



Optimasi Sistem Pengelolaan Sampah Terintegrasi Berbasis Lean Waste Management untuk Peningkatan Efisiensi dan Keberlanjutan Lingkungan di Kota Kudus

Sam'ani Intakorisi^{1*}, Kukuh Mukti Wibowo², Nunung Agus Firmansyah³, Anny Rosiana Masithoh⁴, Tuti Nadhifah⁵

¹⁻³Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Kudus, Kudus, Indonesia

⁴Program Studi Keperawatan, Universitas Muhammadiyah Kudus, Kudus, Indonesia

⁵Ekonomi Syariah, Universitas Muhammadiyah Kudus, Kudus, Indonesia

Email: samani@umkudus.ac.id¹, kukuhmukti@umkudus.ac.id², nunungagus@umkudus.ac.id³, annyrosiana@umkudus.ac.id⁴, tutinadhifah@umkudus.ac.id⁵

Alamat: Jl. Ganesha Raya No.I, Purwosari, Kec. Kota Kudus, Kabupaten Kudus, Jawa Tengah 59316

*Korespondensi penulis: samani@umkudus.ac.id

Abstract. Waste management problems in Kudus City show high complexity, marked by an increase in the volume of daily waste generation that is not balanced by an adequate handling system. This study aims to optimize the waste management system in an integrated manner with an industrial engineering approach, especially through the application of the Lean Waste Management concept, redesigning facilities and logistics, and strengthening community participation based on Human-Centered Design (HCD). A qualitative method with a case study approach was used, with data triangulation techniques in the form of in-depth interviews, direct observation, and document analysis. The results of the study showed that 75% of households did not sort their waste, only 2 out of 6 TPSTs were active, and the TPA capacity had exceeded its limit since 2022. The efficiency of the transportation system is also low due to suboptimal routes and frequencies. This study offers solutions based on technology integration, facility redesign, logistics optimization, and community empowerment. With a systemic approach based on industrial engineering, an efficient and sustainable waste management model can be applied, not only in Kudus, but also in other areas with similar challenges.

Keywords: Waste Management, Industrial Engineering, Lean Management, Community Participation,

Abstrak. Permasalahan pengelolaan sampah di Kota Kudus menunjukkan kompleksitas yang tinggi, ditandai oleh peningkatan volume timbulan sampah harian yang tidak diimbangi dengan sistem penanganan yang memadai. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan sistem pengelolaan sampah secara terintegrasi dengan pendekatan teknik industri, khususnya melalui penerapan konsep Lean Waste Management, perancangan ulang fasilitas dan logistik, serta penguatan partisipasi masyarakat berbasis Human-Centered Design (HCD). Metode kualitatif dengan pendekatan studi kasus digunakan, dengan teknik triangulasi data berupa wawancara mendalam, observasi langsung, dan analisis dokumen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 75% rumah tangga tidak memilah sampah, hanya 2 dari 6 TPST yang aktif, dan kapasitas TPA telah melampaui batas sejak 2022. Efisiensi sistem pengangkutan juga rendah akibat rute dan frekuensi yang tidak optimal. Penelitian ini menawarkan solusi berbasis integrasi teknologi, desain ulang fasilitas, optimalisasi logistik, serta pemberdayaan komunitas. Dengan pendekatan sistemik berbasis teknik industri, model pengelolaan sampah yang efisien dan berkelanjutan dapat diterapkan, tidak hanya di Kudus, tetapi juga di daerah lain dengan tantangan serupa.

Kata kunci: Pengelolaan Sampah, Teknik Industri, Lean Management, Partisipasi Masyarakat.

1. LATAR BELAKANG

Sampah telah menjadi salah satu permasalahan lingkungan terbesar di kota-kota Indonesia, termasuk Kota Kudus, yang saat ini mengalami peningkatan volume sampah yang signifikan. Data dari Dinas Lingkungan Hidup menunjukkan bahwa produksi sampah harian di Kudus mencapai lebih dari 120 ton per hari (pemerintah daerah kudus, 2016), sementara kapasitas Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) dan sistem pengelolaan eksisting tidak mampu

mengakomodasi seluruh volume tersebut secara efektif. Sampah yang tidak tertangani secara baik menyebabkan pencemaran lingkungan, menurunnya kualitas kesehatan masyarakat, serta memperburuk estetika kota (Sutisna, 2024).

Permasalahan ini diperparah oleh kurangnya sistem pengelolaan sampah yang terintegrasi dari hulu ke hilir, mulai dari pengurangan sampah di sumber, pemilahan, pengumpulan, pengangkutan, pemrosesan, hingga pemanfaatan ulang atau pembuangan akhir (Harfadli et al., 2025). Praktik pengelolaan sampah yang masih bersifat manual dan parsial menyebabkan terjadinya ketidakefisienan dalam operasional, pemborosan sumber daya, dan tingginya biaya operasional.

Pengelolaan sampah di Kota Kudus menghadapi serangkaian tantangan multifaset yang secara fundamental memengaruhi efisiensi operasional dan keberlanjutan ekologis wilayah. Dengan estimasi volume sampah harian berkisar antara 150 hingga 200 ton (Kusumaningrum et al., 2023), kota ini dihadapkan pada kebutuhan mendesak akan kapasitas penanganan yang substansial dan konsisten. Kegagalan dalam mengelola volume ini secara efektif dapat bermanifestasi dalam bentuk akumulasi sampah yang ekstensif di berbagai lokasi publik, memicu degradasi estetika kota, emisi bau tidak sedap, serta peningkatan risiko proliferasi vektor penyakit (Mohammad et al., 2025). Proyeksi pertumbuhan populasi dan ekspansi aktivitas ekonomi di Kudus mengindikasikan bahwa volume sampah akan terus meningkat, memberikan tekanan yang kian signifikan pada infrastruktur dan sistem pengelolaan yang telah tersedia.

Tabel 1. Data pengelolaan sampah dikudus

No	Kecamatan	Volume sampah harian (m kubik / hari)			
		timbunan	3R	terangkut ke TPA	Insenerator / dibakar
1	Kaliwungu	28,1	7,4	20,8	-
2	Kota Kudus	313,6	52,9	260,8	-
3	Jati	156,3	26,5	115	14,8
4	Undaan	9,0	2,0	7	-
5	Mejobo	19,6	5,0	14,6	-
6	Jekulo	44,6	10,7	33,9	-
7	Bae	45,5	10,6	34,9	-
8	Gebog	10,2	2,3	7,9	-
9	Dawe	9,4	3,0	6,4	-
	Jumlah	636,3	120,2	501,2	14,8

Dalam konteks komposisi sampah, dominasi fraksi organik yang mencapai sekitar 50-60% merepresentasikan potensi signifikan yang belum sepenuhnya dimanfaatkan. Sampah organik, pada dasarnya, memiliki nilai tinggi untuk dikonversi menjadi kompos, yang dapat mendukung sektor pertanian lokal, atau sebagai substrat untuk produksi energi melalui fasilitas biogas (Santos et al., 2020). Akan tetapi, tanpa sistem pemilahan yang efektif di sumber, fraksi organik ini cenderung bercampur dengan jenis sampah lain, mereduksi nilai daur ulang keseluruhan dan secara ekssesif meningkatkan beban Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Di sisi lain, proporsi sampah plastik yang cukup substansial (sekitar 15-20%) menimbulkan tantangan serius. Plastik merupakan material non-biodegradabel yang mampu bertahan di lingkungan selama berabad-abad, menyebabkan kontaminasi tanah, air, dan bahkan sistem akuatik global, serta mengancam keanekaragaman hayati apabila tidak dikelola secara adekuat melalui proses daur ulang atau pengolahan termal yang tepat (Asmarawati & Wibowo, 2024).

Tingkat pengumpulan sampah, yang diperkirakan hanya mencapai 60-70%, mengindikasikan adanya kesenjangan yang signifikan dalam cakupan layanan. Hal ini menyiratkan bahwa sekitar 30-40% sampah domestik tidak terintegrasi ke dalam sistem pengangkutan resmi, mendorong praktik pembuangan ilegal di badan air, lahan kosong, atau pembakaran terbuka. Praktik-praktik semacam ini tidak hanya merusak lanskap urban dan berkontribusi pada polusi udara, tetapi juga menimbulkan ancaman kesehatan yang serius bagi komunitas sekitar (Ahmed et al., 2024). Rendahnya tingkat pengumpulan seringkali diatributkan pada keterbatasan aksesibilitas ke area permukiman padat, insufisiensi armada pengangkut, atau optimalisasi rute pengumpulan yang belum efisien (pemerintah daerah kodus, 2016).

Mengenai fasilitas pengelolaan, Kota Kudus saat ini mengoperasikan satu TPA utama, misalnya TPA Tanjungrejo, didukung oleh beberapa Tempat Pengolahan Sampah (TPS) serta sejumlah bank sampah yang tersebar. Namun, operasional TPA acapkali melampaui kapasitas idealnya, dengan penerapan metode open dumping atau controlled landfill yang belum sepenuhnya memenuhi standar sanitary landfill (Wachid & Laksamana Caesar, 2020). Konsekuensi dari hal ini meliputi emisi gas metana (gas rumah kaca yang poten), produksi lindi (cairan pekat) yang mencemari tanah dan air, serta penyebaran bau busuk yang mengganggu kualitas hidup penduduk sekitar. Sebaliknya, banyak TPS berfungsi lebih sebagai titik transfer atau penampungan sementara ketimbang sebagai fasilitas pengolahan awal yang efektif, sehingga potensi reduksi sampah di tingkat lokal tidak terealisasi secara maksimal (Kusumaningrum et al., 2023).

Meskipun regulasi dan kebijakan terkait pengelolaan sampah telah diformulasikan dalam bentuk Peraturan Daerah atau instrumen kebijakan lokal lainnya, implementasi dan penegakannya seringkali cenderung lemah (Findasari et al., 2022). Kurangnya penegakan hukum yang tegas dan sanksi yang jelas mengurangi efek deterensi dan dukungan substantif terhadap praktik pengelolaan sampah yang bertanggung jawab, baik dari individu maupun entitas bisnis (Nur & Oktiawan, 2023). Oleh karena itu, diperlukan kerangka hukum yang lebih terintegrasi dan mekanisme pengawasan yang efektif untuk memastikan kepatuhan.

Teknik Industri sebagai disiplin ilmu yang berfokus pada peningkatan efisiensi sistem kerja, optimasi proses, dan integrasi teknologi dapat memberikan solusi yang signifikan terhadap masalah ini (Fraccascia et al., 2021). Pendekatan teknik industri seperti Lean Waste Management, Total Productive Maintenance (TPM), Supply Chain Optimization, hingga perancangan sistem berbasis teknologi informasi seperti Internet of Things (IoT) dan sistem informasi geografis (GIS) dapat diterapkan untuk menciptakan sistem pengelolaan sampah yang lebih cerdas dan efisien (Moreno-Mondéjar et al., 2021).

Teori Integrated Waste Management (IWM) mengedepankan pentingnya pendekatan sistemik yang mempertimbangkan seluruh rantai pengelolaan sampah secara terkoordinasi (Panchal et al., 2021). IWM juga menekankan pentingnya pemanfaatan kembali (reuse), pengurangan (reduce), dan daur ulang (recycle)—konsep 3R—dalam membangun keberlanjutan. Sementara itu, pendekatan ergonomi dalam teknik industri juga dapat digunakan untuk meningkatkan efektivitas kerja tenaga pengelola sampah serta keselamatan kerja.

Sebagian besar penelitian terdahulu mengenai pengelolaan sampah masih terfokus pada aspek lingkungan atau teknologi tunggal, seperti biokonversi sampah atau penggunaan aplikasi pelaporan masyarakat. Penelitian-penelitian tersebut belum secara komprehensif mengintegrasikan pendekatan teknik industri sebagai landasan dalam mendesain sistem pengelolaan yang utuh, dari sisi operasional, organisasi, teknologi, hingga sumber daya manusia. Selain itu, studi mengenai optimalisasi sistem pengelolaan sampah di daerah tingkat II seperti Kota Kudus masih sangat terbatas, padahal kota-kota ini menghadapi tantangan operasional yang khas, seperti keterbatasan anggaran dan sumber daya manusia. Penelitian ini secara umum bertujuan untuk merancang sistem pengelolaan sampah terintegrasi yang berbasis pada prinsip-prinsip teknik industri guna meningkatkan efisiensi operasional dan keberlanjutan lingkungan di Kota Kudus. Secara lebih rinci, penelitian ini bertujuan untuk memahami secara menyeluruh berbagai tantangan dan permasalahan yang dihadapi oleh sistem pengelolaan sampah saat ini, baik dari segi teknis, organisasi, maupun perilaku masyarakat. Melalui pendekatan analitis dan sistematis khas teknik industri, penelitian ini berusaha menggali akar

permasalahan yang menyebabkan rendahnya efektivitas proses pengumpulan, pengangkutan, pemrosesan, hingga pembuangan akhir sampah.

Selanjutnya, penelitian ini bertujuan untuk merancang model sistem yang mengintegrasikan seluruh elemen pengelolaan sampah—dari sumber timbulan hingga titik akhir pembuangan atau pemanfaatan kembali—dengan memanfaatkan perangkat analisis teknik industri seperti pemetaan aliran proses (*process mapping*), perancangan sistem logistik, dan integrasi teknologi informasi. Dalam prosesnya, penelitian ini juga bermaksud mengembangkan indikator kinerja berbasis data yang dapat digunakan untuk memantau dan mengevaluasi efektivitas sistem secara berkelanjutan. Tujuan akhirnya adalah memberikan kontribusi nyata dalam bentuk model pengelolaan sampah yang efisien, adaptif, dan dapat direplikasi di wilayah lain yang memiliki karakteristik serupa.

Untuk menjawab berbagai permasalahan dalam sistem pengelolaan sampah di Kota Kudus, penelitian ini menawarkan solusi dengan pendekatan yang bersifat sistemik dan terintegrasi. Pendekatan ini dimulai dengan mengidentifikasi titik-titik kritis dalam alur pengelolaan sampah, seperti inefisiensi pada rute pengangkutan, ketidaksesuaian kapasitas fasilitas, serta rendahnya tingkat pemilahan di sumber (Asmarawati & Wibowo, 2024). Solusi yang ditawarkan tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga mencakup aspek organisasi dan sosial.

Salah satu solusi utama adalah penerapan prinsip-prinsip *lean* dalam manajemen pengelolaan sampah, seperti eliminasi pemborosan waktu, tenaga, dan sumber daya. Pendekatan ini dilakukan melalui pemetaan aliran nilai (*value stream mapping*) untuk menemukan aktivitas non-produktif dan merancang ulang proses agar lebih ramping. Di sisi lain, perbaikan sistem logistik pengumpulan dan pengangkutan dilakukan dengan menggunakan bantuan teknologi seperti sistem informasi geografis (GIS) dan pelacakan berbasis sensor untuk menentukan rute optimal dan efisien.

2. KAJIAN TEORITIS

Konsep Dasar Pengelolaan Sampah Terintegrasi

Pengelolaan sampah terintegrasi atau *Integrated Waste Management (IWM)* merupakan pendekatan sistemik dalam menangani sampah yang mencakup seluruh tahapan dari hulu ke hilir—mulai dari pengurangan di sumber (*source reduction*), pemilahan (*segregation*), pengumpulan (*collection*), pengangkutan (*transportation*), pengolahan (*treatment*), hingga pembuangan akhir (*disposal*) dan pemanfaatan kembali (*recovery/recycling*). IWM menekankan pentingnya kolaborasi antar aktor dan optimalisasi sumber daya guna mencapai efisiensi, keberlanjutan, dan minimalisasi dampak lingkungan (Fauzi et al., 2024).

Pendekatan IWM menempatkan prinsip *3R—Reduce, Reuse, Recycle*—sebagai strategi utama dalam meminimalkan beban sampah ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) (Sutisna, 2024). Konsep ini tidak hanya berfokus pada teknis pengolahan sampah, tetapi juga pada perubahan perilaku masyarakat, penguatan regulasi, hingga pemanfaatan teknologi. Dalam konteks perkotaan seperti Kota Kudus, penerapan sistem pengelolaan terintegrasi menjadi sangat relevan untuk mengatasi permasalahan volume, distribusi, dan keberlanjutan pengelolaan sampah.

Lean Waste Management

Lean Waste Management merupakan adaptasi dari filosofi *Lean Manufacturing* dalam konteks pengelolaan limbah dan sampah. Fokus utamanya adalah mengidentifikasi dan menghilangkan pemborosan (*waste*) dalam setiap proses—baik waktu, tenaga, ruang, maupun sumber daya—guna mencapai efisiensi maksimal (Salmenperä et al., 2021)

Dalam pengelolaan sampah, pemborosan terjadi dalam berbagai bentuk, seperti:

- **Overproduction:** pengumpulan sampah tanpa mempertimbangkan kapasitas pengolahan.
- **Waiting:** waktu tunggu armada di TPS karena jadwal yang tidak efisien.
- **Transportation:** pengangkutan sampah yang tidak optimal rutenya.
- **Overprocessing:** pengolahan manual berulang yang tidak memberikan nilai tambah.
- **Inventory:** tumpukan sampah yang menumpuk akibat sistem yang tidak mengalir.
- **Motion:** perpindahan tenaga kerja yang tidak efisien dalam proses pengolahan.
- **Defects:** kesalahan dalam pemilahan yang menyebabkan kontaminasi bahan daur ulang.

Penerapan *Value Stream Mapping* (VSM) dan *5S* dalam lingkungan TPST/TPS serta optimalisasi rute pengangkutan menggunakan *Vehicle Routing Problem* (VRP) adalah beberapa implementasi nyata Lean dalam sistem pengelolaan sampah (Boostani et al., 2024).

Ergonomi dan Human-Centered Design (HCD)

Aspek ergonomi dalam teknik industri sangat penting dalam desain sistem yang melibatkan interaksi manusia, terutama petugas kebersihan, operator TPST, dan masyarakat umum. Ergonomi bertujuan menciptakan lingkungan kerja yang aman, nyaman, dan produktif (Hapsari, 2023)

Sementara itu, *Human-Centered Design* (HCD) merupakan pendekatan desain yang berfokus pada kebutuhan, persepsi, dan konteks pengguna. HCD mengedepankan proses

iteratif yang meliputi: *empathize*, *define*, *ideate*, *prototype*, dan *test*. Dalam pengelolaan sampah (Fadilla & Kriswibowo, 2022), HCD digunakan untuk:

- Mendesain edukasi dan kampanye pemilahan yang sesuai konteks sosial budaya masyarakat.
- Merancang alat bantu seperti tong pilah, komposter rumah tangga, dan sistem insentif digital (misalnya aplikasi e-wallet sampah).
- Menyesuaikan fasilitas umum dan TPS agar ramah bagi masyarakat, termasuk aksesibilitas dan visualisasi informasi.

Penerapan HCD diyakini dapat meningkatkan partisipasi masyarakat secara signifikan dalam sistem pengelolaan sampah yang berkelanjutan.

Partisipasi Masyarakat dan Model Circular Economy

Salah satu elemen penting dalam sistem pengelolaan sampah yang berkelanjutan adalah keterlibatan aktif masyarakat. Menurut (Lee & Wibowo, 2025) dalam *Theory of Planned Behavior (TPB)*, perilaku masyarakat sangat dipengaruhi oleh sikap terhadap perilaku, norma subjektif, dan kontrol perilaku yang dirasakan. Tanpa pemahaman dan motivasi yang tepat, intervensi struktural tidak akan efektif.

Penerapan *Circular Economy* menjadi paradigma baru dalam pengelolaan sampah yang tidak hanya melihat sampah sebagai limbah, tetapi sebagai sumber daya yang dapat dikembalikan ke siklus ekonomi melalui proses *upcycling*, *reuse*, *repair*, dan *remanufacturing*. Dalam hal ini, keberadaan *bank sampah*, *komunitas daur ulang*, dan *ekonomi informal* sangat penting untuk diberdayakan (Pradini, 2021).

Strategi partisipatif dalam pengelolaan sampah meliputi:

- Penyediaan insentif ekonomi (misalnya, sistem poin, tabungan sampah).
- Edukasi berkelanjutan berbasis komunitas.
- Digitalisasi sistem pelaporan dan penghargaan.
- Pemberdayaan kelompok lokal dan sekolah sebagai agen perubahan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengadopsi pendekatan kualitatif dengan desain studi kasus eksploratif, yang bertujuan untuk menggali pemahaman mendalam mengenai kondisi eksisting dan potensi optimasi sistem pengelolaan sampah terintegrasi di Kota Kudus (Fathy, 2019). Pendekatan kualitatif dipilih karena memungkinkan peneliti untuk menangkap kompleksitas fenomena sosial, persepsi, serta pengalaman para aktor yang terlibat langsung dalam sistem pengelolaan

sampah, yang tidak dapat diukur secara kuantitatif (Sugiyono, 2017). Kota Kudus ditetapkan sebagai fokus studi kasus karena relevansi isu pengelolaan sampah yang spesifik dan kebutuhan akan solusi yang kontekstual.

Seluruh data yang terkumpul kemudian diorganisasikan dan dianalisis menggunakan metode analisis tematik. Proses analisis dimulai dengan transkripsi seluruh rekaman wawancara dan penyusunan catatan observasi (Hidayat & Nizar, 2021). Selanjutnya, peneliti melakukan koding terbuka untuk mengidentifikasi konsep dan kategori awal dari data. Konsep-konsep ini kemudian dikelompokkan menjadi tema-tema yang lebih besar, yang merepresentasikan pola, isu, dan temuan kunci terkait optimasi sistem pengelolaan sampah. Validitas temuan diperkuat melalui proses triangulasi data, di mana informasi dari wawancara, observasi, dan dokumen saling divalidasi dan dibandingkan untuk memastikan konsistensi dan kredibilitas.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kota Kudus dengan tujuan mengidentifikasi permasalahan, potensi, dan solusi dalam sistem pengelolaan sampah berbasis prinsip *integrated waste management* (IWM). Wawancara dilakukan terhadap pihak Dinas Lingkungan Hidup (DLH), pengelola bank sampah, pelaku industri kecil, tokoh masyarakat, dan warga dari tiga kecamatan: Kota, Jati, dan Bae.

Kota Kudus sebagai salah satu kota yang mengalami pertumbuhan penduduk dan aktivitas industri yang pesat, menghadapi tantangan besar dalam pengelolaan sampah. Berdasarkan data dari Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kabupaten Kudus, volume timbulan sampah harian mencapai rata-rata 142 ton per hari, dengan dominasi sampah rumah tangga sebesar 65%, sampah pasar tradisional sebesar 20%, dan sisanya berasal dari perkantoran, sekolah, serta kegiatan komersial.

Sistem pengelolaan yang diterapkan selama ini masih bersifat konvensional, didominasi oleh proses pengumpulan dan pengangkutan ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Tanjungrejo. Namun demikian, kapasitas TPA tersebut dinyatakan telah melampaui batas daya tampung sejak tahun 2022. Hal ini menyebabkan terjadinya penumpukan sampah di Tempat Penampungan Sementara (TPS), pencemaran bau, dan potensi dampak kesehatan di beberapa area padat penduduk.

Hasil observasi lapangan dan wawancara mendalam terhadap 30 narasumber yang meliputi petugas DLH, pengelola TPS dan TPST, pemilik bank sampah, serta masyarakat dari

tiga kecamatan (Kota, Jati, dan Bae), menunjukkan bahwa sistem yang berjalan saat ini belum sepenuhnya menerapkan prinsip **waste management terintegrasi** yang holistik.

Tabel 2. Data temuan pengelolaan sampah

Aspek	Temuan Lapangan	Sumber Data
Pengurangan Sampah dari Sumber	Rendahnya kesadaran warga memilah sampah di rumah; 75% responden tidak memilah sampah organik dan anorganik.	Wawancara warga, observasi lapangan
Pengumpulan & Pengangkutan	Sistem pengangkutan tidak efisien (frekuensi hanya 3x/minggu); armada terbatas dan rute tidak optimal.	DLH Kudus, pengemudi truk sampah
Pengolahan Sampah	Fasilitas TPST terbatas, hanya 2 dari 6 TPST aktif; teknologi pengolahan masih manual.	Data DLH & observasi langsung
Pemanfaatan Kembali / Daur Ulang	Bank sampah aktif hanya 20 unit dari 47 unit terdaftar; partisipasi warga hanya 15% dari total KK.	Koordinator Bank Sampah
Pembuangan Akhir	TPA Tanjungrejo overcapacity sejak 2022; rata-rata 142 ton/hari sampah masuk, kapasitas hanya 120 ton/hari.	Data dokumen DLH

Data hasil penelitian menunjukkan bahwa 75% warga tidak melakukan pemilahan sampah dari sumbernya, baik antara organik dan anorganik maupun antara yang bisa dan tidak bisa didaur ulang. Ini adalah indikator awal yang sangat penting dalam analisis sistem, karena dalam sistem waste management modern, reduksi dari sumber adalah elemen kunci dalam meminimalkan beban sistem secara keseluruhan.

Secara sistemik, kegagalan pada tahap ini akan berimbas pada seluruh rantai pengelolaan sampah. Sampah yang tidak terpilah menyebabkan kontaminasi silang, menurunkan kualitas bahan daur ulang, dan mempersulit proses pengolahan lanjutan di TPST. Dalam pembahasan, data ini mendasari argumen tentang perlunya edukasi berbasis HCD dan perancangan sistem insentif pada tingkat rumah tangga.

Data dari DLH menunjukkan bahwa frekuensi pengangkutan hanya 3 kali dalam seminggu, dengan armada yang terbatas dan rute yang tidak dioptimalkan. Informasi ini menunjukkan adanya potensi besar untuk efisiensi logistik. Berdasarkan pendekatan teknik industri, ini terkait erat dengan Vehicle Routing Problem (VRP).

Dalam pembahasan, data ini digunakan untuk menekankan bahwa sistem transportasi saat ini beroperasi secara tidak efisien: pengangkutan dilakukan dengan jadwal tetap, tanpa memperhitungkan volume sampah, kapasitas kendaraan, atau jarak tempuh. Hal ini menyebabkan biaya tinggi, emisi kendaraan meningkat, serta TPS yang sering penuh sebelum

waktu pengangkutan berikutnya. Oleh karena itu, pembahasan menyarankan digitalisasi logistik pengangkutan sampah dan penerapan algoritma VRP.

Data menyebutkan bahwa dari 6 TPST yang terdaftar, hanya 2 yang aktif, dan keduanya menggunakan metode manual dengan fasilitas terbatas. Hal ini mengindikasikan adanya bottleneck besar dalam sistem aliran material. TPS hanya menjadi tempat penumpukan tanpa pemrosesan lanjutan yang memadai.

Dalam kerangka teknik industri, fasilitas ini dapat dikaji dari segi layout, aliran material, dan produktivitas proses. Karena tidak ada material recovery facility (MRF) dan teknologi seperti pencacah atau pengompos otomatis, maka efisiensi sangat rendah dan ketergantungan pada TPA tetap tinggi. Dalam pembahasan, hal ini menjadi dasar usulan perancangan ulang TPST dengan prinsip lean layout dan peralatan tepat guna.

Temuan bahwa hanya 20 dari 47 bank sampah yang aktif, dengan partisipasi warga sekitar 15%, menggambarkan tantangan dalam membangun budaya sirkular di tingkat komunitas. Banyak warga tidak merasa terdorong untuk berpartisipasi karena rendahnya nilai jual sampah dan sistem pencatatan manual yang tidak transparan.

Pembahasan menyoroti hal ini sebagai kesenjangan kelembagaan dan sosial. Dalam pendekatan HCD, ini bisa dikaji sebagai kegagalan memahami persepsi pengguna terhadap manfaat langsung dari aktivitas pengelolaan sampah. Maka, disarankan integrasi bank sampah ke dalam sistem insentif digital, seperti e-wallet sampah, sistem poin, atau aplikasi berbasis komunitas.

Data mencatat bahwa TPA menerima 142 ton per hari, padahal kapasitas hanya 120 ton/hari. Artinya, ada kelebihan volume 22 ton/hari, yang dalam satu bulan bisa menumpuk hingga hampir 660 ton sampah. Hal ini menjadi titik krusial dalam pembahasan mengenai sustainability dan risiko ekologis.

Karena TPA menggunakan sistem open dumping, maka seluruh sistem berujung pada praktik yang tidak ramah lingkungan. Pembahasan mengaitkan hal ini dengan perlunya memperkuat tahap-tahap hulu (reduksi dan pengolahan) agar tekanan terhadap TPA dapat dikurangi. Selain itu, sistem landfill modern dan manajemen lindi (leachate management) menjadi bagian dari usulan perbaikan infrastruktur.

Pembahasan

- **Analisis Sistemik Permasalahan Pengelolaan Sampah di Kota Kudus**

Pengelolaan sampah merupakan salah satu tantangan krusial dalam pembangunan berkelanjutan di kota-kota berkembang, termasuk Kota Kudus. Data menunjukkan bahwa volume sampah terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi. Berdasarkan data Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kabupaten Kudus, volume timbulan sampah per hari pada tahun 2023 mencapai sekitar 160-180 ton, dengan mayoritas (sekitar 60-70%) merupakan sampah organik, dan sisanya sampah anorganik serta residu. Permasalahan yang terjadi tidak hanya menyangkut aspek teknis semata, melainkan juga berkaitan erat dengan aspek kelembagaan, sosial budaya, kebijakan, dan teknologi yang saling terkait. Melalui pendekatan sistem dalam teknik industri, seluruh komponen pengelolaan sampah harus dilihat sebagai suatu kesatuan yang saling berkaitan dan tidak dapat berdiri sendiri, membentuk sebuah sociotechnical system.

Dalam konteks Kota Kudus, penelitian ini menemukan bahwa sistem pengelolaan sampah yang berjalan masih bersifat linier dan tidak terintegrasi. Hal ini terlihat dari tidak adanya keterkaitan yang kuat antara tahapan pengurangan dari sumber (source reduction), pemilahan (segregation), pengumpulan (collection), pengangkutan (transportation), pengolahan (treatment), dan pemanfaatan kembali (recovery/recycling). Masing-masing tahapan bekerja sendiri-sendiri tanpa adanya sinergi yang dirancang dalam satu sistem terpadu. Sebagai contoh konkret, meskipun terdapat inisiatif dari beberapa rumah tangga atau komunitas untuk melakukan pemilahan sampah secara mandiri (misalnya, memisahkan sampah organik dan anorganik), namun sistem pengumpulan dan pengangkutan sampah yang ada belum mendukung upaya pemilahan tersebut. Sebagian besar armada truk pengangkut sampah masih melakukan pencampuran seluruh jenis sampah di titik pengumpulan, kemudian membawanya langsung ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Tanjungrejo, sehingga upaya masyarakat menjadi sia-sia dan potensi nilai ekonomi dari sampah yang terpilah tidak dapat dimaksimalkan. Kondisi ini diperparah oleh rendahnya tingkat kesadaran masyarakat akan pentingnya pemilahan di sumber, yang diperkirakan masih di bawah 20% berdasarkan survei awal, meskipun ada regulasi daerah yang mengaturnya.

Permasalahan ini diperparah oleh keterbatasan fasilitas dan prasarana yang mendukung proses pengelolaan sampah yang terintegrasi. Tempat Penampungan Sementara (TPS) dan Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) yang ada belum dirancang secara ergonomis dan efisien. Dari puluhan TPS yang tersebar di Kudus, hanya

sebagian kecil (kurang dari 10%) TPST yang aktif dan memiliki fasilitas dasar seperti area pemilahan, gudang penyimpanan sampah terpilah, atau unit pengolahan sederhana seperti komposter atau mesin pencacah. Sementara itu, sebagian besar TPS hanya berfungsi sebagai tempat penumpukan sementara sampah yang tidak terpilah, tanpa proses lanjutan yang berarti, sehingga menyebabkan penumpukan, bau tidak sedap, dan potensi pencemaran lingkungan di area sekitar. Kurangnya standar desain ergonomis juga terlihat dari tata letak TPS yang menyulitkan pekerja dalam memilah atau memuat sampah, yang dapat meningkatkan risiko cedera kerja dan menurunkan produktivitas.

Lebih lanjut, sistem pengangkutan sampah juga belum menerapkan prinsip optimasi. Tidak adanya perhitungan rute dan beban optimal menyebabkan penggunaan sumber daya yang tidak efisien. Studi awal menunjukkan bahwa rata-rata armada pengangkut sampah menempuh jarak sekitar 50-70 km per hari untuk mengangkut sekitar 8-10 ton sampah, padahal kapasitas optimal truk dapat mencapai 12-15 ton. Hal ini seringkali terjadi akibat tidak terkoordinasinya jadwal dan rute pengumpulan, sehingga truk seringkali beroperasi dengan muatan yang tidak penuh atau harus menempuh rute memutar. Kondisi ini menyebabkan peningkatan biaya operasional (bahan bakar, perawatan kendaraan), peningkatan emisi karbon yang berkontribusi pada polusi udara, serta menurunkan kualitas layanan kepada masyarakat karena jadwal pengangkutan yang tidak konsisten atau penundaan pengambilan sampah. Penggunaan metode pengumpulan statis, di mana masyarakat harus membawa sampah ke TPS, juga menambah beban logistik dan mengurangi efisiensi sistem secara keseluruhan.

- **Pendekatan Human-Centered Design dalam Pengelolaan Sampah**

Pendekatan teknik industri tidak hanya menekankan pada aspek teknis dan sistem, tetapi juga pada aspek manusia sebagai pengguna dan pelaku utama sistem. Dalam hal ini, pendekatan Human-Centered Design (HCD) sangat penting diterapkan dalam merancang sistem edukasi dan pelibatan masyarakat yang efektif dan berkelanjutan. HCD menempatkan kebutuhan, keinginan, dan batasan pengguna sebagai pusat dari proses desain.

Salah satu kegagalan fundamental dalam sistem pengelolaan sampah di Kudus adalah rendahnya partisipasi masyarakat dalam program-program yang telah diluncurkan, seperti pemilahan sampah dari sumber. Hal ini terjadi bukan semata-mata karena masyarakat tidak peduli, melainkan seringkali karena desain program yang tidak sesuai dengan kebutuhan, kebiasaan sehari-hari, dan persepsi mereka terhadap sampah. Berdasarkan wawancara dengan warga, banyak yang merasa proses pemilahan terlalu

rumit, tidak ada insentif yang jelas, atau tidak yakin sampahnya akan benar-benar terpilah di tahap selanjutnya. Melalui pendekatan HCD, sistem edukasi dan intervensi dapat dirancang berdasarkan pemahaman mendalam terhadap pengguna, dimulai dari tahap empathize, define, ideate, prototype, dan test.

Misalnya, program pemilahan sampah dapat dirancang dengan visualisasi yang lebih menarik dan mudah dipahami, tidak hanya sekadar teks atau instruksi baku. Ini bisa berupa poster berwarna dengan ikon-ikon sampah yang jelas, video edukatif singkat yang disebarluaskan melalui media sosial, atau bahkan penerapan gamifikasi melalui aplikasi mobile yang memberikan poin atau reward bagi rumah tangga yang aktif memilah sampah. Desain tong sampah pilah juga dapat disesuaikan agar lebih ergonomis dan menarik secara visual, mendorong penggunaan yang benar. Selain itu, pendekatan HCD juga dapat membantu merancang alat bantu sederhana seperti komposter rumah tangga atau keranjang pilah yang sesuai dengan keterbatasan ruang dan waktu luang masyarakat urban. Misalnya, komposter mini yang dapat diletakkan di dapur atau balkon apartemen, atau jadwal pengumpulan sampah organik yang disesuaikan dengan rutinitas harian warga.

HCD juga dapat digunakan untuk memahami hambatan sosial dan budaya yang menyebabkan masyarakat enggan berpartisipasi. Contohnya, persepsi bahwa sampah adalah tanggung jawab pemerintah, kebiasaan membakar sampah, atau kurangnya pengetahuan tentang dampak sampah. Dengan melibatkan masyarakat secara langsung dalam proses perancangan melalui focus group discussion, lokakarya partisipatif, atau survei mendalam, maka sistem yang dihasilkan akan lebih relevan, mudah diterima, dan berkelanjutan. Ini menciptakan rasa kepemilikan dan tanggung jawab bersama, yang esensial untuk keberhasilan program jangka panjang.

- **Simulasi dan Perencanaan Berbasis Sistem**

Salah satu alat yang sangat berguna dalam teknik industri untuk menganalisis dan merancang sistem yang kompleks adalah penggunaan simulasi sistem. Dalam konteks pengelolaan sampah, simulasi dapat digunakan untuk memodelkan berbagai skenario dan melihat dampaknya secara kuantitatif terhadap volume sampah yang dihasilkan, biaya operasional, efisiensi sistem secara keseluruhan, bahkan dampak lingkungan (misalnya, emisi gas rumah kaca).

Model simulasi yang dapat digunakan antara lain adalah System Dynamics dan Discrete Event Simulation. System Dynamics cocok untuk memodelkan sistem dengan umpan balik, keterlambatan, dan hubungan non-linier antar komponen, seperti interaksi antara volume sampah, kapasitas TPA, tingkat partisipasi masyarakat, dan anggaran

operasional. Misalnya, model ini dapat memprediksi kapan TPA akan penuh berdasarkan laju timbulan sampah saat ini dan skenario peningkatan daur ulang. Sementara itu, Discrete Event Simulation lebih tepat untuk memodelkan aliran objek (dalam hal ini, sampah) melalui serangkaian proses atau antrean, seperti aliran sampah dari TPS ke TPST, kemudian ke TPA, atau melalui stasiun transfer. Model ini dapat digunakan untuk mengoptimalkan jumlah armada truk, penempatan lokasi TPS/TPST, atau kapasitas mesin pengolah.

Dengan pendekatan simulasi ini, pemerintah daerah dan DLH dapat menguji berbagai skenario kebijakan dan operasional tanpa harus mengimplementasikannya secara langsung di lapangan, yang berisiko tinggi dan memakan biaya besar. Contoh skenario yang dapat disimulasikan meliputi:

- Penambahan armada pengangkut: Berapa jumlah truk yang optimal untuk melayani seluruh wilayah dengan tingkat efisiensi tertinggi dan biaya terendah?
- Perubahan jadwal pengangkutan: Bagaimana dampak perubahan frekuensi atau jadwal pengumpulan sampah terhadap kepuasan masyarakat dan biaya operasional?
- Peningkatan kapasitas TPST: Berapa kapasitas optimal TPST yang perlu dibangun untuk mengolah sebagian besar sampah organik, dan bagaimana dampaknya terhadap umur TPA?
- Insentif pemilahan: Bagaimana skenario pemberian insentif (misalnya, diskon retribusi) dapat meningkatkan tingkat partisipasi pemilahan sampah oleh masyarakat?
- Investasi teknologi: Membandingkan dampak investasi pada teknologi pengolahan sampah yang berbeda (misalnya, insinerator versus biodigester) terhadap volume residu dan biaya.

Hasil simulasi dapat menjadi dasar pengambilan keputusan yang lebih akurat, berbasis data, dan minim risiko. Dengan visualisasi hasil simulasi (misalnya, grafik tren, peta aliran), para pemangku kepentingan dapat memahami implikasi dari setiap keputusan sebelum implementasi, sehingga alokasi sumber daya dapat lebih efektif dan efisien. Simulasi juga memungkinkan identifikasi potensi masalah dan bottleneck sistem di masa depan, serta merancang strategi mitigasinya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Pengelolaan sampah di Kota Kudus menghadapi permasalahan multidimensi yang saling berkaitan, mulai dari aspek teknis, kelembagaan, sosial, hingga budaya masyarakat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang saat ini diterapkan belum sepenuhnya terintegrasi dan efisien. Beberapa permasalahan utama yang diidentifikasi meliputi rendahnya partisipasi masyarakat dalam pemilahan sampah di sumber, keterbatasan armada dan efisiensi logistik pengangkutan, kapasitas pengolahan sampah yang tidak memadai, serta fasilitas akhir (TPA) yang telah melampaui kapasitas operasionalnya.

Secara khusus, 75% warga diketahui tidak melakukan pemilahan sampah di rumah tangga, menunjukkan lemahnya kesadaran serta kurangnya insentif dan edukasi yang tepat. Hal ini berdampak langsung pada rendahnya kualitas daur ulang dan meningkatnya beban pengolahan di TPST maupun TPA. Di sisi lain, hanya 2 dari 6 TPST yang aktif, dengan teknologi pengolahan yang masih manual. Kondisi ini menimbulkan bottleneck dalam aliran material dan menurunkan efisiensi sistem. Pada sektor pengangkutan, sistem rute yang belum optimal serta jumlah armada yang terbatas menyebabkan tingginya biaya operasional, penumpukan sampah di TPS, serta menurunnya kualitas layanan kebersihan.

TPA Tanjungrejo, yang menjadi lokasi utama pembuangan akhir, saat ini sudah kelebihan kapasitas, menerima rata-rata 142 ton sampah per hari, melebihi batas maksimalnya. Sistem open dumping yang digunakan memperparah dampak ekologis, seperti pencemaran air tanah, emisi gas rumah kaca, serta gangguan kesehatan masyarakat. Hal ini menjadi indikator bahwa pendekatan linier yang hanya fokus pada pengangkutan dan pembuangan sudah tidak relevan dan perlu digantikan dengan pendekatan sistemik berbasis prinsip integrated waste management (IWM).

Melalui pendekatan teknik industri, khususnya Lean Waste Management dan simulasi sistem, penelitian ini menawarkan model pengelolaan yang lebih efisien dan terukur. Optimalisasi logistik dilakukan dengan mempertimbangkan prinsip Vehicle Routing Problem (VRP), sedangkan rancangan ulang fasilitas pengolahan dilakukan dengan prinsip lean layout dan pemilihan teknologi tepat guna. Simulasi sistem berbasis System Dynamics dan Discrete Event Simulation juga diusulkan untuk memproyeksikan dampak dari berbagai kebijakan dan intervensi tanpa risiko nyata di lapangan.

Selain aspek teknis, penelitian ini menekankan pentingnya pendekatan Human-Centered Design (HCD) untuk meningkatkan partisipasi masyarakat. Rancangan edukasi yang kontekstual, visualisasi yang menarik, insentif digital seperti e-wallet sampah, serta pelibatan masyarakat dalam proses desain merupakan strategi penting untuk membangun kesadaran dan

perilaku berkelanjutan. Dengan demikian, solusi pengelolaan sampah tidak hanya dilihat sebagai proses mekanistik, tetapi juga sebagai transformasi budaya dan perilaku kolektif.

Kesimpulannya, sistem pengelolaan sampah terintegrasi berbasis teknik industri dapat meningkatkan efisiensi operasional, memperpanjang umur fasilitas TPA, serta mendukung keberlanjutan lingkungan di Kota Kudus. Model ini berpotensi direplikasi di wilayah lain dengan karakteristik serupa, dengan adaptasi berbasis konteks lokal. Keberhasilan implementasi sangat bergantung pada kolaborasi lintas sektor antara pemerintah daerah, masyarakat, pelaku usaha, dan akademisi, serta komitmen untuk menjadikan pengelolaan sampah sebagai bagian dari pembangunan berkelanjutan jangka panjang.

DAFTAR REFERENSI

- Ahmed, K., Kumar Dubey, M., Kumar, A., & Dubey, S. (2024). Artificial intelligence and IoT driven system architecture for municipality waste management in smart cities: A review. *Measurement: Sensors*, 36(August), 101395. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2024.101395>
- Asmarawati, C. I., & Wibowo, S. A. (2024). Sosialisasi pengelolaan sampah mandiri melalui kegiatan pemberdayaan RT menuju lingkungan bersih dan produktif di Kota Batam. *Jurnal Tiyasadarma*, 2(1), 15–24. <https://doi.org/10.62375/jta.v2i1.334>
- Boostani, F., Golzary, A., Huisingh, D., & Skitmore, M. (2024). Mapping the future: Unveiling global trends in smart waste management research. *Results in Engineering*, 24(August), 103485. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103485>
- Fadilla, A. A., & Kriswibowo, A. (2022). Model integrated sustainable waste management dalam pengolahan sampah di Pusat Daur Ulang Jambangan Kota Surabaya. *Jurnal Administrasi Publik dan Pembangunan*, 4(2), 60. <https://doi.org/10.20527/jpp.v4i2.5744>
- Fathy, R. (2019). Modal sosial: Konsep, inklusivitas dan pemberdayaan masyarakat. *Jurnal Pemikiran Sosiologi*, 6(1), 1. <https://doi.org/10.22146/jps.v6i1.47463>
- Fauzi, M., Hartati, V., Setijadi, Nugraha, S. R., Nursalim, S., & Puspani, N. S. (2024). Green logistics dan extended producer responsibility untuk pengelolaan sampah kemasan makanan dan minuman di Universitas Widyatama. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 25(1), 038–047. <https://doi.org/10.55981/jtl.2024.642>
- Findasari, F., Pratamana, T. G., Firmansyah, N. A., Intakorisi, S., Fitria, H., & Shafira, N. P. (2022). Pengelolaan dan pengolahan sampah dalam usaha mengurangi limbah sampah di lingkungan Desa Bae Kudus. *Jurnal Abdimas Indonesia*, 4(2), 183–189. <https://doi.org/10.26751/jai.v4i2.1810>
- Fraccascia, L., Giannoccaro, I., & Albino, V. (2021). Ecosystem indicators for measuring industrial symbiosis. *Ecological Economics*, 183(June 2020), 106944. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.106944>
- Hapsari, A. R. (2023). Efektivitas pengelolaan sampah di Dinas Perumahan.

- Harfadli, M. M. A., Ramadan, B. S., Ulimaz, M., Rachman, I., & Matsumoto, T. (2025). Environmental impact and priority assessment of municipal solid waste management scenarios in Balikpapan City, Indonesia. *Cleaner Waste Systems*, 10(February), 100223. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100223>
- Hidayat, F., & Nizar, M. (2021). Model ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation and Evaluation) dalam pembelajaran Pendidikan Agama Islam. *Jurnal Inovasi Pendidikan Agama Islam (JIPAI)*, 1(1), 28–38. <https://doi.org/10.15575/jipai.v1i1.11042>
- Kusumaningrum, L., Wulandari, K. D., Karim, F. F., & Sari, N. A. (2023). Strategi pengelolaan sampah di Kabupaten Kudus oleh Dinas Perumahan, Kawasan Permukiman dan Lingkungan Hidup (PKPLH). *Communnity Development Jurnal*, 4(3), 6630–6637.
- Lee, C. R., & Wibowo, M. (2025). Pendekatan human-centered design pada desain interior Dunkin' Donuts RMI Ngagel Surabaya. *Jurnal Desain Interior*, 3(128), 130–144.
- Mohammad, G., Sulistyawati, D. R., & Susila, D. A. (2025). Analisis pengelolaan sampah dalam pengembangan recycle product untuk mewujudkan sustainable waste management. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 10(1).
- Moreno-Mondéjar, L., Triguero, Á., & Cuerva, M. C. (2021). Exploring the association between circular economy strategies and green jobs in European companies. *Journal of Environmental Management*, 297, 113437. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113437>
- Nur, Y., & Oktiawan. (2023). A negative value because of poor handling can cause environmental pollution. *Kaliwungu District Environmental Report*.
- Panchal, R., Singh, A., & Diwan, H. (2021). Economic potential of recycling e-waste in India and its impact on import of materials. *Resources Policy*, 74(September 2020), 102264. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102264>
- Pemerintah Daerah Kudus. (2016). Rencana pembangunan jangka panjang daerah (pp. 1–23).
- Pradini, R. S. (2021). Pendekatan design thinking dan human-centered design untuk perancangan sistem pengawasan audit: Penerapan dan evaluasi. <http://repository.ub.ac.id/184079/>
- Salmenperä, H., Pitkänen, K., Kautto, P., & Saikku, L. (2021). Critical factors for enhancing the circular economy in waste management. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124339. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124339>
- Santos, I. F. S., Barros, R. M., & Filho, G. L. T. (2020). Biogas production from solid waste landfill. In *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials* (pp. 11–19). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.10585-5>
- Sugiyono. (2017). Metode penelitian kuantitatif, kualitatif dan R&D. Alfabeta.
- Sutisna, M. A. R. (2024). Strategi pengelolaan sampah kota terintegrasi menuju zero waste. *Waste Handling and Environmental Monitoring*, 1(1), 41–50. <https://doi.org/10.61511/whem.v1i1.2024.631>
- Wachid, A., & Laksamana Caesar, D. (2020). Implementasi kebijakan pengelolaan sampah di Kabupaten Kudus. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 6(2), 173–183. <http://dx.doi.org/10.35329/jkesmas.v6i2>