

INTEGRASI *BUSINESS INTELLIGENCE* DAN *ARTIFICIAL INTELLIGENCE* DALAM PENGELOLAAN SAMPAH DI INDONESIA: TINJAUAN SISTEMATIS BERBASIS PRISMA

Heni Lestari¹⁾, Wargijono Utomo²⁾

^{1,2}Prodi Magister Manajemen Teknologi, Fakultas Teknik, Universitas Krisnadwipayana

Correspondence author: H Lestari, heni.lestari2470@gmail.com, Jakarta, Indonesia

Abstract

Indonesia faces a waste management crisis, with only 39% of waste managed properly. This study aims to identify gaps in the integration of Business Intelligence (BI) and Artificial Intelligence (AI) in waste management in Indonesia. This study employed a Systematic Literature Review (SLR) using the PRISMA protocol for 20 scientific articles that met the inclusion criteria for the 2020–2025 period. The results indicate the absence of an integrated BI-AI model, persistent data fragmentation, and a lack of studies on the socio-economic impact of waste management. A future research agenda is proposed for adaptive systems tailored to the Indonesian context.

Keywords : *Business Intelligence, Artificial Intelligence, waste management*

Abstrak

Indonesia menghadapi krisis pengelolaan sampah dengan hanya 39% sampah dikelola secara layak. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi kesenjangan integrasi *Business Intelligence* (BI) dan *Artificial Intelligence* (AI) dalam pengelolaan sampah di Indonesia. Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) menggunakan protokol PRISMA terhadap 20 artikel ilmiah yang memenuhi kriteria inklusi pada periode 2020–2025. Hasil penelitian menunjukkan belum adanya model terintegrasi antara BI dan AI, masih adanya fragmentasi data, serta minimnya studi dampak sosial-ekonomi pengelolaan sampah. Agenda riset masa depan diusulkan untuk sistem adaptif yang sesuai konteks Indonesia.

Kata Kunci : *Business Intelligence, Artificial Intelligence, pengelolaan sampah*

A. PENDAHULUAN

Indonesia menghadapi permasalahan serius dalam pengelolaan sampah, di mana timbunan sampah nasional mencapai 56,63 juta ton pada tahun 2023, namun hanya 39,01% atau sekitar 22,09 juta ton yang dikelola secara layak, sementara sisanya

mayoritas dibuang ke TPA terbuka (*open dumping*) yang mencemari lingkungan. Data dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup menegaskan ketidakefisienan infrastruktur pengolahan ini, yang memperburuk dampak ekologis dan kesehatan masyarakat. Selain itu,

sampah plastik menyumbang porsi signifikan, dengan proyeksi mencapai 9,9 juta ton atau 13,98% dari total sampah nasional pada 2024, sebagaimana dianalisis dalam penelitian jurnal *Aktivisme* yang mengutip data KLHK dan *Jambeck Research Group* (Sasmita Nugroho, 2025). Data sistem informasi pengelolaan sampah nasional (SIPSN) pada 2023 menunjukkan ada 306 dari total 550 TPA di Indonesia yang masih menerapkan *open dumping*. Jumlah TPA bermasalah itu menangani 12,37 juta ton sampah per tahun (Hasyim, 2025).



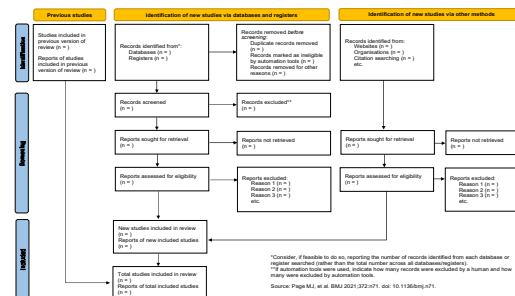
Gambar 1. Timbunan Sampah Indonesia

Potensi *Business Intelligence* (BI) dan *Artificial Intelligence* (AI) dalam sektor lingkungan, khususnya pada *smart waste management* dan *circular economy*, sangatlah besar dan telah mulai terbukti di berbagai belahan dunia. AI menawarkan inovasi revolusioner melalui otomatisasi, analitik prediktif, dan AI generatif yang dapat meningkatkan pemilahan, daur ulang, serta pemulihan material (Snoun et al., 2025).

Namun, implementasi tersebut masih terbatas pada skala pilot atau proyek terisolasi. Tantangan utama yang dihadapi meliputi keterbatasan infrastruktur digital, tingginya biaya implementasi, fragmentasi sistem data, kurangnya kesadaran publik, serta belum adanya kebijakan yang mendukung secara komprehensif. Akibatnya, potensi BI dan AI untuk menciptakan sistem pengelolaan Sampah yang terintegrasi dan berbasis data masih belum tergarap secara optimal di Indonesia,

Perlunya identifikasi *research gap* (kesenjangan penelitian) menjadi langkah krusial untuk menghindari duplikasi studi dan memetakan arah riset masa depan yang lebih terarah. Beberapa penelitian telah mulai mengkaji potensi AI dan IoT dalam pengelolaan sampah di Indonesia, namun sebagian besar masih bersifat eksploratif atau tinjauan umum (Fuqaha & Nursetiawan, 2025).

Untuk menjawab kebutuhan identifikasi kesenjangan penelitian yang terstruktur dan komprehensif, metode *Systematic Literature Review* (SLR) dengan protokol PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis*). PRISMA juga mewajibkan penyertaan diagram alir empat tahap: *identification* (identifikasi catatan dari database), *screening* (penyaringan berdasarkan judul dan abstrak), *eligibility* (penilaian kelayakan berdasarkan teks lengkap), dan *included* (studi yang akhirnya dimasukkan dalam sintesis).



Gambar 2. PRISMA 2020 Flow Diagram

Dari latar belakang tersebut Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi kesenjangan integrasi *Business Intelligence* (BI) dan *Artificial Intelligence* (AI) dalam pengelolaan sampah di Indonesia menggunakan protokol PRISMA. Hasil kajian diharapkan dapat menjadi masukan dalam pemanfaatan teknologi BI dan AI untuk membantu dalam pengelolaan sampah yang lebih baik.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) sebagai pendekatan utama untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis literatur yang relevan mengenai integrasi *Business Intelligence* (BI) dan *Artificial Intelligence* (AI) dalam pengelolaan Sampah di Indonesia. SLR dipilih karena kemampuannya untuk menyediakan sintesis yang transparan, terstruktur, dan dapat direproduksi, berbeda dengan *traditional narrative review* yang cenderung subjektif dan tidak memiliki protokol pencarian yang eksplisit.

Pertanyaan penelitian dalam SLR ini dirumuskan menggunakan kerangka PICOC (*Population, Intervention, Comparison, Outcome, Context*) yang merupakan perluasan dari kerangka PICO klasik dengan menambahkan elemen konteks. Berdasarkan kerangka PICOC, penelitian ini menetapkan:

1. *Population* sebagai sistem dan teknologi pengelolaan Sampah di berbagai tingkatan (rumah tangga, kota, nasional);
2. *Intervention* sebagai integrasi BI dan AI dalam berbagai bentuknya, termasuk *Dashboard* BI, model *Machine Learning*, *computer vision*, dan algoritma optimasi
3. *Comparison* tidak diperlukan karena SLR tidak membandingkan intervensi secara eksperimental
4. *Outcome* berupa identifikasi *research gap* dan rumusan agenda riset masa depan

5. *Context* yang difokuskan pada Indonesia, mengingat karakteristik sampah, infrastruktur, regulasi, dan kondisi sosial-ekonomi yang spesifik di negara ini.

Dengan menggunakan PICOC, pertanyaan penelitian utama yang diajukan adalah apa saja kesenjangan penelitian (*research gaps*) yang teridentifikasi dalam literatur mengenai integrasi *Business Intelligence* dan *Artificial Intelligence* untuk pengelolaan Sampah di Indonesia.

Pencarian literatur dilakukan pada empat basis data utama yang mencakup literatur internasional dan nasional: Scopus, Web of Science (WoS), Google Scholar, dan Garuda (Portal Jurnal Nasional). Kata kunci pencarian disusun menggunakan operator Boolean untuk menggabungkan konsep-konsep kunci secara efektif. Strategi pencarian utama menggunakan kombinasi: ("*Business Intelligence*" OR "*BI*" OR "*analytics*" OR "*Dashboard*") AND ("*Artificial Intelligence*" OR "*AI*" OR "*Machine Learning*" OR "*Deep Learning*" OR "*computer vision*") AND ("*waste management*" OR "*solid waste*" OR "*Sampah*" OR "*sampah*") AND ("*Indonesia*" OR "*Indonesian*"). Pencarian dibatasi pada rentang waktu lima tahun terakhir (2020–2025).

Kriteria inklusi dan eksklusi ditetapkan secara eksplisit sebelum proses seleksi dimulai untuk memastikan objektivitas dan reproduktibilitas. Kriteria ini berfungsi sebagai "filter" yang sistematis untuk menentukan studi mana yang layak dimasukkan ke dalam sintesis akhir. Berikut adalah tabel kriteria inklusi dan eksklusi yang digunakan dalam penelitian ini:

Tabel 1. Kriteria inklusi dan eksklusi

Kriteria	Inklusi	Eksklusi
Topik	Membahas minimal salah satu dari BI atau AI dalam konteks pengelolaan Sampah (padat, rumah tangga, perkotaan, medis)	Hanya membahas aspek non-teknologi (sosial murni, kebijakan tanpa unsur teknologi)

Kriteria	Inklusi	Eksklusi
Konteks	Studi kasus berlokasi di Indonesia, atau mencakup Indonesia sebagai bagian dari analisis, atau memiliki implikasi langsung untuk Indonesia	Studi di luar Indonesia tanpa implikasi yang jelas untuk konteks Indonesia
Jenis Dokumen	Artikel jurnal terindeks (Scopus, WoS, SINTA), proceeding konferensi bereputasi terindeks), serta artikel jurnal nasional terakreditasi (SINTA)	Buku teks, laporan teknis, opini editorial, artikel opini, tesis/skripsi (kecuali digunakan sebagai pelengkap), serta artikel dari jurnal yang tidak memiliki proses peer-review
Metodologi	Studi empiris (kuantitatif, kualitatif, atau mixed-methods) atau studi konseptual dengan kerangka yang jelas dan terdefinisi dengan baik.	Abstrak saja (tanpa teks lengkap), studi yang tidak memiliki metodologi yang jelas, atau studi yang hanya berupa usulan/proposal tanpa implementasi atau evaluasi
Ketersediaan	Teks lengkap dapat diakses melalui langganan institusi atau akses terbuka	Tidak dapat diakses setelah permintaan melalui perpustakaan atau layanan antar pustaka

Proses seleksi studi dalam SLR ini mengikuti diagram alir PRISMA 2020 dengan empat tahap utama: identifikasi, *screening*, *eligibility*, dan *included*. Pada identifikasi, pencarian awal di Scopus, WoS, Google Scholar, dan Garuda menggunakan strategi Boolean, mencatat jumlah catatan per basis data. Pada *screening*, peneliti menyaring judul dan abstrak setelah penghapusan duplikat untuk meminimalkan bias subjektif. Pada tahap *eligibility*, teks lengkap artikel yang lolos diakses dan dievaluasi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi. Hasil seleksi disajikan dalam diagram alir PRISMA 2020 yang mencakup jumlah catatan di setiap tahap ($n = \dots$) dan alasan pengeluaran. Ekstraksi data dilakukan secara terstruktur untuk konsistensi dan kelengkapan, mencakup: informasi bibliografis, tujuan penelitian, metode BI/AI, jenis sampah, lokasi studi,

temuan utama, keterbatasan yang diakui penulis, dan kesenjangan penelitian dari perspektif peneliti.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses seleksi dilakukan berdasarkan diagram alir PRISMA 2020, artikel yang teridentifikasi melalui pencarian awal di basis data Scopus, Google Scholar, Garuda, dan IEEE Xplore, sebanyak 20 artikel dinyatakan memenuhi seluruh kriteria inklusi dan kualitas yang ditetapkan.

Distribusi tahun publikasi menunjukkan peningkatan yang signifikan pada periode 2020–2025, mengindikasikan bahwa integrasi BI dan AI dalam pengelolaan sampah merupakan topik yang semakin mendapat perhatian di Indonesia dalam lima tahun terakhir.

Tabel 2. Penelitian tentang BI, AI dan pengelolaan sampah sebelumnya

No.	Judul Artikel	Fokus Pengembangan Sistem	Tools/Metode yang Digunakan
1	<i>Development of an integrated waste management information system to support sustainable development</i> (Amali et al., 2024)	dikembangkan dengan metode prototipe (tahap komunikasi, perencanaan cepat, pemodelan, desain cepat, konstruksi prototipe, <i>deployment, feedback</i>)	model sirkular yang mengintegrasikan <i>IoT smart bin, semantic web, gamification</i>
2	Pengembangan <i>Dashboard</i> Pengelolaan Sampah Berbasis Komposisi di TPA (Syakira et al., 2025)	Pengembangan <i>Dashboard</i> interaktif Power BI untuk visualisasi data pengelolaan sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA).	<i>Tools</i> : Microsoft Power BI, Excel (Sumber data: SIPSN)

No.	Judul Artikel	Fokus Pengembangan Sistem	Tools/Metode yang Digunakan
3	Implementasi <i>Dashboard</i> untuk Monitoring Sampah Terpilah di Bank Sampah Asri Depok (Pratiwi, 2025)	Pembangunan <i>Dashboard</i> Power BI untuk monitoring dan pencatatan sampah terpilah secara sistematis di bank sampah.	Metode: <i>Business Intelligence Roadmap</i> (BIR); Tools: Power BI
4	<i>Dashboard</i> Pemetaan <i>Hotspot</i> Sampah Laut (tidak disebutkan) (Pratiwi, 2025)	Pembangunan aplikasi <i>Dashboard</i> untuk memetakan <i>hotspot</i> sampah laut di Indonesia guna mendukung monitoring.	Tools: Microsoft Power BI
5	Pembangunan <i>Dashboard</i> Operasional Bank Sampah Bersinar (Fitri et al., 2023)	Pembangunan website <i>Dashboard</i> untuk monitoring target dan laporan operasional bank sampah menggunakan metode Extreme Programming.	Tools: Framework Laravel (PHP)
6	Penerapan CNN MobileNetV2 untuk Klasifikasi Enam Jenis Sampah (Wahyudi, 2025)	Pengembangan sistem klasifikasi gambar sampah otomatis untuk membantu proses pemilahan dengan arsitektur <i>Deep Learning</i> .	Metode: <i>Convolutional Neural Network (CNN)</i> , Arsitektur MobileNetV2
7	Implementasi Sistem Terintegrasi <i>Deep Learning</i> dan <i>Firebase</i> untuk Klasifikasi Sampah dan Kontrol Otomatis (Putra, 2025)	Pengembangan sistem SMARTBIN, sebuah tempat sampah pintar berbasis <i>IoT</i> dan AI untuk pemilahan sampah organik dan anorganik secara otomatis.	Metode: Deep Learning; Tools: Firebase, IoT
8	Sistem Deteksi Limbah Plastik Berbasis Web dengan Metode CNN di Politeknik Negeri Bali (Wibawa, 2025)	Pengembangan aplikasi berbasis web untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan jenis limbah plastik secara otomatis.	Metode: <i>Convolutional Neural Network (CNN)</i>
9	Optimasi Rute Pengangkutan Sampah Kecamatan Ampenan (Septiawan, 2025)	Pengembangan rute optimal pengangkutan sampah dengan merepresentasikannya sebagai <i>Traveling Salesman Problem (TSP)</i> .	Metode: Kombinasi Algoritma Genetika dan <i>Tabu Search</i> , <i>Constrained K-Means Clustering</i>
10	Penerapan CVRP untuk Menentukan Rute Optimal Kendaraan Pengangkut Sampah di Kab. Sidoarjo (Chitam, 2025)	Penerapan <i>Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)</i> dengan Algoritma Genetika untuk optimasi rute pengangkutan sampah.	Metode: Algoritma Genetika; Tools: Excel add-in GeneHunter
11	Prediksi Volume Penimbunan Sampah di Kabupaten Probolinggo (Septiani, 2025)	Pengembangan model prediksi volume sampah harian menggunakan algoritma Jaringan Saraf Tiruan (JST) Backpropagation.	Metode: <i>Backpropagation Neural Network</i> ; Teknik: <i>Hyperparameter Tuning Grid Search</i>
12	Implementasi Algoritma <i>Long Short Term Memory (LSTM)</i> untuk Memprediksi Volume Sampah (Manikari et al., 2024)	Implementasi algoritma LSTM untuk memprediksi volume sampah sebagai antisipasi lonjakan di TPA.	Metode: <i>Long Short Term Memory (LSTM)</i>
13	<i>Implementation of Convolutional Neural Network in image-based waste classification</i> (A'yun et al., 2025)	Pengujian model CNN untuk klasifikasi sampah berbasis gambar dua kelas (kertas dan plastik) dengan skenario berbeda.	CNN, metode klasifikasi <i>threshold vs one-hot encoding</i> , augmentasi gambar
14	Sistem Deteksi Sampah Daur Ulang Menggunakan Algoritma <i>Convolutional Neural Networks</i> Dengan Metode <i>Transfer Learning</i> (Rakasiwi, 2025)	Pengujian model pendeteksi sampah daur ulang otomatis dengan transfer learning untuk optimalisasi model CNN.	CNN, <i>transfer learning</i>
15	Optimasi Rute Pengangkutan Sampah Kecamatan Ampenan Menggunakan Kombinasi	Pengujian kombinasi algoritma untuk menyelesaikan <i>Traveling Salesman Problem (TSP)</i> pada	Algoritma Genetika, <i>Tabu Search</i> , <i>Constrained K-Means Clustering</i> , TSP

No.	Judul Artikel	Fokus Pengembangan Sistem	Tools/Metode yang Digunakan
	Algoritma Genetika dan <i>Tabu Search</i> (Septiawan, 2025)	pengangkutan sampah.	
16	Prediksi volume penimbunan sampah di Kabupaten Probolinggo menggunakan algoritma back propagation (Septiani, 2025)	Pengujian model prediksi volume sampah harian dengan <i>hyperparameter tuning</i> untuk meningkatkan akurasi.	<i>Backpropagation Neural Network, Grid Search, hyperparameter tuning</i> (learning rate, momentum, jumlah neuron)
17	Perbandingan Metode Regresi Linier dan <i>Single Moving Average</i> dalam Peramalan Timbunan Sampah di Kota Malang (Royinda & Pamuji, 2025)	Pengujian komparatif dua metode peramalan dengan data timbunan sampah terbatas (2019–2023) untuk menemukan model optimal.	Regresi Linier, <i>Single Moving Average, RapidMiner</i> untuk optimasi regresi linier
18	Pembangunan <i>Dashboard</i> Operasional pada Sistem Informasi Pengelolaan Bank Sampah Menggunakan Metode <i>Extreme Programming</i> (Fitri et al., 2023)	Bank Sampah Bersinar, Jawa Barat (melayani Kota Bandung, Kab. Bandung, Kab. Bandung Barat, Kota Cimahi)	Pembangunan website <i>Dashboard</i> admin untuk monitoring target dan laporan, terintegrasi dengan petugas angkut dan nasabah. Diimplementasikan dengan framework Laravel. Hasil User Acceptance Test (UAT) sebesar 90,67%, menunjukkan <i>Dashboard</i> dapat diterima oleh tim internal Bank Sampah Bersinar
19	Implementasi <i>Deep Learning</i> Untuk Image Classification Menggunakan Arsitektur <i>Convolutional Neural Network (CNN)</i> Pada Citra Sampah Hotel	Hotel Lombok Raya, Kota Mataram, NTB (Destinasi wisata super prioritas Mandalika)	Implementasi arsitektur VGG16 yang dimodifikasi untuk klasifikasi sampah hotel ke dalam 3 kelas: organik, anorganik, dan B3. Total dataset 1.300 citra. Akurasi model terbaik mencapai 97% dengan presisi 98%.
20	<i>Framework of Smart and Integrated Household Waste Management System: A Systematic Literature Review Using PRISMA</i> (Wirani et al., 2024)	mengembangkan kerangka kerja sistem pengelolaan sampah rumah tangga yang cerdas dan terintegrasi. Hasil SLR mengidentifikasi lima dimensi utama yang menjadi fondasi kerangka tersebut.	Metode: SLR menggunakan protokol PRISMA. Hasil kajian telah divalidasi oleh para ahli dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) Republik Indonesia

Dari 20 artikel yang terinklusi, rincian berdasarkan metodologi penelitian adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Rincian rincian berdasarkan metodologi penelitian

Jenis Metodologi	Jumlah Artikel	Persentase
Pengembangan Sistem / Prototyping	12	60%
Studi Eksperimental (Pengujian Model)	5	25%
Studi Kasus / Implementasi	2	10%
<i>Systematic Literature Review</i>	1	5%

Berdasarkan tabel 3 tersebut dari 20 artikel jurnal mayoritas artikel (60%)

berfokus pada pengembangan dan perancangan sistem, yang menunjukkan bahwa penelitian di bidang ini masih berada pada tahap eksplorasi teknis dan pengembangan prototipe.

Tabel 4. Distribusi Berdasarkan Domain Pengelolaan Sampah

Domain Fokus	Jumlah Artikel	Persentase
Klasifikasi & Deteksi Jenis Sampah	8	40%
<i>Dashboard</i> & Visualisasi Data	5	25%
Optimasi Rute Pengangkutan	3	15%
Prediksi Volume Sampah	2	10%
Sistem Terintegrasi	2	10%

Domain Fokus	Jumlah Artikel	Persentase
(IoT+AI+BI)		

RQ1: Kontribusi dan Temuan Utama Penelitian BI dan AI dalam Pengelolaan Sampah di Indonesia.

Penelitian integrasi BI dan AI dalam pengelolaan sampah di Indonesia berkontribusi pada tiga level utama. pengembangan *computer vision* untuk otomatisasi pemilahan (CNN, MobileNet, YOLO) dengan akurasi tinggi dan deteksi *real-time*; optimasi rute pengangkutan menggunakan algoritma genetika, tabu search, dan IoT serta prediksi volume sampah dengan regresi linear. *Dashboard* Power BI untuk TPA, bank sampah, pemetaan *hotspot* sampah laut yang mendukung pengambilan keputusan berbasis data secara interaktif. Aplikasi AI (misal Westa) untuk klasifikasi sampah via *smartphone*, peningkatan pendapatan rumah tangga 8-15% (Banjarmasin), serta model ekonomi sirkular oleh startup lokal.

Metode yang paling diadopsi CNN/MobileNet (4 artikel) dan YOLO (3 artikel) untuk klasifikasi/deteksi, Power BI dominan untuk *Dashboard* (4 dari 5 artikel), algoritma optimasi rute meliputi genetika + tabu search, saving matrix+ML (penghematan biaya hingga Rp139 juta/tahun).

Dampak implementasi peningkatan efisiensi operasional (pengurangan jarak dan biaya, akses informasi lebih cepat), pergeseran ke pengambilan keputusan berbasis data, dampak ekonomi positif (pendapatan rumah tangga naik 8-15%, model bisnis sirkular), serta dukungan terhadap keberlanjutan lingkungan melalui IoT/AI untuk pemantauan sungai, ekonomi sirkular, dan pelaporan ESG otomatis.

RQ2 : Metode dan Algoritma BI/AI yang Paling Banyak Diadopsi.

Berdasarkan analisis terhadap delapan artikel di domain klasifikasi dan deteksi

sampah, *Convolutional Neural Network* (CNN) mendominasi sebagai algoritma utama:

Tabel 5. Algoritma AI untuk Klasifikasi dan Deteksi Sampah

Algoritma / Arsitektur	Jumlah Artikel	Contoh Penerapan
CNN / MobileNet	4	Klasifikasi 5 kategori sampah, efisiensi komputasi tinggi
YOLO (v7, v8, v11, v12)	3	Deteksi <i>real-time</i> , identifikasi multi-objek
EfficientNet (B0, B1)	2	Klasifikasi sampah organik vs anorganik
Vision Transformer	1	Metode modern adaptasi dari NLP
SSD MobileNetV2	1	Deteksi di industri daur ulang berbasis website

1. Model *Waste Classification Model Optimization* dengan Modified MobileNetV3 dari ITS mampu mengklasifikasikan lima kategori sampah dengan nilai *loss* sangat rendah.
2. Penelitian perbandingan tiga varian YOLOv8 (nano, small, medium) setelah augmentasi dataset menjadi 3.500 gambar berlabel menunjukkan fleksibilitas arsitektur YOLO untuk berbagai skenario implementasi.
3. Penelitian deteksi sampah rumah tangga dengan YOLOv11s menyoroti pentingnya optimalisasi dataset untuk konteks Indonesia, di mana 50% sampah TPA berasal dari rumah tangga, sehingga model dari data negara maju perlu penyesuaian substansial.
4. Untuk *Dashboard* dan visualisasi, Microsoft Power BI dominan (4 dari 5 artikel), sementara Looker Studio dan Tableau alternatif. *Dashboard* Power BI untuk TPA berfungsi sebagai alat pelaporan sekaligus sistem pendukung keputusan interaktif dengan filter provinsi/kota, periode waktu, dan jenis sampah.

5. *Dashboard* untuk Bank Sampah di Depok membuktikan Power BI dapat diimplementasikan di tingkat komunitas dengan sumber daya terbatas asalkan data terstruktur, temuan penting untuk strategi adopsi BI nasional.
6. Celah penelitian signifikan: belum ada studi yang secara sistematis mengevaluasi dampak *dashboard* terhadap kualitas pengambilan keputusan manajerial di Indonesia.

Tabel 6. Algoritma Optimasi Rute

Algoritma	Kasus Penggunaan
Algoritma Genetika + <i>Tabu Search</i>	Optimasi rute TPA (Ampeanan) dengan representasi <i>Traveling Salesman Problem</i> (TSP)
Algoritma Rute Terpendek (<i>Shortest Path</i>)	Integrasi dengan <i>IoT</i> untuk pengangkutan dinamis (hanya TPS penuh)
<i>Hybrid Genetic Algorithm</i>	Minimasi biaya bahan bakar (Banjar Tegeh Sari)
Saving Matrix + <i>Machine Learning</i>	Optimasi biaya transportasi (TPS 3R USU) dengan penghematan biaya hingga Rp139 juta per tahun

Salah satu temuan paling signifikan dalam domain ini adalah penelitian yang menggabungkan metode *Saving Matrix* dengan *Machine Learning* Python, yang berhasil mengurangi total biaya operasional hingga mencapai biaya bahan bakar optimal sebesar Rp139.732.713 per tahun. Penghematan dalam skala nominal ini

menunjukkan bahwa investasi dalam teknologi optimasi rute memiliki *Return on Investment* (ROI) yang jelas dan dapat diukur.

RQ3: Dampak Implementasi BI dan AI terhadap Pengelolaan Sampah di Indonesia.

Implementasi BI dan AI di Indonesia berdampak pada empat aspek yaitu efisiensi operasional (optimalisasi rute, *dashboard* percepat laporan, prediksi volume sampah), kualitas keputusan (berbasis data, visualisasi indikator TPA, deteksi *illegal dumping* dengan ML & AI generatif), ekonomi-sosial (peningkatan pendapatan rumah tangga 8-15%, model ekonomi sirkular startup, aplikasi publik Westa), serta keberlanjutan lingkungan (mendukung ekonomi sirkular, pemantauan sungai untuk mitigasi banjir, laporan ESG otomatis seperti *Sampah Watch*).

Berdasarkan hasil analisis, tiga tema utama yang muncul dari penelitian integrasi BI dan AI dalam pengelolaan sampah di Indonesia adalah:

1. Dominasi Pendekatan Teknis (*Technology Lead*)
2. Penelitian cenderung bersifat terfragmentasi
3. Kesenjangan antara Pengembangan dan Evaluasi Dampak

Berdasarkan analisis kritis terhadap 20 artikel, berikut adalah gap penelitian utama yang belum terjawab

Tabel 7. Gap Penelitian yang Teridentifikasi

No.	Nama Gap	Deskripsi Lengkap
Gap 1	Belum adanya arsitektur BI+AI yang terintegrasi secara end-to-end	Mayoritas penelitian hanya fokus pada satu komponen. Belum ada penelitian yang merancang arsitektur lengkap mulai dari data ingestion (melalui <i>IoT</i> atau input manual), data warehousing, AI model serving, hingga BI <i>Dashboard</i> yang interaktif.
Gap 2	Minimnya penelitian tentang tata kelola dan adopsi BI/AI di sektor publik pengelolaan sampah	Sebagian besar penelitian dilakukan dalam skala laboratorium atau proof-of-concept. Belum ada studi yang meneliti faktor-faktor kritis keberhasilan (Critical Success Factors) adopsi BI/AI di dinas lingkungan hidup atau di tingkat kelurahan/kecamatan. Penelitian dengan pendekatan kualitatif seperti studi kasus atau action research sangat diperlukan untuk menjembatani kesenjangan ini.

No.	Nama Gap	Deskripsi Lengkap
Gap 3	Belum adanya standar evaluasi dampak yang terukur dan terintegrasi	Dari 20 artikel yang direview, hanya sedikit yang melaporkan dampak secara kuantitatif. Penghematan biaya dari optimasi rute (misal Rp139 juta per tahun) memberikan indikasi awal bahwa dampak ekonomi signifikan. Namun, tidak ada penelitian yang mengukur dampak terhadap indikator makro seperti diversion rate (tingkat pengalihan sampah dari TPA),
Gap 4	Keterbatasan fokus pada konteks perkotaan besar	Sebagian besar penelitian berlokasi di kota besar seperti Jakarta, Surabaya, Bandung, Medan, dan Yogyakarta. Konteks pengelolaan sampah di daerah Timur Indonesia, pedesaan, atau wilayah kepulauan terpencil tidak terwakili. Kondisi infrastruktur, ketersediaan data, dan kapasitas SDM di daerah tersebut sangat berbeda, sehingga temuan dari penelitian yang ada mungkin tidak dapat digeneralisasi.
Gap 5	Kesenjangan antara penelitian AI teknis dan kebutuhan pengguna akhir	Penelitian klasifikasi sampah dengan Deep Learning menunjukkan akurasi sangat tinggi, namun belum ada kajian yang secara sistematis menampung kebutuhan aktual petugas kebersihan, pengelola bank sampah, atau masyarakat umum dalam desain antarmuka dan alur kerja sistem. Akurasi tinggi tidak menjamin keberhasilan adopsi jika pengalaman pengguna (user experience) diabaikan.
Gap 6	Kurangnya perhatian pada aspek keberlanjutan finansial model bisnis	Hampir tidak ada penelitian yang mendiskusikan bagaimana sistem BI/AI yang dikembangkan dapat berkelanjutan secara finansial setelah masa penelitian berakhir. Model bisnis untuk solusi teknologi dalam pengelolaan sampah di Indonesia

Penelitian ini memberikan kontribusi teoretis dengan memetakan lanskap integrasi BI dan AI dalam pengelolaan sampah di Indonesia, memperkaya literatur *augmented analytics* di negara berkembang, serta menunjukkan bahwa pendekatan sukses dari negara maju tidak bisa langsung diadopsi tanpa penyesuaian kontekstual substansial. Identifikasi enam gap penelitian memberi peta jalan bagi peneliti selanjutnya ke area yang belum terjawab, mengingat akurasi teknis model AI tidak menjamin.

Petugas kebersihan, pengelola TPA, dan masyarakat harus dilibatkan dalam perancangan agar solusi sesuai kebutuhan dan kapasitas mereka. Startup seperti Containder dan Nusabin menunjukkan ruang besar untuk inovasi lintas sektor yang menggabungkan keahlian teknologi, pengetahuan perilaku masyarakat, dan pemahaman model bisnis ekonomi sirkular. Meskipun mencakup empat basis data utama (Scopus, Google Scholar, Garuda, IEEE Xplore), masih ada kemungkinan artikel relevan tidak terindeks (terutama dari prosiding konferensi lokal yang tidak terdigitalisasi).

Batasan periode 2020–2025 dipilih

untuk menangkap perkembangan terkini, namun penelitian penting sebelum 2020 tidak terinklusi. Penilaian kualitas metodologis menjadi lebih sulit dan berpotensi bias untuk artikel yang tidak melaporkan metodologi secara rinci (misalnya hanya abstrak).

D. PENUTUP

Penelitian ini memetakan integrasi *Business Intelligence* dan *Artificial Intelligence* dalam pengelolaan sampah di Indonesia periode 2020–2025. Dari 20 artikel yang dikaji, terlihat kemajuan teknis pada klasifikasi sampah berbasis CNN dan pengembangan dashboard BI, namun integrasi kedua teknologi dalam sistem utuh masih kurang.

Kesenjangan meliputi minimnya arsitektur terintegrasi, tata kelola, standar evaluasi dampak, serta terbatasnya fokus pada daerah non-perkotaan dan keberlanjutan finansial. Penelitian ke depan perlu mengevaluasi dampak jangka panjang, melibatkan pengguna akhir secara partisipatif, dan memastikan solusi berkelanjutan. SLR ini menjadi peta jalan

dan seruan bertindak bagi pemerintah, praktisi, dan akademisi untuk mewujudkan pengelolaan sampah yang cerdas, terintegrasi, dan berkelanjutan melalui BI dan AI.

E. DAFTAR PUSTAKA

- A'yun, A. Q., Suhartono, S., & Lestari, T. M. (2025). Implementation of Convolutional Neural Network in Image-Based Waste Classification. *JAIC: Journal of Applied Informatics and Computing*, 9(4), 1778–1784. <https://doi.org/10.30871/jaic.v9i4.9829>
- Amali, L. N., Padiku, I. R., & Hunta, A. M. (2024). Development of an integrated waste management information system to support sustainable development. 6(1), 14–25. <https://doi.org/10.37905/jji.v6i1.24659>
- Chitam, H. (2025). Penerapan CVRP untuk Menentukan Rute Optimal Kendaraan Pengangkut Sampah di Kab. Sidoarjo. Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta.
- Fitri, A., Anshary, F. M. Al, & Darmawan, I. (2023). Pembangunan Dashboard Operasional pada Sistem Informasi Pengelolaan Bank Sampah Menggunakan Metode Extreme Programming (Studi Kasus Bank Sampah Bersinar). *EProceedings of Engineering*, 10(3), 3231–3238. <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/20580>
- Fuqaha, S., & Nursetiawan. (2025). Artificial Intelligence and IoT for Smart Waste Management: Challenges, Opportunities, and Future Directions. *FAITH: Journal of Future Artificial Intelligence and Technologies*, 2(1), 24–46. <https://doi.org/10.62411/faith.3048-3719-85>
- Hasyim, I. (2025). *Persiapan Menteri Hanif Faisol Tangani Sisa 306 TPA yang Masih Pakai Open Dumping*. TEmpo.Co Jakarta.
- Manikari, S. L., Astuti, R., Basysyar, F. M., & Agusbaciari. (2024). Implementasi Algoritma Long Short Term Memory (LSTM) Untuk Memperediksi Volume Sampah. *JATI: Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, 8(3), 2877–2883. <https://doi.org/10.36040/jati.v8i3.9598>
- Pratiwi, R. (2025). Implementasi Dashboard untuk Monitoring Sampah Terpilah di Bank Sampah Asri Depok. Sekolah Tinggi Teknologi Terpadu Nurul Fikri.
- Putra, Y. P. (2025). Implementasi sistem terintegrasi deep learning dan firebase untuk klasifikasi sampah dan kontrol otomatis. 3, 449–457.
- Rakasiwi, G. (2025). Sistem Deteksi Sampah Daur Ulang Menggunakan Algoritma Convolutional Neural Networks Dengan Metode Transfer Learning. Universitas Nasional (UNAS).
- Royinda, A., & Pamuji, F. Y. (2025). Perbandingan Metode Regresi Linier dan Single Moving Average dalam Peramalan Timbunan Sampah di Kota Malang. *Jurnal Informatika Polinema*, 11(3), 299–304. <https://doi.org/10.33795/jip.v11i3.7017>
- Sasmita Nugroho, S. E. (2025). *KLH-BPLH Tegaskan Arah Baru Menuju Indonesia Bebas Sampah 2029 dalam Rakornas Pengelolaan Sampah 2025*. KLH-BPLH.
- Septiani, I. K. (2025). *Prediksi volume penimbunan sampah di Kabupaten Probolinggo menggunakan algoritma back propagation*. Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya.
- Septiawan, R. D. (2025). *Optimasi Rute Pengangkutan Sampah Kecamatan*

Ampenan. Universitas Mataram.

- Snoun, A., Mufida, M. K., & El-cadi, A. A. (2025). AI-Driven Innovations in Waste Management: Catalyzing the Circular Economy †. *Engineering Proceedings*, 97(1), 1–10.
<https://doi.org/10.3390/engproc2025097012>
- Syakira, R., Beny, B., & Husaein, A. (2025). Pengembangan Dashboard Pengelolaan Sampah Berbasis Komposisi Di Tempat Pembuangan Akhir (TPA). *JAKAKOM: Jurnal Informatika Dan Rekayasa Komputer*, 5(1), 1455–1464.
<https://doi.org/10.33998/jakakom.2025.5.1.2277>
- Wahyudi, T. (2025). *Penerapan CNN MobileNetV2 untuk Klasifikasi Enam Jenis Sampah*. Universitas Gunadarma.
- Wibawa, I. P. G. C. (2025). *Sistem Deteksi Limbah Plastik Berbasis Web dengan Metode CNN di Politeknik Negeri Bali*. Politeknik Negeri Bali.
- Wirani, Y., Eitiveni, I., & Sucahyo, Y. G. (2024). Framework of Smart and Integrated Household Waste Management System: A Systematic Literature Review Using PRISMA. *Sustainability*, 16(12), 4898.
<https://doi.org/10.3390/su16124898>