau et al. (2006); Ahmadi et al. (2013)
9	Social Value Theory	Nilai sosial sebagai determinan perilaku	Belum banyak diuji pada perilaku persampahan <i>heritage</i>	Uji empiris nilai sosial → perilaku kelola sampah pada konteks kawasan <i>heritage</i>	Tsirogianni & Gaskell (2011); Schwartz (2012)

No	Konsep Utama	Fokus dalam Literatur	Keterbatasan Teoretis yang Ada	Posisi & Orisinalitas Penelitian Ini	Referensi
10	Smart City – Smart Environment	Lingkungan cerdas untuk keberlanjutan kota	Kurang sensitif pada konteks kawasan <i>heritage</i>	Smart environment sebagai instrumen lingkungan sekaligus pelestarian visual	Cengiz & Boz (2020); Mete (2023)
11	AI dalam pengelolaan sampah (sebagai instrumen lingkungan)	AI/Industry 4.0 untuk optimasi sistem sumber daya	Sering diposisikan “teknis”	Penempatan AI sebagai instrumen pengurangan tekanan lingkungan (bukan sekadar efisiensi)	Afshari et al. (2024)
12	VRP / optimasi logistik	VRP sebagai dasar optimasi distribusi/logistik	Banyak pendekatan single-objective	VRP dimaknai multi-outcome: efisiensi–emisi–keterbatasan <i>heritage</i>	Santillán et al. (2012); Asghari & Mirzapour (2020)
13	Mitigasi iklim sektor persampahan	Arah komitmen mitigasi & peran sektor sampah	Banyak kajian skala makro	Analisis kontribusi persampahan pada penurunan CO ₂ e di mikro-kawasan <i>heritage</i>	Powell et al. (2018); Wilson et al. (2024); Chen et al. (2024)
14	Environmental Governance	Aturan, aktor, koordinasi, evaluasi kinerja	Belum operasional pada persampahan <i>heritage</i> di tingkat kawasan	Penguatan tata kelola lintas aktor + indikator kinerja lingkungan pada kawasan <i>heritage</i>	Bennett & Satterfield (2018); DeLoyde & Mabee (2019); Paavola (2023)
15	Model keberlanjutan (lingkungan–sosial–ekonomi)	Integrasi dimensi keberlanjutan dan kerangka evaluasi	Sering konseptual, belum menjadi alat evaluasi sistem	RAP-FISH/RAP-WASTE sebagai evaluasi keberlanjutan multidimensi sistem	Islam (2005); Terra dos Santos et al. (2023); Smidt et al. (2022)

No	Konsep Utama	Fokus dalam Literatur	Keterbatasan Teoretis yang Ada	Posisi & Orisinalitas Penelitian Ini	Referensi
16	Sintesis teoretis & posisi penelitian	Integrasi lintas teori untuk menjawab gap	persampahan kawasan Literatur masih terfragmentasi antar-disiplin	persampahan <i>heritage</i> Sintesis SES–ISWM– <i>heritage</i> –partisipasi–digital–iklim menjadi model adaptif	Wang et al. (2025)
17	Penelitian ini	Merumuskan model pengelolaan sampah berkelanjutan Situs Kota Lama Semarang	Model integratif sosial–teknologi–lingkungan– <i>heritage</i>	Model Pengelolaan Sampah Berkelanjutan Berbasis Partisipasi Publik dan Teknologi Digital untuk Situs <i>Heritage</i>	

Sumber: Sintesis literatur, diolah peneliti (2024)

1.4 Tujuan Penelitian

Secara umum, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan Model Pengelolaan Sampah Berkelanjutan berbasis Partisipasi Publik dan Teknologi Digital yang selaras dengan karakteristik spasial, sosial, dan kultural Situs Kota Lama Semarang sebagai kawasan cagar budaya. Model ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi teknis pengelolaan sampah, memperkuat peran publik, serta mendukung konservasi lingkungan dan pelestarian *heritage*.

Untuk mencapai tujuan umum tersebut, penelitian ini memiliki lima tujuan khusus, yaitu:

1. Menganalisis kondisi eksisting sistem pengelolaan sampah di Situs Kota Lama Semarang yang mencakup aspek teknis-operasional, kelembagaan,

regulasi, finansial, dan partisipasi publik, serta implikasinya terhadap pelestarian *heritage* kawasan.

2. Mengidentifikasi dan menganalisis teknologi digital prediktif yang relevan, termasuk *Convolutional Neural Network* (CNN), *Random Forest Regression* (RFR), analisis GIS, dan *Vehicle Routing Problem* (VRP) yang dapat diintegrasikan dalam sistem pengelolaan sampah pada situs *heritage*.
3. Mengkaji bentuk dan efektivitas partisipasi publik dari tiga kelompok utama (warga, pelaku usaha, dan wisatawan) dalam mendukung pengelolaan sampah digital, termasuk kemampuan pelaporan, tingkat kepedulian, serta kesiapan beradaptasi dengan teknologi.
4. Menyusun rancangan model integratif pengelolaan sampah yang memadukan teknologi digital, partisipasi publik, dan penguatan kelembagaan, dengan mempertimbangkan prinsip pelestarian *heritage* dan keberlanjutan lingkungan.
5. Melakukan evaluasi keberlanjutan dan kinerja model pengelolaan sampah, yang meliputi analisis keberlanjutan, analisis efisiensi teknis sistem persampahan, estimasi emisi CO_{2e}, serta penilaian peningkatan kualitas partisipasi publik, guna menilai kontribusi model terhadap konservasi Situs Kota Lama Semarang dan pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs 11, 12, dan 13).

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi baik secara teoretis maupun praktis bagi pengembangan ilmu dan perumusan kebijakan pengelolaan sampah di kawasan cagar budaya.

A. Manfaat Teoretis

Penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah bagi pengembangan kajian ilmu lingkungan dan pengelolaan kawasan *heritage* melalui:

1. Pemajuan konsep *Integrated Solid Waste Management* (ISWM) dengan memasukkan dimensi pelestarian cagar budaya, sehingga menghasilkan pendekatan *ISWM–Heritage* yang lebih sesuai untuk kawasan bernilai historis dan visual.
2. Integrasi kecerdasan buatan (AI) dalam *Community-Based Waste Management* (CBWM) melalui penerapan CNN untuk klasifikasi citra, *Random Forest* untuk prediksi timbulan, dan VRP untuk optimasi rute, sehingga memperluas model teoretis pengelolaan sampah berbasis teknologi dan partisipasi publik.
3. Penguatan kerangka *Smart City* dalam konteks kawasan *heritage*, khususnya bagaimana sistem digital (IoT, dashboard, prediksi spasial) dapat diterapkan tanpa mengurangi nilai historis dan estetika kawasan.
4. Kontribusi bagi teori *Urban Ecology*, dengan menunjukkan keterkaitan antara tekanan lingkungan, dinamika sosial, dan keberlanjutan pelestarian situs cagar budaya melalui sistem pengelolaan sampah yang adaptif.

B. Manfaat Praktis

Secara praktis, penelitian ini memberikan manfaat bagi pemerintah daerah, pengelola kawasan, dan masyarakat melalui:

1. Rekomendasi kebijakan kepada Dinas Lingkungan Hidup (DLH) dan Balai Pelestarian Situs Keberlanjutan Lingkungan (BPSKL) mengenai standar pengelolaan sampah yang sesuai untuk kawasan *heritage*, termasuk aspek teknis, kelembagaan, penganggaran, dan pemantauan.
2. Pengembangan SOP pengelolaan sampah kawasan *heritage*, yang mengatur penempatan TS, frekuensi pengangkutan, mekanisme pelaporan digital, serta integrasi kerja antara DLH, BPK2L, komunitas, dan pelaku usaha.
3. Pengembangan prototipe dashboard partisipatif, yang digunakan untuk memantau kondisi sampah secara *real-time*, menerima laporan masyarakat dan wisatawan, serta mendukung pengambilan keputusan berbasis data.
4. Dukungan terhadap upaya reduksi emisi karbon (CO₂e) melalui optimasi rute pengangkutan, pengurangan *overflow*, dan pemanfaatan prediksi timbulan, sehingga meningkatkan efisiensi dan menurunkan beban lingkungan kawasan.
5. Model pengelolaan yang dapat direplikasi pada kawasan cagar budaya lain di Indonesia, terutama kota pusaka dengan karakteristik spasial dan tekanan wisata serupa.