

Pengembangan pada Backend dari aplikasi SmartBin untuk Sistem Tempat Sampah Pintar Berbasis IoT dengan Fitur GPS

1st M. Iqbal Khairullah
Program Studi Teknik Telekomunikasi
Fakultas Teknik Elektro, Universitas
Telkom
Bandung, Indonesia
mohiqbalkhairullah@telkomuniversity.
ac.id

2nd Dr. Sofia Naning Hertiana, Ir., M.T
Program Studi Teknik Telekomunikasi
Fakultas Teknik Elektro, Universitas
Telkom
Bandung, Indonesia
sofiananing@telkomuniversity.ac.id

3rd Sussi, S.Si., MT
Program Studi Teknik Telekomunikasi
Fakultas Teknik Elektro, Universitas
Telkom
Bandung, Indonesia
sussiss@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Masalah pengelolaan limbah di perguruan tinggi masih menjadi tantangan rumit akibat rendahnya kepedulian separasi sampah dan terbatasnya sistem monitoring real-time. Kondisi ini sering menimbulkan akumulasi limbah yang tidak optimal sehingga berdampak buruk bagi ekosistem. Sebagai respons dikembangkan wadah sampah cerdas berbasis Internet of Things (IoT). Perangkat ini mampu mengidentifikasi dan mengklasifikasikan tiga kategori limbah yaitu logam, organik, dan anorganik dengan sensor proximity, gas, serta ultrasonik. Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pemroses utama untuk mengkoordinasikan sensor sekaligus mentransmisikan informasi ke platform cloud. Data kategori sampah dan kapasitas wadah dapat diakses melalui aplikasi SmartBin pada Android. Aplikasi menyediakan notifikasi otomatis ketika volume sampah mencapai batas maksimal dan menampilkan informasi status tempat sampah secara real-time. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem bekerja stabil dalam klasifikasi maupun monitoring, sehingga memudahkan manajemen limbah berbasis digital. Inovasi ini berpotensi menjadi solusi jangka panjang untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan limbah, sekaligus mendorong partisipasi publik dalam menjaga kebersihan lingkungan, khususnya di kawasan akademik dan infrastruktur publik. Dengan memanfaatkan teknologi IoT, sistem ini tidak hanya mendukung efisiensi pengelolaan tetapi juga berkontribusi pada peningkatan kesadaran masyarakat terhadap praktik pengelolaan limbah yang berkelanjutan.

Kata kunci : Aplikasi, IoT, Tempat Sampah

I. PENDAHULUAN

Pengelolaan limbah masih menjadi salah satu isu lingkungan yang kompleks khususnya di kawasan perguruan tinggi yang aktivitas manusianya cenderung masif. Kegiatan sehari-hari selalu menghasilkan sisa makanan, kemasan dan limbah industri yang sering berdampak negatif terhadap lingkungan. Jumlah sampah yang dihasilkan sering kali tidak sebanding dengan kapasitas tempat penampungan yang tersedia. Lambatnya proses pengolahan sampah memperparah penumpukan seperti yang sering terjadi di lingkungan kampus di mana tim kebersihan terlambat menangani wadah yang sudah penuh.

Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 Pasal 1 ayat (1) tentang Pengelolaan Sampah menegaskan bahwa setiap orang wajib mengurangi dan menangani sampah dengan cara berwawasan lingkungan. Tingginya volume sampah yang dihasilkan membuat pengelolaan menjadi sulit. Sampah pada dasarnya terbagi menjadi tiga jenis yakni organik, anorganik dan B3. Di lingkungan kampus sebagian besar sampah masih tercampur dan tidak dipilah sesuai kategori sehingga menyulitkan proses daur ulang maupun pengolahan lanjutan. Penyediaan tempat sampah terpisah memang dapat membantu namun praktiknya tidak efektif karena sebagian besar pengguna belum disiplin dalam memilah sampah.

Perkembangan teknologi digital dapat menjadi solusi alternatif. Sensor berbasis *Internet of Things* (IoT) misalnya mampu mengenali material organik maupun anorganik sekaligus memantau volume wadah secara *real-time*. Teknologi ini memungkinkan integrasi sistem monitoring sampah dengan aplikasi digital sehingga lebih mudah digunakan oleh manusia. Dengan penerapan sistem tempat sampah pintar diharapkan masalah penumpukan limbah di kampus dapat dikurangi secara signifikan.

Analisis terhadap permasalahan menunjukkan adanya empat aspek utama. Aspek perilaku manusia yang ditandai dengan rendahnya kesadaran mahasiswa dalam melakukan klasifikasi sampah meskipun fasilitas sudah tersedia [1]. Aspek teknologi yang menawarkan peluang melalui sistem IoT untuk menggantikan metode manual yang terbatas. Aspek lingkungan yang sangat dipengaruhi oleh pengelolaan sampah di mana penerapan IoT dapat berkontribusi pada pengurangan emisi gas rumah kaca, pencegahan pencemaran tanah dan air serta adaptasi terhadap perubahan iklim [2]–[4]. Aspek manajemen yang menuntut adanya perencanaan strategis dalam pengurangan sampah dan peningkatan daur ulang [5], implementasi edukasi bagi pengguna [6] dan mitigasi risiko dalam menghadapi kegagalan sistem [7].

Kajian terdahulu juga menunjukkan beberapa solusi yang sudah pernah diimplementasikan. Penelitian “*The Effectiveness of Utilizing IoT-Based Smart Trash*” mengungkapkan bahwa sistem tempat sampah pintar memiliki sejumlah keunggulan seperti kemampuan

memantau ketinggian sampah secara *real-time*, notifikasi status wadah dan akses online jarak jauh yang meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi pengelolaan [8]. Penelitian ini masih memiliki kelemahan di antaranya hanya mampu mengukur tinggi tanpa memperhitungkan berat atau volume, ketergantungan pada koneksi internet dan penggunaan bank daya yang perlu diisi ulang secara rutin. Penelitian ini juga terbatas karena masih berupa prototipe laboratorium menggunakan sensor tunggal yang kurang representatif dan belum teruji di kondisi nyata [8].

Solusi lain dapat ditemukan pada penelitian "*Pembuatan Tempat Sampah Pintar Berbasis Arduino Uno*." Sistem ini menggunakan komponen sederhana seperti Arduino Uno, sensor ultrasonik HC-SR04, motor servo, *buzzer* dan LED. Keunggulannya adalah kemudahan pemakaian, notifikasi ketika sampah penuh dan potensi pengembangan fitur tambahan [9]. Sistem ini juga memiliki kekurangan di antaranya hanya efektif untuk sampah kering, membutuhkan daya listrik yang stabil, biaya produksi lebih tinggi dibandingkan tempat sampah konvensional dan memerlukan pemeliharaan rutin. Penelitian ini belum membahas ketahanan terhadap cuaca, efisiensi energi maupun skalabilitas produksi [9].

Berdasarkan analisis tersebut tugas akhir ini bertujuan untuk merancang dan mensimulasikan sistem tempat sampah pintar berbasis IoT dengan fitur GPS. Sistem ini diharapkan mampu melakukan pemilahan tiga jenis sampah utama (logam, organik, dan anorganik), melakukan monitoring volume dengan sensor ketinggian dan mengirimkan data ke cloud secara *real-time* agar dapat diakses melalui aplikasi Android oleh petugas kebersihan. Integrasi sistem ini juga memungkinkan penyediaan titik koordinat lokasi tempat sampah secara akurat sehingga pengelolaan limbah menjadi lebih efisien dan sistematis.

Penelitian ini dibatasi pada beberapa ruang lingkup yaitu sistem hanya dapat mengenali tiga kategori sampah berdasarkan deteksi sensor pada bagian luar monitoring volume terbatas pada pembacaan ketinggian data hanya dapat diperbarui jika terhubung internet aplikasi berfungsi untuk mendeteksi volume dan lokasi serta memberikan notifikasi melalui akun Gmail yang sudah ditentukan dan perangkat hanya digunakan untuk area luar ruangan agar GPS dapat berfungsi optimal.

II. KAJIAN TEORI

A. Tempat Sampah Pintar

Tempat sampah pintar merupakan inovasi teknologi yang memanfaatkan sensor untuk mendeteksi kapasitas, jarak objek dan melakukan kontrol otomatis terhadap jenis sampah [10]. Sistem ini dirancang untuk mengelola sampah lebih efektif sekaligus meningkatkan kesadaran masyarakat dengan dukungan mikrokontroler dan IoT yang memungkinkan pemantauan jarak jauh [11]. Berbeda dengan tempat sampah konvensional perangkat ini sering dilengkapi fitur pemilahan, kompresi hingga pemrosesan data untuk mempermudah pengelolaan limbah.

B. Internet of Things (IoT)

IoT adalah konsep yang menghubungkan perangkat ke internet sehingga memungkinkan pertukaran data antarperangkat [12]. Dalam konteks pengelolaan sampah IoT

memungkinkan pemantauan *real-time* kondisi tempat sampah dan otomatisasi sistem pengelolaan limbah [12].

C. Sensor

Berbagai sensor digunakan untuk mendukung tempat sampah pintar dalam mendeteksi kondisi sampah secara *real-time*. Sensor ultrasonik dipakai untuk mendeteksi ketinggian sampah sekaligus memicu pembukaan tutup otomatis, salah satunya HC-SR04 dengan jangkauan 3 cm–3 m [13], [14]. HC-SR04 merupakan jenis sensor ultrasonik yang umum digunakan dalam proyek tempat sampah pintar karena mampu mendeteksi objek dengan rentang jarak 3 cm hingga 3 meter [13]. Penelitian sebelumnya menunjukkan tingkat akurasi tinggi, dengan rata-rata kesalahan hanya 0,27% serta akurasi mencapai 99,73% dalam mendeteksi volume sampah [15]. Sensor ini biasanya dipasang di bagian atas wadah untuk mengukur jarak ke permukaan sampah sehingga dapat memberikan indikasi tingkat kepenruhan secara waktu nyata [16]. Selain itu, sensor proximity digunakan untuk mendeteksi keberadaan objek baik untuk kontrol tutup tempat sampah maupun pemilahan jenis sampah seperti logam, non-logam, organik, dan anorganik [17]. Sensor proximity induktif bekerja mendeteksi target logam melalui medan elektromagnetik, sementara sensor proximity kapasitif mampu mendeteksi bahan non-konduktor seperti plastik atau kaca dengan mengukur perubahan kapasitansi saat objek mendekat [18]. Adapun sensor gas berfungsi mendeteksi konsentrasi bau atau gas berbahaya, misalnya amonia, CO, CO₂, H₂S, dan metana [17]. Sensor seri MQ seperti MQ-2, MQ-4, MQ-7, MQ-135, dan MQ-137 digunakan untuk memantau gas tersebut [19]. Deteksi gas sangat penting untuk keselamatan publik maupun lingkungan terutama di area pembuangan limbah berskala besar..

D. Mikrokontroler

Mikrokontroler berfungsi sebagai pusat kendali yang menerima data sensor mengolahnya lalu mengirim perintah ke aktuator sekaligus menyampaikan data ke server [20]. Perangkat yang umum dipakai dalam sistem ini meliputi Arduino Uno dan NodeMCU ESP8266/ESP32 karena kemampuannya mengintegrasikan berbagai fungsi otomatisasi [20].

E. Database

Database berfungsi untuk menyimpan dan menyinkronkan data secara waktu nyata dari berbagai sensor, termasuk ketinggian sampah, lokasi dan jenis sampah [17]. Data ini kemudian dapat diakses oleh aplikasi monitoring untuk analisis dan visualisasi. Basis data juga memungkinkan pencatatan akurat dan pengelolaan informasi historis tentang pola pengisian dan pengumpulan sampah, yang krusial untuk analitik prediktif dan optimasi sistem [17]. Contoh *platform* basis data yang digunakan dalam sistem ini adalah MySQL [12]. *Firestore Realtime Database*, dan PostgreSQL (seringkali dengan ekstensi PostGIS untuk data geospasial) [12]. *Firestore*, sebagai penyedia layanan *Cloud Service Provider* dan *Backend as a Service*, dirancang untuk mempermudah pengembangan aplikasi *mobile* dan *web* karena tidak perlu membangun fitur *backend* dan infrastruktur dari awal [17]. Utama yang akan digunakan dalam aplikasi ini.



GAMBAR 1
Logo PostgreSQL

F. Aplikasi *Mobile*

Aplikasi *Mobile* untuk Monitoring Tempat Sampah Pintar berbasis IoT dengan fitur GPS dirancang sebagai sistem pemantauan waktu nyata yang dapat diakses melalui perangkat *smartphone*. Aplikasi ini memiliki kemampuan untuk memantau tingkat kapasitas sampah, lokasi tempat sampah, dan status operasional secara *real-time* menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT) yang terintegrasi dengan sensor ultrasonik, modul GPS, dan konektivitas jaringan [25]. Teknologi ini memungkinkan aplikasi untuk memberikan notifikasi otomatis kepada petugas kebersihan ketika tempat sampah mencapai kapasitas maksimum, sehingga memoptimalkan rute pengumpulan sampah dan mengurangi konsumsi bahan bakar [26]. Aplikasi ini dikembangkan untuk kompatibel dengan sistem operasi Android, memberikan kemudahan akses kepada pengguna untuk monitoring kapan saja dan di mana saja melalui *platform mobile* [27]. Dengan demikian, aplikasi ini menawarkan solusi praktis untuk manajemen sampah pintar yang memungkinkan pengumpulan sampah lebih efisien dan akurat dibandingkan metode konvensional. Dengan memanfaatkan teknologi GPS dan IoT, sistem ini juga dapat memberikan informasi lokasi yang tepat dan mengurangi beban kerja petugas dalam mengidentifikasi tempat sampah yang perlu dikosongkan [28].



GAMBAR 2
Logo Android Studio

Logo android studio merupakan *Integrated Development Environment* (IDE) resmi yang dikembangkan oleh Google, dirancang secara khusus untuk memudahkan proses pengembangan aplikasi *Android*. IDE ini dibangun di atas IntelliJ IDEA dan dilengkapi dengan berbagai fitur seperti *code completion*, *visual layout editor*, *debugger*, dan sistem build berbasis *Gradle*. Android Studio juga mendukung integrasi langsung dengan layanan Google seperti *Firebase* dan *Google Cloud*, yang memungkinkan pengembang untuk menambahkan fitur seperti autentikasi pengguna, penyimpanan awan, dan notifikasi secara lebih efisien [29]. Studi empiris juga menunjukkan bahwa banyak aplikasi *Android open-source* mengadopsi *Firebase Analytics* melalui *Android Studio* untuk *logging* pengguna dan analitik berbasis perilaku, yang menjadikan *Android Studio* sebagai alat penting dalam pengembangan aplikasi berbasis data [30].



GAMBAR 3
Logo Node.js

Node.js adalah sebuah lingkungan runtime JavaScript open-source dan cross-platform yang memungkinkan eksekusi kode JavaScript di luar browser web, utamanya digunakan untuk pengembangan sisi backend dan aplikasi standalone. Dibangun di atas mesin JavaScript V8 milik Google Chrome, Node.js dikenal dengan model I/O non-blocking berbasis event-driven yang efisien, sehingga sangat cocok untuk aplikasi *real-time* dan *microservices* karena kemampuannya menangani banyak koneksi bersamaan tanpa thread terpisah [31], [32]. Penggunaan Node.js memungkinkan pengembang memanfaatkan JavaScript untuk seluruh tumpukan pengembangan, dari frontend hingga backend, menyederhanakan proses secara signifikan.



GAMBAR 4
Logo Express.js

Express.js adalah *framework* berbasis Node.js yang digunakan untuk membangun aplikasi web dan API secara efisien dan fleksibel. *Framework* ini bersifat minimalis namun sangat extensible, memungkinkan developer untuk membuat *server-side application* dengan cepat melalui penggunaan *middleware* dan *routing* yang sederhana. Express.js banyak digunakan karena kemudahan dalam menangani request HTTP, membuat endpoint RESTful, serta kemampuannya untuk diintegrasikan dengan berbagai database dan layanan pihak ketiga. Selain itu, Express mendukung arsitektur MVC (Model-View-Controller), yang memudahkan pengelolaan kode secara terstruktur dan scalable. Dalam pengembangan aplikasi berbasis IoT, *mobile backend*, maupun aplikasi *web modern*, Express menjadi pilihan utama karena ekosistemnya yang luas dan kompatibilitas penuh dengan Node.js sebagai *runtime server-side JavaScript*. *Framework* ini banyak digunakan di industri maupun akademisi sebagai landasan pengembangan layanan berbasis API dan *microservice* [33].

III. METODE

A. Spesifikasi dan Batasan Sistem

Spesifikasi Output Tempat Sampah dan Aplikasi SmartBin

TABEL 1

Spesifikasi Output Tempat Sampah dan Aplikasi

No	Output	Deskripsi	Media Output
1	Klasifikasi Sampah	Sistem otomatis membedakan tiga jenis sampah yaitu logam, organik, anorganik	Mekanisme servo & sensor
2	Deteksi Volume Sampah	Membaca volume tiap kategori, ditampilkan dalam	Aplikasi SmartBin

		bentuk persentase (%)	
3	Lokasi Tempat Sampah (Tracking GPS)	Posisi dipantau melalui koordinat GPS	Aplikasi SmartBin (Maps)
4	Notifikasi Sampah Penuh	Sistem mengirim notifikasi jika kapasitas >90%	Gmail petugas kebersihan
5	Status <i>Real-Time</i>	Menampilkan ID, lokasi dan kapasitas kategori	Dashboard SmartBin
6	Login & Akses Pengguna	Akses dibedakan untuk pengguna umum dan petugas	Form login/registrasi

Enam fitur utama SmartBin meliputi klasifikasi otomatis, deteksi volume, pelacakan GPS, notifikasi penuh, status *real-time* dan login pengguna. Seluruhnya mendukung pengelolaan sampah yang lebih efisien dan terintegrasi dengan aplikasi.

Spesifikasi Alat

TABEL 2
Spesifikasi Alat

Komponen	Spesifikasi	Justifikasi
Tempat Sampah	Tiga unit kapasitas 20 liter	Mampu menampung tiga jenis sampah secara terpisah
Sampah	Berat 10–100 gram hanya logam, organik, anorganik	Deteksi optimal sesuai jenis
Sensor	Memilah jenis sampah & memantau volume	Memberikan informasi kapasitas secara <i>real-time</i>
Power Supply	Tegangan 3,3–5V arus $\geq 1A$ bertahan 1–3 jam	Menjamin operasi sistem stabil dan berkelanjutan

Alat dirancang untuk menampung sampah sesuai kategori dengan kapasitas 20 liter per unit. Sensor harus mampu memilah sampah dan mendeteksi volume. Power supply dipilih agar mendukung kinerja komponen secara maksimal.

Batasan penelitian ini difokuskan pada sistem yang hanya membedakan tiga jenis sampah (logam, organik, dan anorganik) dengan klasifikasi berbasis deteksi lapisan luar serta monitoring volume menggunakan sensor ultrasonik. Data hasil deteksi dikirim melalui mikrokontroler dengan koneksi internet, sementara aplikasi SmartBin berfungsi untuk menampilkan volume, lokasi, dan memberikan notifikasi otomatis kepada petugas kebersihan. Sistem dirancang khusus untuk penggunaan luar ruangan agar GPS optimal, dengan integrasi peta Google Maps dan akun petugas kebersihan yang telah disiapkan sejak awal.

B. Desain Sistem

Pengguna membuang sampah ke tempat sampah pintar yang terintegrasi dengan sistem. Setelah itu tempat sampah pintar memproses hasil pembuangan untuk melakukan transfer volume data, sensor mengirimkan informasi berat/jenis sampah ke Database. Data ini kemudian disimpan dan diolah dalam Database. Sistem juga melakukan Transfer Data GPS untuk analisis *real-time*. Hasil olahan data ditransfer ke aplikasi *mobile*. Terakhir, pengguna membuka aplikasi untuk mengakses informasi seputar titik lokasi tempat sampah terdekat, kapasitas volume tempat sampah, serta status penuh atau tidaknya pada tempat sampah pintar yang.

1. Blok Diagram

Blok diagram menunjukkan alur mulai dari input sensor (ultrasonik, logam, gas, GPS) yang diproses mikrokontroler ESP32. Hasil diproses ke database dan diteruskan ke aplikasi SmartBin sebagai antarmuka monitoring *real-time*.

2. Pengukuran/Verifikasi Spesifikasi

TABEL 3
Pengukuran/Verifikasi Spesifikasi

Spesifikasi	Verifikasi Data
Biaya perancangan terjangkau	Pendataan harga komponen
Implementasi mudah	Identifikasi masalah tempat sampah eksisting
Pemeliharaan sederhana	Bandingkan desain tempat sampah pintar lain
Sensor akurat	Riset dan pengujian fitur sensor

Verifikasi memastikan rancangan memenuhi tiga kriteria: biaya efisien, implementasi sederhana dan sensor yang akurat. Data diverifikasi melalui riset, pendataan komponen dan uji fungsionalitas fitur.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Sistem

Implementasi sistem Tempat Sampah Pintar berbasis IoT dilakukan melalui tiga tahapan utama, yaitu perancangan hardware, software, dan integrasi subsistem. Pada sisi hardware digunakan NodeMCU ESP32 sebagai pusat kendali yang terhubung dengan sensor ultrasonik untuk pengukuran volume, sensor induktif untuk pemilahan logam, serta sensor gas untuk pemilahan organik dan anorganik. Dari sisi software, aplikasi SmartBin berbasis Android dikembangkan untuk menampilkan informasi volume sampah, status kapasitas, dan memberikan notifikasi otomatis ketika wadah penuh, dengan backend berbasis Node.js dan Express.js yang terhubung ke database PostgreSQL di Google Cloud Platform (GCP). Seluruh komponen ini diintegrasikan melalui komunikasi data real-time menggunakan koneksi WiFi sehingga data dapat dipantau secara digital melalui aplikasi, mendukung sistem pengelolaan sampah yang efisien dan terhubung secara langsung dengan pengguna.

B. Hasil Pengujian Sistem

1. Akurasi Sensor Pemilah

TABEL 4
Hasil Pengujian Sensor Pemilah

No	Benda	Kondisi Seharusnya	Hasil Sensor	Hasil
1	Gelas Plastik 1	Anorganik	Anorganik	Sesuai
2	Gelas Plastik 2	Anorganik	Anorganik	Sesuai
3	Gelas Plastik 3	Anorganik	Organik	Tidak Sesuai
4	Gelas Plastik 4	Anorganik	Anorganik	Sesuai
5	Gelas Plastik 5	Anorganik	Organik	Tidak Sesuai
6	Kaleng 1	Logam	Logam	Sesuai
7	Kaleng 2	Logam	Logam	Sesuai
8	Kaleng 3	Logam	Logam	Sesuai
9	Kaleng 4	Logam	Logam	Sesuai
10	Kaleng 5	Logam	Logam	Sesuai
11	Kulit Pisang 1	Organik	Anorganik	Tidak Sesuai
12	Kulit Pisang 2	Organik	Organik	Sesuai
13	Kulit Pisang 3	Organik	Anorganik	Tidak Sesuai
14	Kulit Pisang 4	Organik	Organik	Sesuai
15	Kulit Pisang 5	Organik	Organik	Sesuai
16	Batterai 1	Logam	Logam	Sesuai
17	Batterai 2	Logam	Logam	Sesuai
18	Batterai 3	Logam	Logam	Sesuai
19	Batterai 4	Logam	Logam	Sesuai
20	Batterai 5	Logam	Logam	Sesuai
Total Benar				16
Total Salah				4
Akurasi (%)				80%

Hasil uji coba pemilahan sampah. Dari 20 sampel sistem berhasil memilah dengan akurasi 80%. Kesalahan dominan terjadi pada klasifikasi organik–anorganik akibat keterbatasan sensor gas yang hanya mendeteksi tingkat gas bukan komposisi material.

2. Akurasi Sensor Volume

TABEL 5
Hasil Pengujian Sensor Pemilah

No	Benda	Kondisi Seharusnya	Hasil Sensor	Hasil
1	Gelas Plastik 1	Anorganik	Anorganik	Sesuai
2	Gelas Plastik 2	Anorganik	Anorganik	Sesuai
3	Gelas Plastik 3	Anorganik	Organik	Tidak Sesuai
4	Gelas Plastik 4	Anorganik	Anorganik	Sesuai
5	Gelas Plastik 5	Anorganik	Organik	Tidak Sesuai
6	Kaleng 1	Logam	Logam	Sesuai
7	Kaleng 2	Logam	Logam	Sesuai
8	Kaleng 3	Logam	Logam	Sesuai
9	Kaleng 4	Logam	Logam	Sesuai
10	Kaleng 5	Logam	Logam	Sesuai
11	Kulit Pisang 1	Organik	Anorganik	Tidak Sesuai
12	Kulit Pisang 2	Organik	Organik	Sesuai
13	Kulit Pisang 3	Organik	Anorganik	Tidak Sesuai
14	Kulit Pisang 4	Organik	Organik	Sesuai
15	Kulit Pisang 5	Organik	Organik	Sesuai
16	Batterai 1	Logam	Logam	Sesuai
17	Batterai 2	Logam	Logam	Sesuai
18	Batterai 3	Logam	Logam	Sesuai
19	Batterai 4	Logam	Logam	Sesuai
20	Batterai 5	Logam	Logam	Sesuai
Total Benar				16
Total Salah				4
Akurasi (%)				80%

Hasil pengujian sensor ultrasonik menunjukkan akurasi 100%. Sensor mampu mendeteksi volume sesuai kategori indikator warna: hijau (0–34%), kuning (35–75%) dan merah (76–95%).

3. Pengujian Jaringan (Quality of Service)

$$\text{Average Delay} = \frac{\sum D_i}{n}$$

$$\text{Average Delay} = \frac{0.509695}{19} = 0.0268 \text{ detik} \approx 26.8 \text{ ms}$$

Jadi hasil yang didapatkan dari nilai rata-rata delay adalah 26.8 ms

$$\text{Jitter} = \frac{\sum |D_i - D_{i-1}|}{n - 1}$$

$$\text{Jitter} = \frac{0.828988}{18} = 0.0461 \text{ s} \approx 46.1 \text{ ms}$$

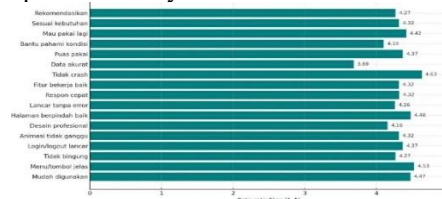
Jadi hasil yang di dapatkan dari nilai rata-rata Jitter adalah 46.1 ms

Uji QoS menggunakan Wireshark menunjukkan Delay rata-rata 26,8 ms → kategori sangat baik. Jitter rata-rata 46,1 ms → kategori cukup baik/dapat diterima. Berdasarkan standar TIPHON jaringan masuk kategori Kelas B (baik, layak untuk komunikasi suara dan multimedia).

4. Survei Kepuasan Pengguna

Sebanyak 19 responden mengisi kuesioner kepuasan aplikasi SmartBin. Hasil menunjukkan: Mayoritas skor $\geq 4,0$ (Setuju–Sangat Setuju) pada aspek kemudahan penggunaan, navigasi, kestabilan aplikasi dan tampilan UI. Nilai terendah terdapat pada keakuratan data volume (skor rata-rata 3,74). Respon terbuka menyarankan

pengembangan fitur tambahan, peningkatan akurasi data dan publikasi aplikasi ke Play Store.



GAMBAR 6

Survey Kepuasan Pengguna SmartBin

C. Analisis Hasil

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian, sistem SmartBin berbasis IoT menunjukkan kinerja sensor pemilah dengan akurasi tinggi pada deteksi logam (100%), meskipun sensor gas masih kurang presisi dalam membedakan organik dan anorganik (80%). Sensor volume bekerja optimal, sementara aplikasi terbukti stabil, user-friendly, dan mampu memberikan notifikasi otomatis ketika kapasitas sampah penuh. Hasil uji jaringan juga mendukung komunikasi real-time, meskipun jitter perlu diminimalkan agar lebih efisien, dan survei kepuasan pengguna menunjukkan aplikasi dinilai layak digunakan dengan potensi pengembangan lebih lanjut. Ke depan, penelitian ini dapat ditingkatkan melalui penggunaan sensor berbasis machine vision atau AI untuk meningkatkan akurasi pemilahan organik–anorganik, optimasi jaringan dengan protokol komunikasi yang lebih stabil seperti MQTT atau LoRaWAN, integrasi dengan sistem smart city untuk optimasi rute pengambilan sampah, penerapan skala lebih luas di area publik melalui big data analytics, serta pengembangan fitur aplikasi mobile dengan gamification atau reward system guna mendorong partisipasi masyarakat dalam pemilahan sampah.

V. KESIMPULAN

Sistem tempat sampah pintar berbasis IoT telah berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan memanfaatkan NodeMCU ESP32 sebagai pusat kendali yang terhubung dengan sensor ultrasonik, proximity, dan gas, serta aplikasi Android SmartBin dengan backend berbasis Node.js, Express.js, dan PostgreSQL. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu memilah sampah menjadi tiga kategori (logam, organik, dan anorganik), mendeteksi volume sampah secara real-time, serta mengirimkan notifikasi otomatis kepada petugas kebersihan ketika kapasitas melebihi 90% sehingga pengelolaan dapat dilakukan lebih efisien dan tepat waktu. Uji coba memperlihatkan akurasi pemilahan mencapai 80%, dengan kelemahan utama pada pembedaan organik–anorganik akibat keterbatasan sensor gas, sementara aplikasi terbukti stabil, aman melalui enkripsi HTTPS, serta mudah digunakan berdasarkan hasil kuesioner pengguna. Secara keseluruhan, SmartBin dinilai layak digunakan sebagai solusi inovatif yang mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah, mendukung penjadwalan pengosongan, dan berkontribusi pada terwujudnya lingkungan kampus yang bersih, sehat, dan berkelanjutan.

REFERENSI

- [1] Desa, A., Abd Kadir, N. B., & Yusooif, F. (2012). A Study on the Knowledge, Attitudes, Awareness Status and Behaviour

Concerning Solid Waste Management. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 18, 643-648.

- [2] Zhang, H., Wen, Z. G., & Chen, Y. X. (2016). Environment and economic feasibility of municipal solid waste central sorting strategy: a case study in Beijing. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 10(4), 10.
- [3] Ferronato, N., & Torretta, V. (2019). Waste mismanagement in developing countries: A review of global issues. *International journal of environmental research and public health*, 16(6), 1060.
- [4] Nnaji, C. C. (2015). Status of municipal solid waste generation and disposal in Nigeria. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 26(1), 53-71.
- [5] Zaman, A. U. (2014). Measuring waste management performance using the 'Zero Waste Index': the case of Adelaide, Australia. *Journal of Cleaner Production*, 66, 407-419.
- [6] Zhang, H., Liu, J., Wen, Z. G., & Chen, Y. X. (2017). College students' municipal solid waste source separation behavior and its influential factors: A case study in Beijing, China. *Journal of Cleaner Production*, 164, 444-454.
- [7] Neves, A., Godina, R., Azevedo, S. G., & Matias, J. C. (2020). A comprehensive review of industrial symbiosis. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119113.
- [8] Y. Widiastiwi, C. A. Satria, , "The Effectiveness of Utilizing IoT-Based Smart Trash," *International Conference on Informatics, Multimedia, Cyber and Information System (ICIMCIS)* pp. 290–295, 2021.
- [9] Sukarjadi, D. T. Setiawan, Arifiyanto, & M. Hatta, "Perancangan dan pembuatan Smart Trash Bin berbasis Arduino Uno di Universitas Maarif Hasyim Latif", *Jurnal Teknik Universitas Maarif Hasyim Latif*, Vol. 1, No. 2, pp. 101-110, 2017.
- [10] D. Kurniawan, F. D. Yuliana, dan D. P. Aji, "Sistem Tempat Sampah Pintar Menggunakan Arduino Berbasis IoT," *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi (JITSI)*, vol. 1, no. 2, pp. 55–61, 2022.
- [11] M. Ismail, H. S. Martam, dan S. A. Djafar, "Smart Trash Can dengan Sistem Monitoring Berbasis Internet of Things," *Jurnal JEEE (Journal of Electrical, Electronics, and Engineering)*, vol. 6, no. 2, pp. 15–22, 2021.
- [12] H. Arifin dan R. R. Wibowo, "Penerapan Internet of Things pada Sistem Monitoring Tempat Sampah," *Jurnal DigiTech*, vol. 5, no. 3, pp. 145–152, 2022.
- [13] Cloud Computing Indonesia, "IoT untuk Pengelolaan Sampah: Sensor Ultrasonik dalam Tempat Sampah Pintar," *CloudComputing.id*.
- [14] U. M. Khan et al., "Smart Waste Management System Using IoT and Sensor Technology," *PMC – National Center for Biotechnology Information*, 2024.
- [15] A. Al Huda et al., "A Smart Bin with Real-Time Monitoring and Garbage Level Tracking Using IoT," *ResearchGate*, 2024.
- [16] M. M. Rahman et al., "IoT-Based Smart Waste Management System (SWIMS)," *ResearchGate*, 2024.
- [17] I. R. P. Kurniawan dan M. H. R. Tahir, "Pengembangan Sistem Tempat Sampah Pintar dengan Notifikasi Penuh Menggunakan NodeMCU," *Politeknik Negeri Ujung Pandang Repository*, 2023.
- [18] M. H. Handaka dan R. H. Aryawan, "Smart Waste Monitoring Berbasis IoT dengan Sensor Gas MQ135," *Jurnal Elektro dan Telekomunikasi Terapan*, vol. 9, no. 1, pp. 12–19, 2023.
- [19] I. K. D. Cahyadi, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Tempat Sampah Berbasis Mikrokontroler Menggunakan NodeMCU," *Repository Universitas Wicida*, 2022.
- [20] N. A. Hidayati, "Rancang Bangun Tempat Sampah Otomatis Menggunakan Sensor Ultrasonik dan Servo Motor," *Politeknik Harapan Bersama Tegal*, 2022.
- [21] I. R. P. Kurniawan dan M. H. R. Tahir, "Pengembangan Sistem Tempat Sampah Pintar dengan Notifikasi Penuh Menggunakan NodeMCU," *Repository Politeknik Negeri Ujung Pandang*, 2023.
- [22] PostgreSQL Global Development Group, "PostgreSQL Documentation," <https://www.postgresql.org/docs/>
- [23] K. Sivapriya, N. Mohanapriya, and Sneha P., "Waste Management by Smart Bin and App System using IOT," *International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)*, vol. 13, no. 10, pp. 1-8, Oct. 2024.
- [24] A. Rahman et al., "Smart Garbage Monitoring System Using Internet of Things (IOT)," *Instructables*, Aug. 2017. <https://www.instructables.com/Smart-Garbage-Monitoring-System-Using-Internet-of-/>
- [25] Milesight, "Smart Waste Management Solutions with IoT Sensors," *Milesight Technology*, Sep. 2022. [Online]. Available: <https://www.milesight.com/solution/waste-management>
- [26] Star Systems, "Smart Bin Monitoring System with IoT," *Star Systems*, Dec. 2024. <https://starsystems.in/smartbin-iot-solutions/>
- [27] C. Chaubey and A. Sharma, "The Integrated Development Environment (IDE) for Application Development: Android Studio and Its Tools," *AIP Conference Proceedings*, vol. 2427, no. 1, pp. 020087, 2023.
- [28] J. Harty, H. Zhang, L. Wei, L. Pascarella, M. Aniche, and W. Shang, "Logging Practices with Mobile Analytics: An Empirical Study on Firebase," *arXiv preprint arXiv:2104.02513*, 2021.
- [29] J. Luo, B. Zhou, Y. Zheng, dan W. Pan, "Research on high performance web service construction method based on JavaScript asynchronous programming technique," *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, vol. 9, no. 1, pp. 1–16, 2024.
- [30] H. M. Kabamba, M. Khouzam, dan M. Dagenais, "Vnode: Low-overhead Transparent Tracing of Node.js-based Microservice Architectures," *Future Internet*, vol. 16, no. 1, art. 13, 2023.