

PEMODELAN SISTEM INFORMASI BERBASIS IOT UNTUK OPTIMASI PENGELOLAAN SAMPAH PERKOTAAN (STUDI KASUS: PEMANTAUAN LEVEL TEMPAT SAMPAH PINTAR)

Prionggo Hendradi* dan Agus Wahyono**

*Fakultas Teknik Universitas Satya Negara Indonesia, **Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Satya Negara Indonesia

Correspondent author : * prionggo.hendradi@gmail.com

** agoeswahyono9@gmail.com

Diterima : 20-07-2025	Revisi : 25-07-2025	Disetujui : 31-07-2025	Diterbitkan: 1-08-2025
--------------------------	------------------------	---------------------------	---------------------------

Abstract

This study proposes a conceptual modeling of an Internet of Things (IoT)-based waste level monitoring system to address the inefficiencies of traditional waste management. The system is designed to facilitate better decision-making and optimize waste collection routes. The research methodology includes in-depth problem identification related to conventional waste management, analysis of current business processes, and design of the proposed system. The developed system model includes a conceptual technological framework that integrates ultrasonic sensors for real-time data acquisition, ESP32/ESP8266 microcontrollers as edge devices, the MQTT communication protocol, and an IoT cloud platform and time-series database as backend storage. The collected data will be visualized through a user dashboard that displays trash bin fullness on a map, automatic notifications, and historical trends. The results of this study present Level 0 and Level 1 Data Flow Diagrams (DFDs) detailing the system's interactions with external entities and its internal sub-processes. Additionally, a conceptual Entity-Relationship Diagram (ERD) is also developed to illustrate the system's data structure. The dashboard mockup design demonstrates an intuitive interface for waste management. Thus, this research provides a strong theoretical and architectural foundation for the development of a more efficient, responsive, and data-driven waste management system, contributing to improved environmental cleanliness.

Keywords: Waste Monitoring System, IoT, Ultrasonic Sensor, MQTT, DFD, ERD, Dashboard, Smart Waste Management.

PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah perkotaan menjadi salah satu tantangan krusial bagi pemerintah kota di seluruh dunia, termasuk di Indonesia. Pertumbuhan populasi dan peningkatan aktivitas ekonomi berkontribusi pada volume sampah yang terus meningkat, seringkali melebihi kapasitas sistem pengelolaan yang ada. Metode pengumpulan sampah konvensional, yang umumnya berbasis jadwal tetap, seringkali tidak efisien. Truk pengangkut sampah mungkin beroperasi dengan kapasitas tidak penuh, atau justru terlambat mengosongkan tempat sampah yang sudah meluap, menyebabkan penumpukan, bau tidak sedap, dan potensi masalah kesehatan lingkungan (Zurbrugg, 2003), (Waste, n.d.). Inefisiensi ini tidak hanya menimbulkan kerugian finansial dari segi bahan bakar dan sumber daya manusia, tetapi juga berdampak negatif pada estetika kota dan kualitas hidup masyarakat (Aja & Al-Kayiem, 2014).

Seiring dengan perkembangan pesat teknologi informasi dan komunikasi, konsep *Smart City* hadir sebagai solusi inovatif untuk berbagai permasalahan perkotaan, termasuk pengelolaan sampah. Salah satu pilar utama dalam pengembangan *Smart City* adalah pemanfaatan *Internet of Things (IoT)*, yang memungkinkan objek fisik untuk mengumpulkan dan bertukar data secara *real-time* (Hoornweg & Bhada-Tata, 2012). Dalam konteks pengelolaan sampah, implementasi *IoT* menawarkan potensi besar untuk mengubah pendekatan tradisional menjadi sistem yang lebih cerdas, responsif, dan efisien (Sharma et al., 2024). Berbagai penelitian telah menunjukkan efektivitas penggunaan sensor dan jaringan nirkabel dalam memantau kondisi tempat sampah, yang dapat secara signifikan mengurangi biaya operasional dan meningkatkan kualitas layanan (Paturi et al., 2021), (Dogra et al., 2022).

Pemanfaatan sistem informasi berbasis *web* juga telah terbukti mendukung pengelolaan sampah, seperti pada implementasi aplikasi bank sampah untuk mempermudah pencatatan dan transaksi di tingkat komunitas, yang mendorong partisipasi aktif masyarakat (Hendradi et al., 2025).

Penelitian ini mengusulkan pemodelan sistem informasi berbasis *IoT* yang dirancang khusus untuk optimasi pengelolaan sampah perkotaan, dengan fokus pada pemantauan level tempat sampah pintar. Sistem ini akan memanfaatkan sensor *IoT* yang terpasang pada tempat sampah untuk mendeteksi tingkat kepenuhan secara akurat dan mengirimkan data tersebut ke *platform* pusat. Data *real-time* ini kemudian akan diolah menjadi informasi yang berharga, memungkinkan pengelola sampah untuk mengambil keputusan yang lebih tepat. Pemodelan sistem informasi ini bertujuan untuk mengatasi inefisiensi pengumpulan sampah dengan memvisualisasikan kondisi tempat sampah secara langsung, sehingga rute pengumpulan dapat dioptimalkan berdasarkan kebutuhan aktual, bukan lagi jadwal statis. Diharapkan, penerapan model sistem ini dapat berkontribusi pada pengelolaan sampah yang lebih efektif, efisien, dan berkelanjutan, menuju terciptanya lingkungan perkotaan yang lebih bersih dan sehat.

1. Konsep Pengelolaan Sampah

Pengelolaan sampah merupakan serangkaian kegiatan yang mencakup pengumpulan, pengangkutan, pengolahan, hingga pembuangan akhir sampah dengan tujuan menjaga kesehatan masyarakat dan kelestarian lingkungan (Zurbrugg, 2003). Di wilayah perkotaan, volume sampah cenderung meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan aktivitas ekonomi, menimbulkan tekanan signifikan pada infrastruktur dan sistem pengelolaan yang ada (Waste, n.d.). Metode konvensional seringkali melibatkan jadwal pengumpulan yang statis, tanpa mempertimbangkan tingkat kepenuhan tempat sampah secara *real-time*. Pendekatan ini dapat menyebabkan inefisiensi operasional, seperti pengangkutan sampah dengan kapasitas tidak penuh yang memboroskan bahan bakar dan tenaga kerja, atau sebaliknya, keterlambatan pengosongan tempat sampah yang meluap, mengakibatkan masalah lingkungan seperti bau tidak sedap, penumpukan sampah visual, dan potensi penyebaran penyakit (Aja & Al-Kayiem, 2014).

Efisiensi dalam pengelolaan sampah tidak hanya berdampak pada aspek kebersihan dan kesehatan lingkungan, tetapi juga memiliki implikasi ekonomi yang signifikan. Peningkatan biaya operasional akibat rute yang tidak efisien, konsumsi bahan bakar yang tinggi, dan jam kerja yang tidak optimal menuntut inovasi dalam sistem pengelolaan sampah (Hoorweg & Bhada-Tata, 2012). Oleh karena itu, diperlukan transformasi dari model pengelolaan sampah tradisional menjadi sistem yang lebih cerdas dan responsif, yang mampu mengoptimalkan sumber daya dan meningkatkan kualitas layanan.

2. Konsep *Smart City*

Smart City adalah konsep pengembangan perkotaan yang memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) untuk meningkatkan kualitas hidup penduduk, mengoptimalkan kinerja dan efisiensi layanan kota, serta mengurangi dampak lingkungan (Sharma et al., 2024). Konsep ini didukung oleh berbagai pilar utama, termasuk infrastruktur cerdas, transportasi cerdas, pemerintahan cerdas, ekonomi cerdas, dan lingkungan cerdas (Paturi et al., 2021). Dalam konteks lingkungan cerdas, implementasi teknologi bertujuan untuk memantau, menganalisis, dan mengelola sumber daya serta limbah secara lebih efisien dan berkelanjutan.

Pemanfaatan teknologi dalam *Smart City* berfokus pada pengumpulan data dari berbagai sumber, termasuk sensor, perangkat seluler, dan sistem informasi yang ada, untuk menghasilkan wawasan yang dapat digunakan dalam pengambilan keputusan. Integrasi data ini memungkinkan kota untuk menjadi lebih adaptif, efisien, dan responsif terhadap kebutuhan warganya (Dogra et al., 2022). Pengelolaan sampah merupakan salah satu area kunci di mana prinsip *Smart City* dapat diterapkan secara efektif untuk mencapai tujuan keberlanjutan dan peningkatan kualitas hidup.

3. Konsep *Internet of Things (IoT)*

Internet of Things (IoT) merujuk pada jaringan objek fisik yang dilengkapi dengan sensor, perangkat lunak, dan teknologi lain untuk tujuan terhubung dan bertukar data dengan perangkat dan sistem lain melalui internet (Hendradi et al., 2025). Arsitektur dasar *IoT* umumnya terdiri dari beberapa lapisan: 1) Lapisan Perangkat/Sensor, yang mencakup sensor dan aktuator untuk mengumpulkan data dari lingkungan atau melakukan tindakan; 2) Lapisan Jaringan/Konektivitas, yang bertanggung jawab untuk transmisi data melalui berbagai protokol seperti *Wi-Fi*, *Bluetooth*, *LoRaWAN*, atau *MQTT*; 3) Lapisan *Cloud Computing/Platform*, tempat data disimpan, diproses, dan dianalisis; dan 4) Lapisan Aplikasi, yang menyediakan antarmuka bagi pengguna untuk berinteraksi dengan sistem dan mendapatkan informasi (Gubbi et al., 2013),(Atzori et al., 2010).

Dalam konteks pengelolaan lingkungan, *IoT* memungkinkan pemantauan *real-time* kondisi fisik seperti kualitas udara, kualitas air, dan tingkat kepenuhan tempat sampah (Kurfess et al., 2020). Kemampuan *IoT* untuk menyediakan data secara otomatis dan berkelanjutan membuka peluang besar untuk efisiensi operasional dan pengambilan keputusan yang didukung data. Protokol komunikasi seperti *MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)* sangat cocok untuk aplikasi *IoT* karena karakteristiknya yang ringan, efisien, dan dirancang untuk perangkat dengan sumber daya terbatas (Atzori et al., 2010).

4. Konsep Sistem Informasi (SI) dan Pemodelan SI

Sistem Informasi (SI) adalah seperangkat komponen yang saling terkait yang mengumpulkan, memproses, menyimpan, dan mendistribusikan informasi untuk mendukung pengambilan keputusan dan kontrol dalam suatu organisasi (Laudon & Laudon, 2004). SI berperan penting dalam mengubah data mentah menjadi informasi yang bermakna dan dapat digunakan, yang kemudian mendukung berbagai fungsi bisnis dan operasional (Agustin et al., 2019). Dalam konteks pengelolaan sampah, SI dapat berfungsi sebagai pusat koordinasi untuk data dari berbagai sumber, mulai dari sensor hingga input manual, yang kemudian disajikan dalam format yang mudah dipahami bagi pengambil keputusan. Pemodelan Sistem Informasi merupakan proses abstraksi dan representasi sistem yang akan dikembangkan, menggunakan notasi grafis atau tekstual untuk menggambarkan struktur, perilaku, dan interaksi komponen sistem (Valacich et al., 2022). Tujuan utama pemodelan adalah untuk memahami kompleksitas sistem, mengidentifikasi kebutuhan pengguna, merancang arsitektur yang optimal, dan memfasilitasi komunikasi antar pemangku kepentingan. Berbagai teknik pemodelan seperti Diagram Arus Data (*DFD*), Diagram Entitas-Relasi (*ERD*), dan *Unified Modeling Language (UML)* sering digunakan untuk merepresentasikan aspek-aspek berbeda dari suatu sistem informasi, mulai dari aliran data hingga interaksi antar komponen (Dennis et al., 2015). Pemodelan yang baik merupakan tahap krusial dalam pengembangan sistem yang efektif dan efisien, membantu mengidentifikasi potensi masalah di awal siklus pengembangan.

5. Penelitian Terdahulu

Berbagai penelitian telah dilakukan terkait penerapan teknologi untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah. Studi-studi awal berfokus pada optimasi rute pengumpulan sampah menggunakan algoritma matematis dan data statis (Nowakowski, 2017). Dengan kemajuan teknologi, fokus bergeser ke arah pemanfaatan sensor dan teknologi nirkabel. Sebagai contoh, Arebey et al. (2016) mengembangkan sistem manajemen sampah cerdas berbasis *IoT* dan *smart bin* untuk memantau level sampah dan mengoptimalkan rute pengumpulan (Paturi et al., 2021). Demikian pula, Gudevi (2023) merancang dan mengimplementasikan sistem manajemen sampah cerdas berbasis *IoT* yang menunjukkan potensi peningkatan efisiensi (Gusdevi et al., 2023). Mahajan et al. (2024) juga melakukan survei komprehensif mengenai berbagai sistem manajemen sampah cerdas berbasis *IoT*, menunjukkan beragam pendekatan yang telah dieksplorasi (Sharma et al., 2024).

Selain pemantauan fisik menggunakan *IoT*, sistem informasi berbasis *web* juga telah terbukti berkontribusi dalam pengelolaan sampah, khususnya dalam memfasilitasi partisipasi masyarakat. Hendradi et al. (2025) melaporkan keberhasilan pelatihan aplikasi bank sampah berbasis *web* pada Bank Sampah Berkah Sejahtera, yang mempermudah pencatatan dan transaksi, serta mendorong keterlibatan aktif masyarakat dalam daur ulang sampah [8]. Hal ini menunjukkan bahwa solusi pengelolaan sampah

yang komprehensif tidak hanya meneliti teknologi keras (seperti sensor *IoT*), tetapi juga memerlukan sistem informasi yang *user-friendly* untuk manajemen data dan interaksi dengan pengguna akhir atau komunitas.

Meskipun demikian, masih terdapat kesenjangan dalam literatur terkait integrasi yang komprehensif antara pemodelan sistem informasi yang detail dengan implementasi *IoT* untuk pemantauan level sampah secara *real-time* dan *feedback* langsung untuk optimasi rute. Banyak penelitian berfokus pada implementasi teknologi atau algoritma optimasi secara terpisah. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menjembatani kesenjangan tersebut dengan menyajikan pemodelan sistem informasi yang sistematis dan terintegrasi untuk solusi pengelolaan sampah berbasis *IoT*.

METODOLOGI PENELITIAN

1. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan Penelitian Pengembangan (*Development Research*). Peneliti berfokus pada perancangan dan pemodelan sistem informasi baru yang inovatif, yaitu sistem pemantauan level tempat sampah pintar berbasis *IoT*. Pendekatan ini relevan karena tujuan utama adalah menghasilkan model konseptual dan arsitektur sistem yang dapat menjadi panduan untuk implementasi di kemudian hari. Meskipun tidak melibatkan implementasi fisik skala penuh atau analisis data kuantitatif dari kinerja sistem yang sudah berjalan, penelitian pengembangan memungkinkan peneliti untuk menciptakan kerangka solusi yang terstruktur dan terukur.

2. Pendekatan Pemodelan Sistem

Dalam perancangan sistem informasi ini, peneliti mengadopsi Model Prototipe (*Prototyping Model*) dalam fase desain dan pemodelan. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk mengembangkan model sistem secara iteratif, yang dapat direview dan disempurnakan berdasarkan umpan balik konseptual atau kebutuhan yang teridentifikasi selama proses pemodelan. Model prototipe akan difokuskan pada representasi visual dan fungsional dari aliran data dan interaksi komponen, bukan pada pembangunan sistem operasional penuh. Ini membantu memvalidasi konsep dan arsitektur sebelum potensi implementasi riil.

3. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan utama, yang saling terkait dan berurutan:

a. Tahap Perencanaan:

1) Identifikasi Masalah

- (a) Inefisiensi Operasional Pengumpulan Sampah dimana sistem pengumpulan sampah yang berbasis jadwal tetap menyebabkan pemborosan sumber daya, seperti : Truk pengangkut sering beroperasi tidak penuh yang mana petugas saat mengelilingi rute dan menemukan tempat sampah yang masih kosong atau hanya terisi sedikit, sehingga memboroskan bahan bakar, waktu, dan tenaga kerja; Keterlambatan pengosongan tempat sampah yang meluap, dimana tempat sampah bisa meluap sebelum jadwal pengumpulan berikutnya tiba, menyebabkan penumpukan, bau tak sedap, dan ketidaknyamanan.
- (b) Kurangnya Data dan Informasi *Real-time*, dimana tidak ada visibilitas langsung terhadap kondisi tempat sampah dimana pengelola sampah tidak tahu secara pasti tempat sampah mana yang sudah penuh dan mana yang masih kosong tanpa harus melakukan pengecekan manual; Kesulitan dalam Perencanaan Rute Optimal. Tanpa data *real-time*, sulit untuk merencanakan rute pengumpulan yang paling efisien, yang hanya mengumpulkan tempat sampah yang sudah penuh.
- (c) Dampak Lingkungan dan Sosial, dimana pencemaran lingkungan dimana sampah yang meluap dapat menyebabkan pencemaran tanah, air, dan udara; Penurunan estetika kota dimana tumpukan sampah yang tidak terkelola mengurangi keindahan lingkungan; Potensi masalah kesehatan dimana sampah yang menumpuk dapat menjadi sarang penyakit.

- (d) Biaya Pengelolaan yang Tinggi yang mana kesemuanya itu berdampak inefisiensi operasional dengan peningkatan biaya pengelolaan sampah secara keseluruhan.
- 2) Identifikasi Kebutuhan
- Selanjutnya adalah merumuskan kebutuhan akan solusi yang dapat mengatasi masalah-masalah tersebut.
- (a) Kebutuhan Informasi *Real-time* tentang Level Sampah, dimana dibutuhkannya informasi akurat dan terkini mengenai tingkat kepenuhan setiap tempat sampah yang menyangkut lokasi tempat sampah dan waktu terakhir data diperbarui.
- (b) Kebutuhan Sistem Notifikasi Otomatis, dimana sistem nantinya memberikan peringatan atau notifikasi otomatis kepada pengelola ketika suatu tempat sampah mencapai ambang batas kepenuhan tertentu.
- (c) Kebutuhan *Dashboard* Pemantauan yang Informatif, dimana pengelola memperoleh antarmuka visual (*dashboard*) yang menampilkan semua informasi level sampah secara terpusat, mudah dibaca, dan *real-time*; *Dashboard* harus mampu menunjukkan lokasi tempat sampah di peta dan status kepełuhannya (misalnya, dengan kode warna).
- (d) Kebutuhan Data Historis untuk Analisis dan Perencanaan, dimana sistem harus dapat menyimpan data level sampah secara historis untuk analisis tren, identifikasi pola produksi sampah, dan perencanaan jangka panjang.
- (e) Kebutuhan Peningkatan Efisiensi Rute Pengumpulan, dimana sistem nantinya mendukung pengambilan keputusan untuk optimasi rute pengumpulan, sehingga petugas hanya mengumpulkan sampah dari tempat sampah yang benar-benar membutuhkan.
- (f) Kebutuhan Integrasi Teknologi *IoT*, dimana sistem nantinya membutuhkan penggunaan sensor pada tempat sampah dan *platform IoT* untuk pengumpulan dan pengiriman data otomatis.
- 3) Penentuan Tujuan dan Lingkup Sistem:.
- Penentuan tujuan dan lingkup sistem merupakan langkah krusial dalam fase perencanaan. Ini membantu memastikan bahwa pengembangan sistem terfokus dan selaras dengan kebutuhan yang telah diidentifikasi.
- a) Tujuan Sistem
- Tujuan utama dari pemodelan sistem informasi berbasis *IoT* ini adalah mengoptimalkan pengelolaan sampah perkotaan di Desa Rawa Panjang, Bojong gede, Bogor melalui pemantauan level tempat sampah secara *real-time*. Secara spesifik, sistem ini bertujuan untuk:
- (1) Memantau Level Sampah *Real-time*: Sistem harus mampu secara otomatis mendeteksi dan mengirimkan data tingkat kepenuhan setiap tempat sampah yang dilengkapi sensor ke *platform* pusat secara terus-menerus.
 - (2) Menyediakan Informasi Akurat untuk Pengambilan Keputusan: Memberikan dashboard yang informatif dan mudah diakses bagi pengelola sampah, menampilkan data level sampah terkini, lokasi, dan status, sehingga memungkinkan pengambilan keputusan yang didukung data.
 - (3) Memfasilitasi Optimasi Rute Pengumpulan: Sistem ini bertujuan untuk menyediakan informasi yang dibutuhkan pengelola agar dapat merencanakan dan menyesuaikan rute pengumpulan sampah secara dinamis, sehingga hanya tempat sampah yang mendekati atau sudah penuh yang dikunjungi.
 - (4) Meningkatkan Efisiensi Operasional: Dengan memungkinkan optimasi rute, sistem ini bertujuan untuk mengurangi biaya operasional terkait bahan bakar, waktu kerja, dan sumber daya manusia dalam proses pengumpulan sampah.
 - (5) Mencegah Penumpukan Sampah: Melalui notifikasi dini dan pemantauan aktif, sistem diharapkan dapat meminimalkan insiden tempat sampah meluap, sehingga meningkatkan kebersihan dan estetika lingkungan.
- b) Lingkup Sistem

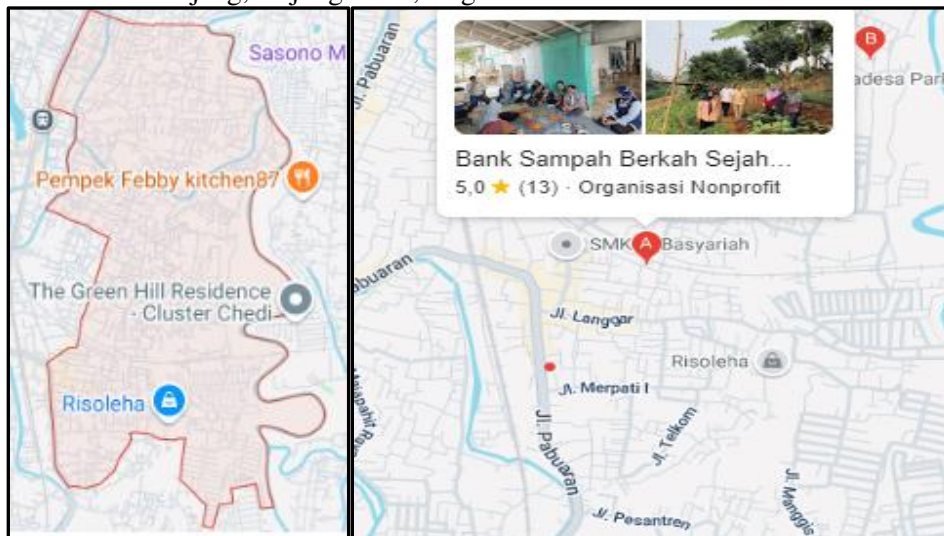
Lingkup sistem ini mendefinisikan batasan-batasan proyek, menguraikan apa yang akan dan tidak akan dicakup oleh pemodelan sistem informasi ini.

- c) Cakupan Sistem:
- (1) Modul Pemantauan Sensor: Meliputi perancangan interaksi antara sensor ultrasonik dengan mikrokontroler (*ESP32/ESP8266*) untuk akuisisi data level sampah.
 - (2) Modul Komunikasi Data: Memodelkan mekanisme pengiriman data dari perangkat *IoT* ke *cloud platform* menggunakan protokol komunikasi seperti *MQTT* melalui *Wi-Fi*.
 - (3) Modul *Cloud Platform* dan Basis Data: Merancang bagaimana data diterima, diproses, dan disimpan di *cloud platform* (seperti *ThingSpeak* sebagai contoh implementasi sederhana, atau konsep layanan *AWS IoT/GCP IoT*) serta struktur basis data untuk penyimpanan data *time-series*.
 - (4) Modul Visualisasi *Dashboard*: Merancang antarmuka pengguna berbasis *web* (*dashboard*) untuk menampilkan informasi level sampah secara *real-time*, lokasi tempat sampah pada peta, dan ringkasan status.
 - (5) Modul Notifikasi Dasar: Memodelkan sistem notifikasi otomatis (seperti *trigger* berbasis ambang batas kepenuhan) yang akan dikirimkan kepada pengelola.
- d) Batasan Sistem:
- (1) Fokus pada Pemodelan Konseptual: Penelitian ini berfokus pada pemodelan dan perancangan sistem informasi dan tidak mencakup implementasi fisik purwarupa skala penuh di lapangan atau pengujian kinerja sistem yang telah berjalan secara aktual.
 - (2) Tanpa Optimasi Rute Otomatis: Meskipun sistem memfasilitasi optimasi rute, pemodelan algoritma optimasi rute otomatis (seperti algoritma *traveling salesman problem* tingkat lanjut) tidak termasuk dalam lingkup penelitian ini. Sistem hanya menyediakan data yang relevan untuk pengambilan keputusan manual dalam optimasi rute.
 - (3) Tidak Mencakup Aspek Pemeliharaan Perangkat Keras: Penelitian ini tidak membahas secara detail prosedur pemeliharaan perangkat keras *IoT* (sensor, mikrokontroler) yang terpasang pada tempat sampah.
 - (4) Asumsi Ketersediaan Infrastruktur Jaringan: Pemodelan ini mengasumsikan adanya ketersediaan infrastruktur jaringan dasar (*Wi-Fi*) di area penempatan tempat sampah pintar untuk pengiriman data.
 - (5) Studi Kasus Konseptual: Penggunaan "Desa Rawa Panjang, Bojong Gede" sebagai studi kasus adalah untuk memberikan konteks nyata dan spesifik pada pemodelan, namun implementasi riil dan validasi di lokasi tersebut berada di luar lingkup penelitian ini.
- b. Tahap Analisis Kebutuhan Sistem:
- 1) Pengumpulan Kebutuhan Fungsional dan Non-Fungsional: Mengidentifikasi fungsi-fungsi inti yang harus dimiliki sistem (seperti: membaca sensor, mengirim data, menampilkan *dashboard*) dan kebutuhan non-fungsional (seperti: kepenelitian, skalabilitas, keamanan data). Ini dilakukan melalui analisis dokumen, studi kasus serupa, dan wawancara informal dengan pengelola sampah atau ahli.
 - 2) Analisis Proses Bisnis: Memetakan alur kerja pengelolaan sampah saat ini dan mengidentifikasi bagaimana sistem yang diusulkan dapat mengoptimalkan alur tersebut, khususnya dalam konteks pengumpulan sampah.
- c. Tahap Desain Pemodelan Sistem:
- 1) Perancangan Arsitektur Sistem *IoT*: Menggambarkan komponen utama sistem (perangkat *IoT*, protokol komunikasi, *cloud platform*) dimana saling terintegrasi yang mencakup spesifikasi logis dari setiap komponen.

- 2) Pemodelan Data: Mendesain struktur data yang dibutuhkan untuk menyimpan informasi level sampah, lokasi tempat sampah, dan metadata terkait. Ini direpresentasikan dengan Diagram Entitas-Relasi (*ERD*) konseptual.
- 3) Pemodelan Proses Bisnis Sistem: Menggunakan Diagram Arus Data (*DFD*) untuk memvisualisasikan aliran informasi dari sensor ke *dashboard* pengambilan keputusan, menunjukkan transformasi data pada setiap tahapan.
- 4) Perancangan Antarmuka Pengguna Konseptual: Mendesain tampilan dasar *dashboard* pemantauan level sampah, termasuk elemen-elemen visual dan informasi kunci yang akan disajikan kepada pengelola sampah.

4. Lokasi Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada pemodelan sistem yang relevan untuk konteks pengelolaan sampah di Desa Rawa Panjang, Bojong Gede, Bogor.

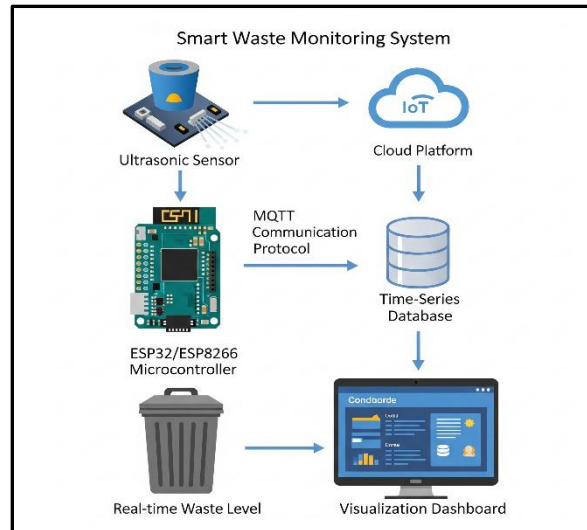


Gambar 1 : peta lokasi penelitian

5. Alat dan Bahan (*Tools dan Platform*) dalam Konteks Pemodelan

Dalam konteks pemodelan sistem informasi ini, "alat dan bahan" merujuk pada perangkat lunak dan kerangka kerja konseptual yang digunakan untuk membuat model.

- a. Perangkat Lunak Pemodelan:
 - 1) *UML (Unified Modeling Language) Tools*: menggunakan *Use Case Diagram* diperlukan untuk analisis kebutuhan dengan *tools Microsoft Visio*
 - 2) *Software Desain UI/UX* : membuat *mockup* atau *wireframe* dari *dashboard* diperlukan untuk visualisasi konsep antarmuka.
- b. **Kerangka Konseptual Teknologi:**
 - 1) Konsep Sensor Ultrasonik: Sebagai perangkat input data level sampah.
 - 2) Konsep Mikrokontroler *ESP32/ESP8266*: Sebagai *edge device* untuk pengolahan dan transmisi data.
 - 3) Protokol Komunikasi *MQTT*: Sebagai dasar protokol pengiriman data antar perangkat.
 - 4) *Platform Cloud IoT* (konseptual): Sebagai *backend* untuk penerimaan, penyimpanan, dan pemrosesan data (yaitu *ThingSpeak* sebagai contoh implementasi sederhana, atau *AWS IoT Core/GCP IoT Core* sebagai referensi arsitektur skalabel).
 - 5) Konsep Database *Time-Series*: Untuk penyimpanan data sensor.
 - 6) Konsep *Dashboard* Visualisasi: Untuk representasi informasi kepada pengguna.



Gambar 2: Kerangka Konseptual Teknologi

6. Teknik Analisis Data (untuk Pemodelan)

Dalam konteks pemodelan sistem informasi tanpa implementasi fisik, teknik analisis data lebih berfokus pada analisis kebutuhan dan evaluasi desain konseptual.

- Analisis Kebutuhan Sistem:** Menganalisis data kualitatif dari studi literatur, observasi, atau wawancara informal untuk mengidentifikasi kebutuhan fungsional dan non-fungsional sistem.
- Analisis Desain (*Design Analysis*):** Menganalisis model-model yang telah dibuat (*DFD*, *ERD*, *Arsitektur Sistem*) untuk memastikan konsistensi, kelengkapan, dan kesesuaiannya dengan kebutuhan yang telah diidentifikasi. Ini dapat melibatkan tinjauan silang dengan prinsip-prinsip desain sistem informasi yang baik.
- Evaluasi Konseptual:** Melakukan penilaian terhadap kelayakan teknis dan operasional dari model yang diusulkan berdasarkan literatur dan pengalaman para ahli.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Analisis Kebutuhan Sistem

Di sub-bagian ini, Peneliti akan menyajikan temuan kunci dari tahap analisis. Ini adalah fondasi mengapa model Penelitian ini diperlukan.

- Identifikasi Masalah Konvensional:**
Inefisiensi dan permasalahan yang sering muncul dalam pengelolaan sampah konvensional di Desa Rawa Panjang atau area perkotaan sejenis. Fokus pada masalah yang akan dipecahkan oleh sistem Peneliti, seperti:
 - Pengumpulan tidak efisien (truk sering kosong atau terlalu penuh).
 - Penumpukan sampah yang tidak terkelola.
 - Kurangnya data *real-time* untuk pengambilan keputusan.
- Kebutuhan Fungsional Sistem:**
Daftar fungsi-fungsi utama yang dapat dilakukan oleh sistem informasi yang dimodelkan. Seperti:
 - Sistem akan dapat membaca level sampah dari sensor secara otomatis.
 - Sistem akan dapat mengirimkan data level sampah ke *cloud platform*.
 - Sistem akan dapat menyimpan data level sampah beserta timestamp dan lokasi.
 - Sistem akan dapat menampilkan level sampah terkini dalam bentuk *dashboard* yang mudah dipahami.
 - Sistem akan dapat memberikan notifikasi otomatis jika level sampah mencapai ambang batas tertentu.

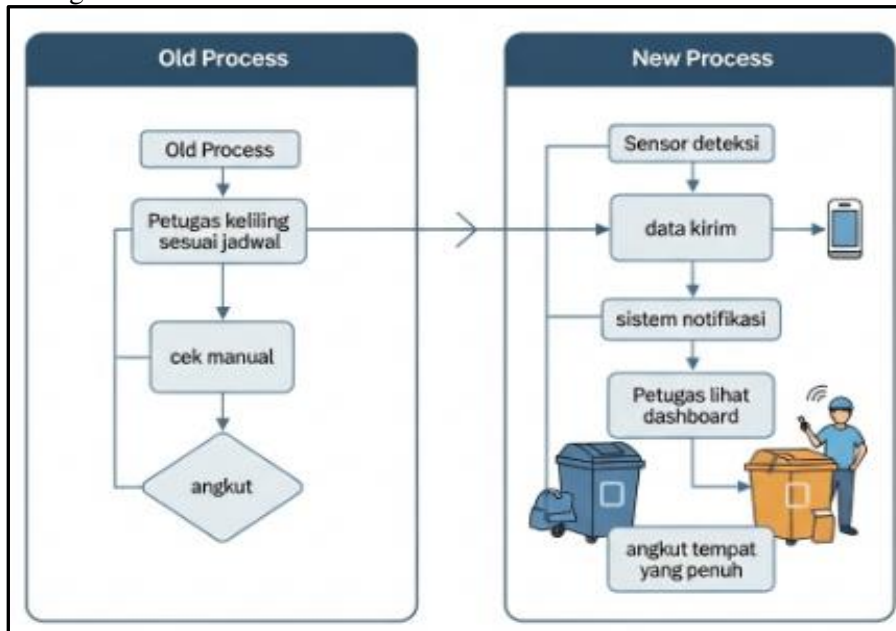
c. Kebutuhan Non-Fungsional Sistem:

Berikut adalah karakteristik kualitas yang harus dimiliki sistem, yaitu:

- a) Kepenelitian: Data sensor akan akurat dan pengiriman data stabil.
- b) Skalabilitas: Sistem akan mampu menampung penambahan jumlah tempat sampah di masa mendatang.
- c) Keamanan Data: Data yang dikirim dan disimpan akan terlindungi.
- d) Kemudahan Penggunaan (*Usability*): *Dashboard* akan intuitif bagi pengelola sampah.

d. Gambaran Proses Bisnis yang Diusulkan:

Peneliti menggunakan teks naratif atau Diagram Proses Bisnis sederhana yang menunjukkan perbandingan alur lama vs. alur baru.



Gambar 3: proses lama dan proses baru

Tabel 1: penjelasan proses lama dan proses baru

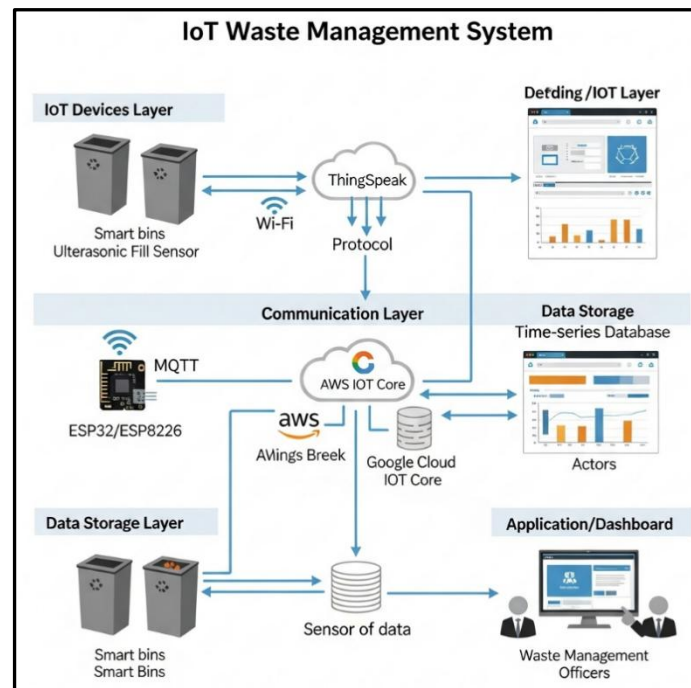
Proses Lama	Proses Baru
<p>a. Petugas keliling sesuai jadwal: Aktivitas ini menunjukkan bahwa petugas pengumpul sampah beroperasi berdasarkan jadwal rutin yang telah ditentukan. Mereka mungkin memiliki rute tetap dan waktu spesifik untuk mengunjungi setiap area atau tempat sampah.</p> <p>b. Cek manual: Saat tiba di lokasi tempat sampah, petugas harus secara fisik memeriksa kondisi tempat sampah. Mereka melihat langsung apakah tempat sampah sudah penuh, setengah penuh, atau masih kosong. Ini adalah proses yang memakan waktu dan bergantung pada observasi manusia.</p> <p>c. Angkut: Berdasarkan hasil pengecekan manual, petugas kemudian memutuskan apakah sampah perlu diangkut atau tidak. Jika tempat sampah penuh, mereka akan mengosongkannya. Jika tidak penuh, mereka mungkin tetap mengangkutnya (sesuai jadwal) atau meninggalkannya, yang bisa menyebabkan ketidakefisienan.</p>	<p>a. Sensor deteksi: Ini adalah titik awal dari proses baru. Sensor (misalnya, sensor ultrasonik) yang terpasang di tempat sampah secara otomatis dan <i>real-time</i> mendeteksi level kepenuhan sampah di dalamnya.</p> <p>b. Data kirim: Data level sampah yang dideteksi oleh sensor kemudian secara otomatis dikirimkan melalui jaringan komunikasi (misalnya, Wi-Fi menggunakan protokol <i>MQTT</i>) ke platform <i>cloud</i> pusat.</p> <p>c. Sistem notifikasi: Platform <i>cloud</i> yang menerima data akan memprosesnya. Jika level sampah mencapai ambang batas tertentu (misalnya, 80% penuh), sistem akan secara otomatis memicu notifikasi. Notifikasi ini bisa berupa email, SMS, atau peringatan di <i>dashboard</i>.</p> <p>d. Petugas lihat <i>dashboard</i>: Petugas pengelola sampah atau supervisor tidak lagi harus keliling untuk mengecek secara manual. Mereka cukup melihat dashboard aplikasi web (yang merupakan bagian dari sistem informasi Anda). <i>Dashboard</i> ini menampilkan peta lokasi tempat sampah dengan status warnanya (penuh, setengah penuh, kosong) dan daftar notifikasi.</p> <p>e. Angkut tempat yang penuh: Berdasarkan informasi <i>real-time</i> dari <i>dashboard</i>, petugas dapat merencanakan rute pengumpulan yang lebih optimal. Mereka hanya perlu pergi ke tempat sampah yang benar-benar membutuhkan pengosongan, sehingga menghemat waktu, bahan bakar, dan sumber daya.</p>

2. Hasil Desain Pemodelan Sistem

Ini adalah bagian paling krusial untuk menampilkan "produk" dari pemodelan Peneliti. Pastikan setiap diagram jelas dan dilengkapi penjelasan.

a. Arsitektur Sistem *IoT* yang Diusulkan

Berikut adalah gambar diagram yang menunjukkan semua komponen utama dan bagaimana terjadinya interaksi antar komponen.



Gambar 4: Arsitektur Sistem *IoT* Pengelolaan Sampah

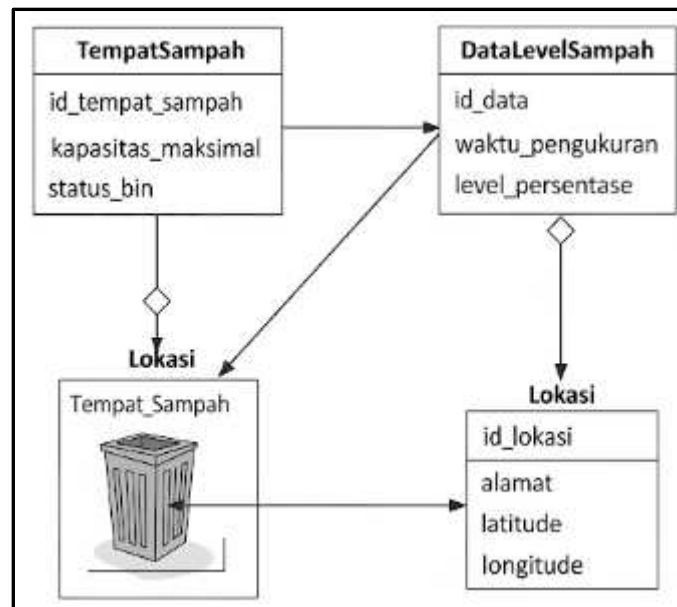
Berikut penjabaran visual yang menjelaskan komponen-komponen utama dan aliran data dalam sistem:

1. Lapisan Perangkat Keras (*IoT Devices*): Terlihat *Smart bins* yang dilengkapi dengan *Ultrasonic fill sensor* untuk mendeteksi level sampah, dan *ESP32/ESP8266 microcontrollers* yang berfungsi sebagai otak perangkat untuk memproses data sensor.
2. Lapisan Komunikasi: Data dari mikrokontroler dikirimkan melalui *Wi-Fi* menggunakan protokol *MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)*, yang dikenal ringan dan efisien untuk perangkat *IoT*.
3. Lapisan Cloud/Platform *IoT*: Data yang dikirimkan kemudian diterima oleh platform *cloud* seperti *ThingSpeak*, *AWS IoT Core*, atau *Google Cloud IoT Core*. Platform ini berperan sebagai *broker* pesan, mengelola koneksi perangkat, dan menyediakan layanan untuk menyimpan serta memproses data awal.
4. Lapisan Penyimpanan Data (Database): Data yang telah diolah di *cloud* kemudian disimpan dalam *Store Dedicated Database*, yang secara konseptual bisa berupa *time-series database* untuk efisiensi penyimpanan data sensor berkelanjutan.
5. Lapisan Aplikasi/Dashboard: Data dari database diakses dan ditampilkan melalui *Application Layer* berupa *web dashboard*. Di sini, *Real-time waste level monitoring*, *Alerts for bin fullness*, dan *Route Optimization* ditampilkan.
6. Aktor: *Waste Management Officers* (Petugas Pengelola Sampah) adalah aktor yang berinteraksi langsung dengan *web dashboard* untuk memantau kondisi tempat sampah dan mengambil keputusan.

Panah-panah dalam diagram menunjukkan aliran data yang jelas dari sensor hingga ke tangan pengelola sampah, menggambarkan bagaimana sistem ini bekerja secara terintegrasi.

b. Model Data (Diagram Entitas-Relasi Konseptual)

Diagram Entitas-Relasi (*ERD*) konseptual yang Peneliti buat berfokus pada entitas-entitas utama dan hubungan diantaranya. Berikut adalah gambarnya.



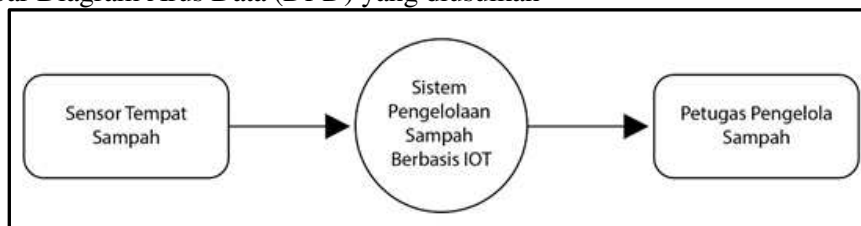
Gambar 5: Diagram Entitas-Relasi Konseptual Sistem Pemantauan Sampah

Penjelasan.

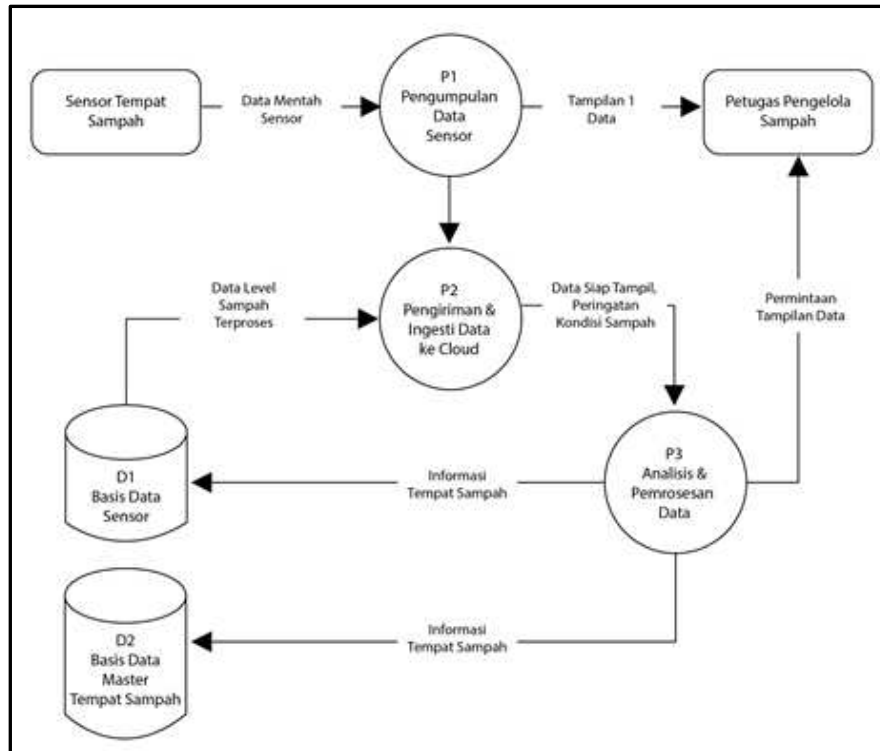
- 1) Entitas: terdapat entitas-entitas utama yang diperlukan untuk menyimpan data yaitu TempatSampah, DataLevelSampah, Lokasi
- 2) Atribut: terdapat atribut kunci untuk setiap entitas yaitu untuk TempatSampah: id_tempat_sampah, kapasitas_maksimal, status_bin; untuk lokasi: id_lokasi, alamat, latitude, longitude; untuk DataLevelSampah: id_data, waktu_pengukuran, level_persentase
- 3) Relasi: terdapat hubungan antar entitas yaitu satu TempatSampah memiliki banyak DataLevelSampah

c. Model Proses Sistem (Diagram Arus Data)

Gambar Diagram Arus Data (DFD) yang diusulkan



Gambar 6: Diagram Arus Data Level 0 Sistem Pemantauan Sampah



Gambar 7: Diagram Arus Data Level 1 Sistem Pemantauan Sampah

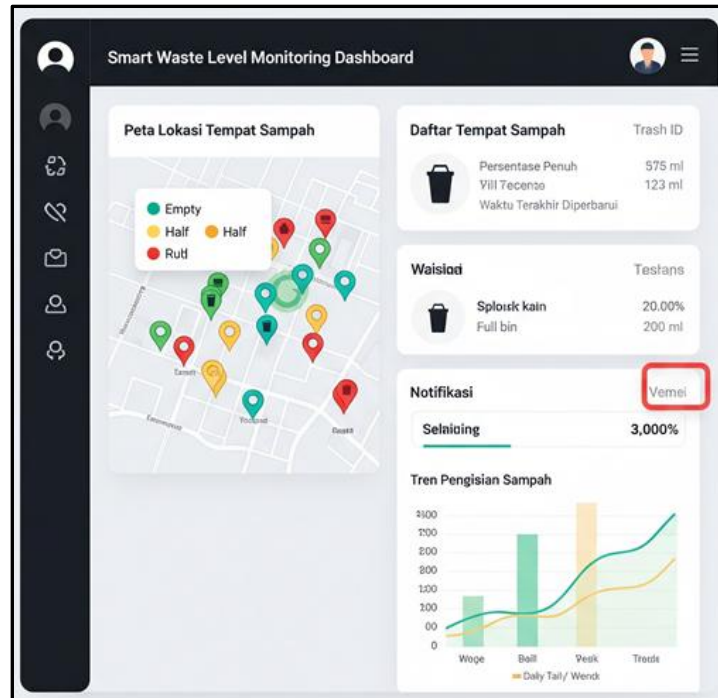
Penjelasan:

DFD Level 0 (Diagram Konteks): Telihat sistem sebagai satu proses tunggal dan bagaimana interaksi dengan entitas eksternal (seperti: Sensor, Petugas Pengelola Sampah).

DFD Level 1: merupakan detail proses utama menjadi sub-proses yang lebih detail (seperti: "Pengumpulan Data Sensor", "Pengiriman Data ke *Cloud*", "Penyimpanan Data", "Visualisasi Data"). Terdapat aliran data antar proses dan penyimpanan data.

d. Desain Antarmuka Pengguna Konseptual (*Dashboard*)

Gambar *mockup* dari *dashboard* yang diusulkan.



Gambar 8: Mockup Desain Dashboard Pemantauan Level Sampah

Penjelasan:

- 1) Elemen-elemen kunci pada *dashboard* diantaranya adalah grafik *real-time* level sampah, peta dengan ikon tempat sampah, daftar notifikasi, ringkasan statistik.
- 2) Terdapat informasi yang akan ditampilkan kepada pengelola sampah dan bagaimana informasi tersebut mendukung pengambilan keputusan.

3. Pembahasan Hasil Pemodelan

Di sub-bagian ini, Peneliti akan menganalisis dan menginterpretasikan pemodelan ini.

a. Analisis Desain yang Diusulkan:

- 1) Kesesuaian dengan Kebutuhan bahwa setiap elemen desain (arsitektur, *ERD*, *DFD*, *UI* konseptual) secara langsung memenuhi kebutuhan fungsional dan non-fungsional yang telah Peneliti identifikasi di bagian 4.1.
- 2) Rasionalisasi Pilihan Teknologi, bahwa peneliti memilih komponen teknologi spesifik seperti *ESP32*, *MQTT*, *ThingSpeak* sebagai contoh *cloud platform* berdasarkan karakteristiknya yang sesuai untuk pemantauan sampah dengan pertimbangan efisiensi daya, biaya rendah, kemudahan implementasi.

b. Implikasi dan Manfaat Potensial:

Penerapan model sistem informasi ini dapat mengoptimalkan pengelolaan sampah di Desa Rawa Panjang. Fokus pada aspek konkret seperti:

- 1) Peningkatan Efisiensi Pengumpulan: Sistem memungkinkan rute pengumpulan yang dinamis, mengurangi perjalanan kosong dan biaya bahan bakar.
- 2) Pencegahan Penumpukan: Notifikasi *real-time* dapat mencegah tempat sampah meluap.
- 3) Pengambilan Keputusan Berbasis Data: Pengelola memiliki informasi akurat untuk perencanaan dan alokasi sumber daya.
- 4) Potensi Dampak Lingkungan dan Sosial: Terkait dengan lingkungan yang lebih bersih, kesehatan masyarakat, dan potensi peningkatan partisipasi jika sistem berkembang.

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menyajikan pemodelan konseptual sebuah Sistem Pemantauan Sampah Pintar berbasis *Internet of Things (IoT)* yang dirancang untuk mengatasi inefisiensi pengelolaan sampah konvensional, khususnya di wilayah seperti Desa Rawa Panjang, Bojong Gede, Bogor.

Melalui identifikasi masalah yang jelas seperti inefisiensi operasional, kurangnya data *real-time*, dan dampak lingkungan, penelitian ini merumuskan kebutuhan akan solusi yang dapat memantau level sampah secara *real-time*, memfasilitasi optimasi rute, dan meningkatkan efisiensi.

Model sistem yang diusulkan terdiri dari beberapa lapisan kunci:

- Lapisan Perangkat Keras (*IoT Devices*): Menggunakan sensor ultrasonik untuk deteksi level sampah dan mikrokontroler *ESP32/ESP8266* sebagai otak perangkat.
- Lapisan Komunikasi: Memanfaatkan protokol *MQTT* melalui Wi-Fi untuk pengiriman data yang ringan dan efisien.
- Lapisan *Cloud/Platform IoT*: Berfungsi sebagai *broker* pesan, penerima, dan penyimpan data, dengan contoh konseptual seperti *ThingSpeak*, *AWS IoT Core*, atau *GCP IoT Core*.
- Lapisan Penyimpanan Data: Menggunakan konsep Database *Time-Series* yang efisien untuk menampung data sensor berkelanjutan.
- Lapisan Aplikasi/*Dashboard*: Menyediakan antarmuka pengguna berbasis *web* untuk visualisasi *real-time* status sampah, notifikasi, dan tampilan tren pengisian sampah.

Analisis proses bisnis menunjukkan pergeseran signifikan dari alur kerja pengumpulan sampah yang berbasis jadwal dan manual menuju pendekatan yang berbasis data dan *on-demand*. *DFD Level 0* menggambarkan sistem sebagai entitas tunggal yang berinteraksi dengan Sensor Tempat Sampah dan Petugas Pengelola Sampah, sedangkan *DFD Level 1* merinci sub-proses internal mulai dari Pengumpulan Data Sensor, Pengiriman & Ingesti Data ke *Cloud*, Penyimpanan Data, Analisis & Pemrosesan Data, hingga Visualisasi & Notifikasi.

ERD konseptual berhasil memodelkan hubungan antara entitas Lokasi, Tempat_Sampah, dan Data_Level_Sampah, membentuk fondasi yang kuat untuk struktur basis data sistem. Desain *mockup dashboard* menunjukkan antarmuka yang intuitif dengan peta berkode warna, daftar tempat sampah, notifikasi, dan grafik tren, yang secara langsung mendukung kebutuhan operasional pengelola sampah. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kerangka konseptual yang komprehensif untuk pembangunan sistem pemantauan sampah pintar berbasis *IoT*. Model yang diusulkan berpotensi besar untuk meningkatkan efisiensi, mengurangi biaya operasional, dan memperbaiki kualitas lingkungan melalui pengelolaan sampah yang lebih cerdas dan responsif. Meskipun penelitian ini berfokus pada pemodelan konseptual, hasilnya menjadi dasar yang kuat untuk pengembangan dan implementasi sistem di masa mendatang.

2. Saran

Berdasarkan hasil dan keterbatasan, saran untuk penelitian atau pengembangan selanjutnya, diantaranya:

- Pengembangan purwarupa fisik dan implementasi pilot di Desa Rawa Panjang, Bojong Gede, Bogor.
- Pengujian kinerja sistem secara kuantitatif (akurasi sensor, latensi data).
- Pengembangan algoritma optimasi rute otomatis yang terintegrasi dengan data *real-time*.
- Penambahan sensor lain seperti sensor bau dan sensor berat.
- Pengembangan aplikasi *mobile* untuk warga atau petugas.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, H., Indrastuti, S., & Rahman, F. A. (2019). *Islamic Marketing Management Information System Model*.
- Aja, O. C., & Al-Kayiem, H. H. (2014). Review of municipal solid waste management options in Malaysia, with an emphasis on sustainable waste-to-energy options. *Journal of Material Cycles*
- Jurnal TechLINK Volume 9 Edisi 1, April 2025

- and Waste Management*, 16(4), 693–710.
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805.
- Dennis, A., Wixom, B., & Tegarden, D. (2015). *Systems analysis and design: An object-oriented approach with UML*. John Wiley & Sons.
- Dogra, R., Rani, S., Kavita, Shafi, J., Kim, S., & Ijaz, M. F. (2022). ESEERP: Enhanced smart energy efficient routing protocol for internet of things in wireless sensor nodes. *Sensors*, 22(16), 6109.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660.
- Gusdevi, H., Hadhiwibowo, A., Agustina, N., Fatah, A., & Naseer, M. (2023). Timbangan berbasis iot untuk pemantauan dan pengelolaan sampah organik pada smart waste management di desa manyingsal. *Naratif: Jurnal Nasional Riset, Aplikasi Dan Teknik Informatika*, 5(2), 162–170.
- Hendrardi, P., Kurniawan, W., Dewi, Y. S., Kusumawati, K., Nurhayati, N., & Chafid, N. (2025). PELATIHAN APLIKASI BANK SAMPAH BERBASIS WEB PADA BANK SAMPAH BERKAH SEJAHTERA DESA RAWA PANJANG. *Jurnal AbdiMas Nusa Mandiri*, 7(1), 1–8.
- Hoorweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). *What a waste: a global review of solid waste management*.
- Kurfess, T. R., Saldana, C., Saleeby, K., & Dezfouli, M. P. (2020). A review of modern communication technologies for digital manufacturing processes in industry 4.0. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 142(11).
- Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2004). *Management information systems: Managing the digital firm*. Pearson Educación.
- Nowakowski, P. (2017). A proposal to improve e-waste collection efficiency in urban mining: Container loading and vehicle routing problems--A case study of Poland. *Waste Management*, 60, 494–504.
- Paturi, M., Puvvada, S., Ponnuru, B. S., Simhadri, M., Egala, B. S., & Pradhan, A. K. (2021). Smart solid waste management system using blockchain and IoT for smart cities. *2021 IEEE International Symposium on Smart Electronic Systems (ISES)*, 456–459.
- Sharma, A., Singh, K. J., Kapoor, D. S., Thakur, K., & Mahajan, S. (2024). The role of IoT in environmental sustainability: Advancements and applications for smart cities. In *Mobile crowdsensing and remote sensing in smart cities* (pp. 21–39). Springer.
- Valacich, J. S., George, J. F., & Valacich, J. S. (2022). Modern systems analysis and design (2017). *Google Sch. Google Sch. Digit. Libr. Digit. Libr.*
- Waste, V. S. (n.d.). 9 FROM THE STREET TO THE (ART) WORKSHOP AND BACK AGAIN. *Visualizing Loss in Latin America*, 172.
- Zurbrugg, C. (2003). Solid waste management in developing countries. *SWM Introductory Text on Wwww. Sanicon. Net*, 5.