

Implementasi Sistem Pemilah Sampah Otomatis Berbasis IoT dengan Integrasi Firebase dan Aplikasi Android

1st Refsi Indra Maulana
School of Electrical Engineering
Telkom University
Jakarta, Indonesia
refsiindra79@gmail.com

2nd Erwin Alfandi
School of Electrical Engineering
Telkom University
Jakarta, Indonesia
erwinalfandi@student.telkomuniversity.ac.id

3rd Iqbal Zubair Ramadhan
School of Electrical Engineering
Telkom University
Jakarta, Indonesia
iqbalz@student.telkomuniversity.ac.id

4th Lukman Hakim
School of Electrical Engineering
Telkom University
Jakarta, Indonesia
lh8864807@gmail.com

5th Kamelia Quzwain
School of Electrical Engineering
Telkom University
Jakarta, Indonesia
kquzwain@telkomuniversity.ac.id

6th Yudiansyah
School of Electrical Engineering
Telkom University
Jakarta, Indonesia
yudiansyah@telkomuniversity.ac.id

7th Sevierda Raniprima
School of Electrical Engineering
Telkom University
Jakarta, Indonesia
sevierdar@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Pengelolaan sampah yang efektif menjadi salah satu tantangan penting di era modern, terutama di wilayah perkotaan dengan volume limbah yang terus meningkat. Penelitian ini mengembangkan sistem pemilah sampah otomatis berbasis Internet of Things (IoT) yang memanfaatkan kombinasi perangkat keras dan perangkat lunak untuk meningkatkan efisiensi proses pengelolaan. Perangkat terdiri dari sistem pemilah sampah yang dilengkapi sensor ultrasonik dan sensor beban untuk mengukur kapasitas serta berat, yang terhubung ke mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Data hasil pengukuran dikirim secara real-time ke backend menggunakan Firebase Realtime Database, lalu ditampilkan melalui aplikasi Android yang dirancang dengan antarmuka interaktif dan notifikasi otomatis. Metode penelitian meliputi perancangan perangkat keras, pengembangan backend, pembuatan frontend aplikasi, serta pengujian sistem secara keseluruhan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memantau kapasitas dan beban tempat sampah secara akurat, dengan latensi pengiriman data di bawah dua detik dan tingkat akurasi seratus persen. Selain itu, sistem dapat memberikan peringatan otomatis ketika kapasitas atau beban mendekati batas maksimum. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi IoT dengan Firebase dan aplikasi Android dapat mendukung pengelolaan sampah yang lebih responsif, efisien, dan berkelanjutan.

Kata kunci : Internet of Things, Arduino Atmega 2560, sensor ultrasonik, NodeMCU ESP8266, Firebase Realtime Database, Android Studio

Peningkatan jumlah penduduk dan aktivitas industri berdampak langsung pada tingginya volume limbah, terutama di kawasan perkotaan. Sistem pengelolaan sampah konvensional yang mengandalkan metode manual sering kali tidak mampu merespons dengan cepat terhadap perubahan volume dan jenis sampah. Akibatnya, penumpukan limbah dapat terjadi, memicu permasalahan lingkungan, estetika, dan kesehatan.

Dalam beberapa tahun terakhir, penerapan teknologi Internet of Things (IoT) telah memberikan solusi inovatif untuk memantau dan mengelola limbah secara real-time. IoT memungkinkan integrasi antara perangkat keras, sensor, jaringan komunikasi, dan aplikasi untuk memberikan informasi yang akurat kepada pengguna maupun pihak pengelola. Berbagai penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem pemantauan kapasitas dan berat tempat sampah menggunakan sensor ultrasonik, sensor beban, dan modul mikrokontroler seperti NodeMCU atau ESP32. Namun, sebagian besar penelitian masih terbatas pada pengiriman data ke server lokal atau penyimpanan sederhana, tanpa optimasi akses data multi-perangkat dan notifikasi real-time.

Firebase Realtime Database menawarkan keunggulan dalam hal sinkronisasi data cepat, kemudahan integrasi dengan aplikasi mobile, dan pengaturan keamanan berbasis autentikasi. Dengan memanfaatkan Firebase, data dari sensor dapat diproses dan ditampilkan secara langsung pada aplikasi Android, sekaligus memberikan peringatan otomatis ketika kapasitas atau beban tempat sampah mendekati batas maksimum.

I. PENDAHULUAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemilah sampah otomatis berbasis IoT yang terintegrasi dengan Firebase dan aplikasi Android. Sistem ini mencakup perancangan perangkat keras (alat pemilah dan sensor), backend (Firebase), dan frontend (aplikasi Android) yang dirancang untuk memberikan informasi real-time serta mendukung pengambilan keputusan cepat dalam pengelolaan limbah.

II. KAJIAN TEORI

A. Internet of Things (IoT)

Perangkat fisik seperti sensor dan mikrokontroler dapat terhubung satu sama lain dan bertukar data melalui jaringan internet tanpa interaksi manual karena Internet of Things (IoT)[1]. Dalam pengelolaan sampah, IoT membantu pengelola mengoptimalkan pengumpulan dan pengosongan dengan memberikan informasi tentang status tempat sampah secara real-time menggunakan sensor load cell dan ultrasonik yang dikoneksikan ke *Firestore* dan antarmuka aplikasi Android untuk memantau berat dan kapasitas sampah secara efisien

B. Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 merupakan papan mikrokontroler yang menggunakan chip ATmega2560, dirancang untuk menangani proyek dengan kebutuhan pin input/output yang lebih banyak dibandingkan Arduino Uno. Perangkat ini dilengkapi 54 pin digital I/O, 16 pin input analog, serta empat port UART yang memudahkan proses komunikasi serial. Dengan kapasitas memori yang besar dan jumlah pin yang melimpah, papan ini sangat sesuai untuk aplikasi berskala besar yang memerlukan banyak sensor maupun aktuator. Selain itu, dukungan komunitas yang luas dan ketersediaan pustaka (*library*) yang beragam menjadikan Arduino Mega 2560 salah satu pilihan utama bagi pengembang sistem berbasis mikrokontroler[2].

C. Sensor Infrared (IR)

Sensor inframerah beroperasi dengan cara memancarkan cahaya inframerah lalu menangkap pantulannya untuk mengidentifikasi keberadaan objek di depannya. Dalam berbagai sistem otomatisasi, sensor IR kerap dimanfaatkan untuk mendeteksi objek atau menghitung jumlahnya. Cara kerjanya cukup sederhana namun efektif: ketika pancaran inframerah mengenai suatu objek, sebagian cahaya tersebut dipantulkan kembali menuju penerima, lalu diubah menjadi sinyal listrik. Keunggulan sensor ini terletak pada kemampuannya mendeteksi objek dalam jarak dekat dengan respon yang cepat serta penggunaan daya yang relatif rendah[3].

D. Sensor Proximity Kapasitif

Sensor proximity kapasitif berfungsi untuk mendeteksi keberadaan objek, baik yang bersifat konduktif maupun non-konduktif, tanpa perlu melakukan kontak fisik. Prinsip kerjanya didasarkan pada perubahan nilai kapasitansi ketika suatu objek mendekati permukaan sensor. Keunggulan utama sensor ini adalah

kemampuannya mengenali beragam material seperti plastik, kayu, kertas, hingga cairan. Secara umum, sensor kapasitif digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti memantau ketinggian cairan, menghitung jumlah objek, dan mendeteksi keberadaan material pada jalur produksi[4].

E. Sensor Proximity Induktif

Sensor proximity induktif dibuat khusus untuk mendeteksi keberadaan objek berbahan logam tanpa perlu bersentuhan langsung. Sensor ini bekerja dengan menghasilkan medan elektromagnetik melalui kumparan internal, lalu mendeteksi perubahan medan tersebut ketika objek logam berada di dekatnya. Keunggulan utamanya adalah ketahanannya terhadap debu, kotoran, dan kelembapan, sehingga sangat andal digunakan pada lingkungan industri yang memiliki kondisi kerja berat[4].

F. Motor Servo

Motor servo merupakan jenis aktuator listrik yang mampu mengatur posisi porosnya dengan tingkat presisi tinggi sesuai perintah sinyal kontrol. Komponen ini biasanya terdiri dari motor DC, rangkaian pengendali, serta potensiometer yang berfungsi sebagai sensor posisi. Keunggulan motor servo terletak pada kemampuannya bergerak ke sudut tertentu secara akurat, sehingga banyak dimanfaatkan dalam berbagai mekanisme seperti lengan robot, pintu otomatis, hingga sistem pemilah. Cara kerjanya mengandalkan sinyal *pulse width modulation* (PWM) yang menentukan posisi akhir dari poros motor[5].

G. ESP8266

Melalui integrasi dengan mikrokontroler ESP8266, penggunaan sensor load cell untuk pengukuran berat dan sensor ultrasonik untuk deteksi kapasitas dapat dioptimalkan. ESP8266 berfungsi sebagai pengendali utama sekaligus modul komunikasi nirkabel, yang mengirimkan data hasil pembacaan sensor ke basis data cloud seperti *Firestore*. Kelebihan ESP8266 termasuk konsumsi daya yang rendah, kompatibilitas yang kuat dengan platform IoT lainnya, dan konektivitas Wi-Fi[6]. Melalui aplikasi, sistem ini memungkinkan pemantauan kondisi tempat sampah secara real-time dengan informasi tentang tingkat kepenuhan dan beban. Ini membantu pengelola membuat keputusan penjadwalan pengosongan yang tepat.

H. Sensor Load Cell

Load cell mengubah gaya mekanis menjadi sinyal listrik dengan menggunakan perubahan resistansi pada strain gauge[7]. Sensor ini dipasang di bawah wadah tempat sampah pintar untuk mengukur berat sampah dengan tepat. Data berat membantu menjaga keamanan struktural sistem dan merencanakan jadwal pengosongan.

I. Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik seperti HC-SR04 memancarkan gelombang suara frekuensi tinggi dan mengukur waktu pantulan kembali dari permukaan sampah[8]. Ini dapat secara real-time menghitung ketinggian atau persentase

keterisian tempat sampah, membantu mendeteksi status "penuh" secara otomatis.

J. Firebase Realtime Database

Firebase Realtime Database adalah layanan basis data berbasis *cloud* yang dikembangkan oleh Google untuk menyimpan dan menyinkronkan data secara real-time. Setiap perubahan data di server langsung diperbarui pada semua perangkat yang terhubung tanpa jeda yang signifikan. Keunggulan ini menjadikannya pilihan ideal untuk sistem monitoring yang memerlukan pembaruan data instan. Pada penelitian ini, Firebase digunakan untuk menampung data hasil pembacaan sensor dan mengirimkannya ke aplikasi Android.

K. Android Studio

Android Studio merupakan lingkungan pengembangan resmi yang digunakan untuk membangun aplikasi berbasis Android. IDE ini menyediakan berbagai fitur yang mempermudah pengembang, mulai dari penulisan kode dengan bahasa Java, perancangan antarmuka menggunakan XML, hingga integrasi dengan layanan pihak ketiga. Pada penelitian ini, Android Studio digunakan untuk mengembangkan aplikasi monitoring kapasitas tempat sampah yang responsif dan mudah digunakan.

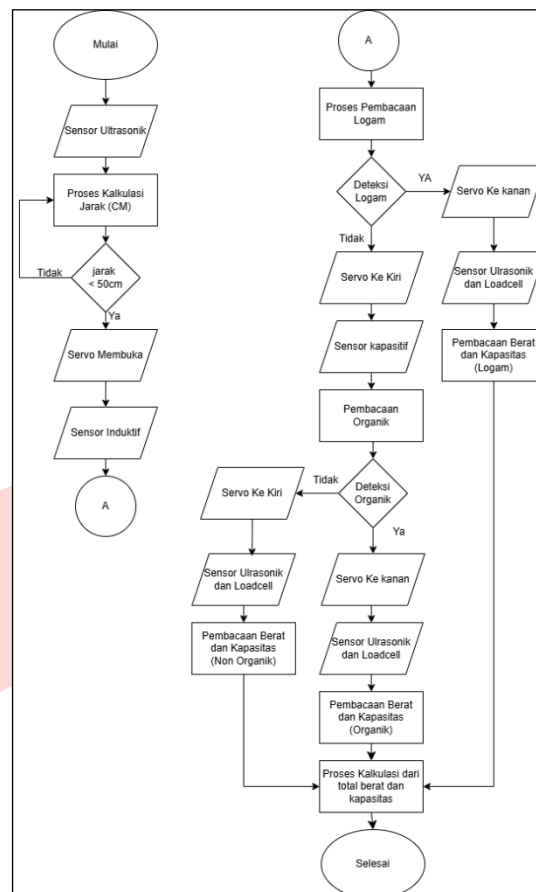
III. METODE

A. Desain Penelitian

Pendekatan perancangan dan pengujian prototipe digunakan sebagai metode eksperimen dalam penelitian ini. Tujuan utama adalah membuat sistem yang menggunakan mikrokontroler ESP8266 untuk memantau berat dan kapasitas tempat sampah secara real-time. Data dikumpulkan melalui sensor load cell untuk berat dan sensor ultrasonik untuk kapasitas, yang kemudian diproses oleh mikrokontroler dan ditampilkan pada media pemantauan.

B. Alur Penelitian

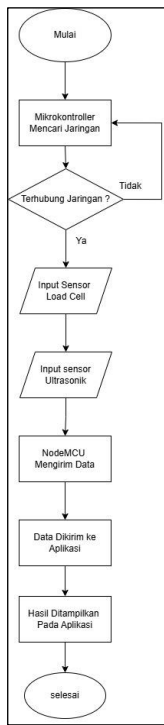
Alur kerja sistem pada Gambar 1 menyajikan diagram alir proses kerja sistem pemilah sampah otomatis yang dikembangkan dalam penelitian ini. Diagram ini menggambarkan urutan tahapan yang dilakukan sistem, mulai dari deteksi awal hingga proses akhir pemilahan dan pencatatan data, sehingga memudahkan pembaca memahami alur operasional secara keseluruhan.



Gambar 1. Flowchart Sistem Pemilah Sampah

Sistem pemilah sampah otomatis ini bekerja dengan memisahkan limbah ke dalam tiga kategori utama: logam, organik, dan anorganik. Proses dimulai saat sensor ultrasonik mendeteksi objek dalam jarak tertentu. Jika jarak memenuhi kriteria, motor servo membuka jalur pemilahan. Selanjutnya, sensor induktif mengidentifikasi sampah logam untuk diarahkan ke jalur khusus, di mana berat dan volumenya diukur oleh sensor ultrasonik dan sensor beban. Apabila bukan logam, sensor kapasitif digunakan untuk mendeteksi sampah organik. Sampah organik akan diarahkan ke jalur bioline untuk penimbangan, sedangkan sisanya masuk ke jalur anorganik untuk pengukuran beban. Seluruh data pengukuran disimpan untuk mendukung pengelolaan, seperti proses daur ulang dan pengangkutan. Setelah proses selesai, sistem kembali ke kondisi awal untuk siap memproses sampah berikutnya.

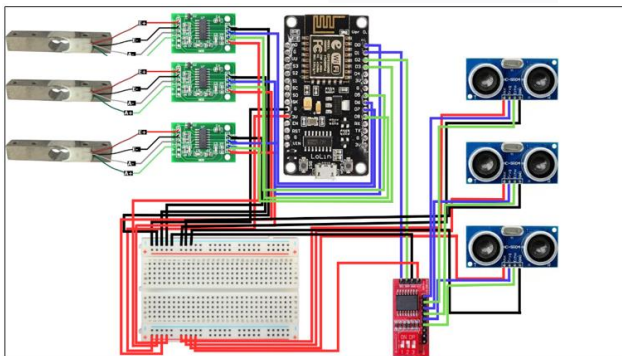
Alur kerja sistem pada Gambar 2 pemantauan berat dan kapasitas tempat sampah berbasis mikrokontroler ESP8266 digambarkan dalam diagram flowchart. Ketika sistem diaktifkan, ESP8266 memulai proses dengan mencari jaringan nirkabel untuk memastikan bahwa itu terhubung.



Gambar 2. Flowchart Monitoring Sampah

Sistem akan mengulang proses pencarian hingga koneksi jaringan berhasil. Sensor ultrasonik mengukur kapasitas terisi dengan mengukur jarak antara permukaan sampah dan sensor setelah terhubung ke jaringan. Selanjutnya, sensor beban sel yang terhubung ke modul HX711 mengukur berat sampah secara akurat. Selanjutnya, data dari kedua sensor dikirim ke basis data Firebase agar dapat dipantau secara real-time. Setelah data dikirim, sistem kembali ke proses pemantauan berikutnya pada interval yang telah ditetapkan.

C. Skema Sistem



Gambar 3. Skema Sistem

Gambar 3 menunjukkan rangkaian sistem pemantauan berat dan kapasitas tempat sampah berbasis ESP8266 yang menggabungkan sensor beban sel dan sensor ultrasonik. Tiga beban sel terhubung ke modul HX711 sebagai konverter sinyal dan kemudian disambungkan ke mikrokontroler ESP8266 untuk menghitung nilai berat. Sebaliknya, tiga sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk mengukur tinggi atau jarak sampah di dalam wadah. Sensor ini dihubungkan ke modul ekspansi I/O (PCF8574) sebelum masuk ke ESP8266, yang memungkinkan pengelolaan yang efektif dari berbagai sensor. Breadboard digunakan sebagai

media distribusi daya dan jalur sinyal untuk menghubungkan semua komponen. Rangkaian ini dimaksudkan untuk mengumpulkan data kapasitas dan berat secara bersamaan. Setelah itu, data tersebut dapat diproses dan dikirim ke ESP8266 untuk pemantauan tambahan.

D. Metode Pengukuran Akurasi Sistem

Metode pengukuran akurasi sistem digunakan untuk menilai sejauh mana hasil pembacaan sensor sesuai dengan nilai sebenarnya. Pada penelitian ini, data yang dihasilkan oleh sensor load cell dan sensor ultrasonik dibandingkan dengan alat ukur yang sangat presisi [9]. Tujuan dari proses ini adalah untuk memastikan bahwa sistem dapat memberikan informasi berat dan kapasitas secara tepat, sehingga data yang dihasilkan dapat diandalkan untuk membantu mengelola tempat sampah dengan baik, untuk menghitung akurasi pengukuran beban diperlukan Langkah perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Rata - rata hasil} = \frac{\text{Hasil 1} + \text{Hasil 2} + \text{Hasil 3}}{3} \quad (1)$$

Kemudian setelah menemukan nilai dari rata-rata hasil sesuai dengan perhitungan (1) maka selanjutnya :

$$\text{Rata - rata keberhasilan} = \frac{\text{Rata-rata hasil}}{\text{Beban sebenarnya}} \times 100\% \quad (2)$$

Sedangkan Error (%) :

$$\text{Error} = 100\% - \text{Rata - rata keberhasilan} \quad (3)$$

Selanjutnya dalam upaya memantau kapasitas tempat sampah, digunakan metode konversi data ketinggian partisi terdeteksi menjadi persentase kapasitas terisi. Prinsipnya, semakin kecil tinggi ruang kosong yang terdeteksi oleh sensor, maka semakin besar nilai kapasitas terisi, sehingga kondisi tempat sampah dapat dipantau secara real time dan akurat. Perhitungan ini penting agar sistem dapat mengklasifikasikan status tempat sampah, Perhitungan dilakukan dengan rumus[10]

$$\text{Presentase Kapasitas} = \frac{\text{Tinggi Total} - \text{Tinggi Terukur}}{\text{Tinggi Total}} \times 100\% \quad (4)$$

E. Implementasi Kode Pada NodeMCU

Kode program ditulis untuk membaca data dari sensor ultrasonik dan sensor beban, lalu mengirimkan data tersebut ke Firebase menggunakan protokol HTTP. Setiap data yang diterima dari sensor akan dikonversi menjadi format persentase, kemudian dikirim ke path yang telah disediakan di database.

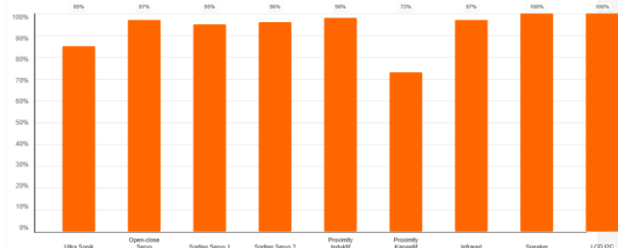
F. Impelementasi Aplikasi

Implementasi aplikasi dimulai dengan pembuatan modul autentikasi pengguna menggunakan Firebase Authentication. Selanjutnya, modul monitoring diintegrasikan dengan Firebase Realtime Database untuk menampilkan pembaruan kapasitas tempat sampah secara real-time. Fitur notifikasi dikembangkan menggunakan Firebase Cloud Messaging, yang akan mengirim pesan otomatis ketika kapasitas mencapai ambang batas.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Akurasi Sensor Pemilah

Sebagian besar komponen dalam sistem pemilahan sampah otomatis berbasis IoT, seperti speaker, LCD, sensor *infrared*, serta motor servo untuk membuka-tutup dan menyortir sampah, menunjukkan performa yang sangat baik dan berjalan hampir tanpa hambatan. Sensor ultrasonik juga berfungsi cukup stabil, meskipun sedikit di bawah komponen lainnya. Namun, sensor proximity kapasitif mengalami beberapa kendala dan menunjukkan tingkat keberhasilan terendah, sehingga perlu dilakukan evaluasi lebih lanjut terkait penempatan atau pengaturannya. Secara keseluruhan, sistem ini telah berfungsi cukup andal dengan mayoritas komponen menunjukkan hasil yang konsisten sesuai harapan.



Gambar 4 Grafik Akurasi Komponen Sensor Sortir

Pada gambar tersebut, proses konversi antara tinggi sekat (*partition height*) dan persentase tinggi yang terdeteksi memperlihatkan tren penurunan yang jelas. Semakin besar tinggi yang terbaca oleh ultrasonik, semakin rendah persentase tinggi yang berhasil dideteksi oleh sistem.

B. Akurasi Sensor Beban

Kemampuan sistem untuk mendeteksi berat dan kapasitas terisi melalui cell load dan ultrasonik adalah fokus pengujian. Parameter ini dipilih karena keduanya memiliki peran penting dalam menentukan kondisi tempat sampah saat ini. Kondisi ini dapat digunakan sebagai referensi untuk proses pengambilan keputusan mengenai pengosongan dan pengelolaan sampah yang efektif. Hasil disajikan dalam bentuk deskripsi data dan analisis hubungan beban-kapasitas untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang kinerja sistem, pada pengujian loadcell pada setiap jenis sampah penelitian ini mempertimbangkan tingkat keberhasilan dan eror seperti pada tabel berikut:

Tabel 1 Sensor Beban Sampah Logam

No	Nama Benda	Beban Aktual (g)	Hasil 1 (g)	Hasil 2 (g)	Hasil 3 (g)	Rata-rata Keberhasilan (%)	Error (%)
1	Kaleng cat	136	136.20	136.26	135.95	99.875%	0.125 %
2	Kaleng minum	60	60.23	60.22	60.16	99.661%	0.339 %
3	Sendok	30	30.12	30.02	30.10	99.733%	0.267 %
4	Engsel pintu	88	88.12	88.08	88.02	99.917%	0.083 %
5	obeng	62	62.34	62.32	62.17	99.554%	0.446 %

Berdasarkan Tabel 1 yang menunjukkan hasil pengujian sensor beban sampah logam menunjukkan bahwa sistem loadcell dengan HX711 memiliki performa yang sangat baik dengan tingkat akurasi di atas 99% dan error rate di bawah 0,5%. Sistem menunjukkan konsistensi pengukuran yang

tinggi pada berbagai rentang berat, dari benda ringan hingga berat.

Tabel 2 Sensor Beban Sampah Organik

No	Nama Benda	Beban Aktual (g)	Hasil 1 (g)	Hasil 2 (g)	Hasil 3 (g)	Rata-rata Keberhasilan (%)	Error (%)
1	Buah pir	106	106.29	106.32	106.15	99.764%	0.236 %
2	Daun kering	50	50.22	50.32	50.65	99.21%	0.79%
3	sawi	125	125.08	125.32	124.93	99.88%	0.12%
4	kertas	27	27.57	27.82	26.56	97.74%	2.26%
5	Tulang ayam	15	14.32	16.31	15.23	95.07%	4.93%

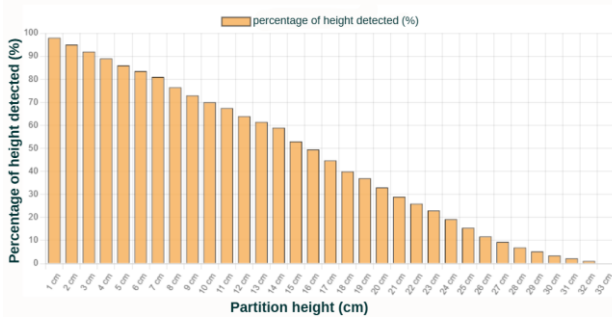
Berdasarkan Tabel 2 yang menunjukkan hasil pengujian terhadap berbagai jenis sampah organik menggunakan sensor beban, diperoleh tingkat keberhasilan yang relatif tinggi dengan rata-rata di atas 95%. Selisih antara hasil pembacaan sensor dengan beban sebenarnya menunjukkan bahwa sensor memiliki akurasi yang cukup baik, meskipun terdapat sedikit fluktuasi pada beberapa jenis sampah seperti tulang ayam dan kertas. Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh kabel yang tersambung pada loadcell dan modul hx711, bentuk, tekstur, atau distribusi massa dari masing-masing objek yang mempengaruhi titik tumpu pada sensor. Secara keseluruhan, sistem menunjukkan performa yang layak dalam mendeteksi beban sampah organik secara otomatis.

Tabel 3 Sensor Beban Sampah Anorganik

No	Nama Benda	Beban Aktual (g)	Hasil 1 (g)	Hasil 2 (g)	Hasil 3 (g)	Rata-rata Keberhasilan (%)	Error (%)
1	Gelas minum plastik	90	91.10	90.05	91	99.204%	0.796 %
2	Bungkus makanan	64	64.2	64.37	64.17	99.615%	0.385 %
3	Kabel bekas	92	92.98	93.22	92.03	99.192%	0.808 %
4	Lap	42	41.23	41.04	41.04	97.865%	2.135 %
5	Kaset	16	15.48	17.04	16.23	96.271%	3.729 %

Berdasarkan Tabel 3 yang menunjukkan pengujian sensor beban terhadap berbagai jenis sampah non-organik menunjukkan performa yang cukup akurat dengan tingkat keberhasilan umumnya berada di atas 96% jika mengacu pada OIML R 60-1. Jenis sampah seperti gelas plastik, bungkus makanan, dan kabel bekas menunjukkan deviasi kecil antara hasil pengukuran sensor dengan berat sebenarnya, menandakan konsistensi pembacaan yang baik.

C. Hasil Konversi Jarak

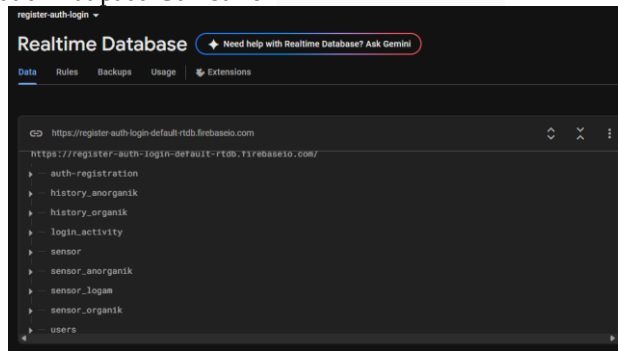


Gambar 5 Presentase Tinggi Partisi Terdeteksi Ultrasonik

Pada grafik tersebut, proses konversi antara tinggi sekat (partition height) dan persentase tinggi yang terdeteksi memperlihatkan tren penurunan yang jelas. Semakin besar tinggi yang terbaca oleh ultrasonik, semakin rendah persentase tinggi yang berhasil dideteksi oleh sistem. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan sampah secara langsung memengaruhi konversi data tinggi yang terukur seperti yang terlihat pada Gambar 5

D. Hasil Implementasi Backend

Backend sistem dibangun menggunakan Firebase Realtime Database yang berfungsi untuk menyimpan, mengelola, dan menyinkronkan data sensor secara real-time. Setiap node dalam database memiliki peran khusus, seperti menyimpan data hasil pengukuran sensor, riwayat pemantauan, data pengguna, dan aktivitas login. Pengelompokan struktur ini bertujuan untuk mempermudah proses pengolahan data sekaligus memastikan sistem dapat dikembangkan secara modular di masa mendatang. Tampilan struktur database yang telah diimplementasikan dapat dilihat pada Gambar 6



Gambar 6. Struktur Database

Berdasarkan Gambar 1, database terdiri dari beberapa node utama. Node auth-registration digunakan untuk menyimpan data pendaftaran pengguna, sedangkan history_anorganik dan history_organik merekam riwayat kapasitas dan beban pada masing-masing jenis tempat sampah. Sementara itu, sensor_logam, sensor_anorganik, dan sensor_organik berfungsi menyimpan data real-time dari sensor yang terpasang. Terdapat pula node login_activity untuk mencatat aktivitas masuk pengguna dan node users yang menyimpan informasi profil. Penataan struktur ini menunjukkan bahwa backend telah dirancang secara rapi, efisien, dan siap diintegrasikan dengan frontend aplikasi.

E. Hasil Pengujian Backend

Pengujian backend dilakukan untuk memastikan bahwa Firebase Realtime Database mampu mengelola dan

menyinkronkan data dari perangkat IoT ke aplikasi Android secara cepat, akurat, dan stabil. Fokus pengujian mencakup kecepatan pembaruan data (latensi), kesesuaian nilai antara data sensor dan data yang tersimpan, keberhasilan pembaruan tampilan di aplikasi, serta kemampuan sistem dalam memberikan notifikasi otomatis ketika nilai kapasitas atau beban melampaui ambang batas yang telah ditentukan. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4

Tabel 4. Hasil Pengujian Firebase

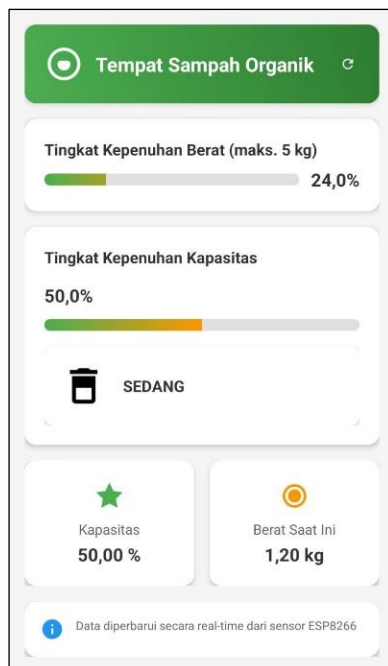
No	Jenis Pengujian	Deskripsi	Hasil	Keterangan
1	Delay dan Throughput	Mengukur jeda waktu dari data sensor masuk ke Firebase hingga muncul di aplikasi	< 2 detik	Stabil dan real-time
2	Akurasi Data	Membandingkan data sensor dengan data yang tersimpan di Firebase	100% sama	Tidak ada selisih nilai
3	Keberhasilan Update	Persentase keberhasilan pembaruan data di aplikasi	100%	Selalu ter-update
4	Notifikasi Ambang Batas	Uji kirim notifikasi saat kapasitas/beban > 80%	Berhasil	Notifikasi muncul di aplikasi

Berdasarkan Tabel 4 pengujian menunjukkan bahwa sinkronisasi data antara NodeMCU, Firebase, dan aplikasi Android berjalan dengan latensi di bawah dua detik, yang berarti pembaruan data terjadi hampir seketika. Akurasi data mencapai seratus persen, membuktikan bahwa tidak ada perbedaan nilai antara hasil pembacaan sensor dan data yang tersimpan di database. Tingkat keberhasilan pembaruan di aplikasi juga mencapai seratus persen, menandakan setiap perubahan data selalu berhasil ditampilkan. Selain itu, pengujian notifikasi membuktikan bahwa sistem mampu memberikan peringatan secara otomatis saat kapasitas atau beban melebihi ambang batas yang telah ditetapkan. Hasil ini mengonfirmasi bahwa backend Firebase berfungsi secara optimal dalam mendukung sistem monitoring berbasis IoT.

F. Hasil Monitoring Kapasitas dan Beban

Fitur Dashboard Monitoring pada aplikasi Android dirancang untuk memberikan informasi kondisi terkini tempat sampah organik secara langsung. Data yang ditampilkan meliputi persentase kapasitas terisi dan status beban, yang diperoleh dari sensor ultrasonik dan sensor beban. Informasi ini dikirimkan melalui NodeMCU ESP8266 ke Firebase Realtime Database sebelum diolah dan ditampilkan pada aplikasi. Keberadaan fitur ini menjadi

komponen penting karena memungkinkan pengguna memantau keadaan tempat sampah secara cepat dan akurat.

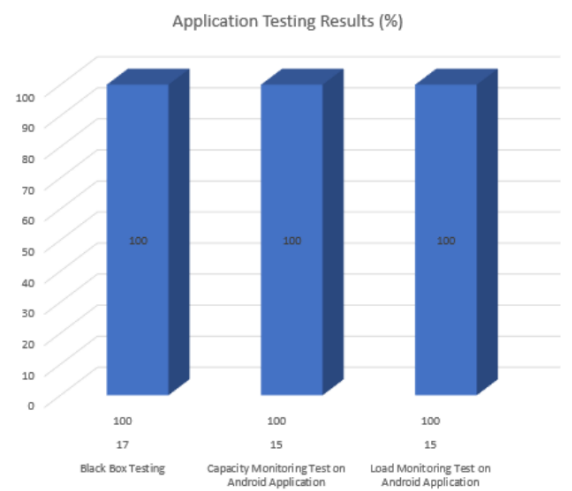


Gambar 7. Tampilan Monitoring

Berdasarkan tampilan dashboard, terlihat bahwa sistem mampu menampilkan data kapasitas dan beban secara real-time dengan visualisasi yang jelas. Indikator kapasitas yang dilengkapi ikon dan label status memberikan gambaran cepat mengenai tingkat kepenuhan wadah, sedangkan indikator beban membantu mengidentifikasi berat sampah yang sedang terisi. Kehadiran informasi numerik di bagian bawah memperkuat akurasi pembacaan dan meminimalkan potensi salah interpretasi. Tampilan ini membuktikan bahwa integrasi antara perangkat keras, Firebase, dan aplikasi berjalan optimal, sehingga pengguna dapat memantau kondisi tempat sampah secara efektif dan mengambil keputusan dengan tepat waktu.

G. Hasil Pengujian Aplikasi

Gambar berikut menampilkan hasil pengujian aplikasi yang meliputi pengujian *black box*, pemantauan kapasitas, dan pemantauan beban melalui aplikasi Android. Visualisasi ini digunakan untuk memberikan gambaran tingkat keberhasilan setiap pengujian dalam bentuk persentase, sehingga memudahkan pembaca memahami kinerja aplikasi secara keseluruhan.



Gambar 8. Hasil Pengujian Aplikasi

Pengujian aplikasi dilakukan untuk memastikan bahwa semua fitur berjalan dengan baik dan sesuai dengan yang dibutuhkan dalam sistem pemantauan. Pengujian ini mencakup pengujian *black box* secara umum, serta pengujian khusus untuk fitur pemantauan kapasitas dan beban melalui aplikasi Android. Hasilnya menunjukkan bahwa seluruh fitur dapat berfungsi dengan sangat baik tanpa adanya kendala atau kesalahan selama pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi sudah cukup stabil dan siap digunakan dalam mendukung sistem secara keseluruhan.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan kapasitas serta berat tempat sampah berbasis mikrokontroler ESP8266 yang terintegrasi dengan sensor load cell dan ultrasonik. Sistem mampu memberikan informasi kondisi wadah secara real-time dengan tingkat akurasi tinggi, sehingga dapat diandalkan untuk meminimalkan inspeksi manual, mencegah beban berlebih, dan mengoptimalkan jadwal pengosongan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pembacaan sensor konsisten dengan nilai acuan, membuktikan keandalan sistem dalam memonitor kedua parameter secara bersamaan. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi pengelolaan sampah dapat tercapai, sekaligus memberikan solusi yang praktis dan responsif terhadap tantangan pengelolaan limbah.

REFERENSI

- [1] A. Pemantauan Tong Sampah berasaskan, F. Hamizah Jailani, H. Kamaludin, and F. Sains Komputer dan Teknologi Maklumat, "IoT-based Garbage Bin Monitoring Application using Ultrasonic Sensor," *Applied Information Technology And Computer Science*, vol. 2, no. 2, pp. 1141–1157, 2021, doi: 10.30880/aitcs.2021.02.02.071.
- [2] A. D. A. F. P. and S. S. AFRIAN, "RANCANG BANGUN ALAT PENGHITUNG JUMLAH BAUT MENGGUNAKAN SENSOR LOAD CELL DAN MODUL ARDUINO.," 2023.
- [3] D. Ajeng Ayutantri, J. Dedy Irawan, and S. Adi Wibowo, "PENERAPAN IoT (Internet of Things) DALAM PEMBUATAN TEMPAT SAMPAH PINTAR UNTUK RUMAH KOS," 2021.

- [4] M.Fajri, "TEMPAT SAMPAH PINTAR PEMILAH SAMPAH ORGANIK DAN ANORGANIK MENGGUNAKAN NODEMCU ESP8266 BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)," 2023.
- [5] Janaki. M.T, "RANCANG BANGUN TEMPAT SAMPAH PEMILAH OTOMATIS BERBASIS ARDUINO UNO DENGAN SENSOR PROXIMITY SKRIPSI Oleh: Muhammad Tegar Janaki NIM. 200604110058 PROGRAM STUDI FISIKA FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG 2024," 2024.
- [6] "Development of IoT based Garbage Management System using NodeMCU." [Online]. Available: www.ijeat.org
- [7] N. Azman, M. A. Wibowo, and R. A. S. Kusumoputro, "Touchless Recycle Bin Internet Of Things To Preventing Germs Spread And Real-Time Integrated Waste Management", [Online]. Available: www.ijstr.org
- [8] T. Gunawan, E. Hernawati, and B. R. Aditya, "IoT-Based Waste Height and Weight Monitoring System," *Journal of Computer Science*, vol. 17, no. 11, pp. 1085–1092, 2021, doi: 10.3844/JCSSP.2021.1085.1092.
- [9] A. Rahman and M. Nawawi, "Perbandingan Nilai Ukur Sensor Load Cell pada Alat Penyortir Buah Otomatis terhadap Timbangan Manual."
- [10] P. Estu Broto, J. Fisika, and U. Islam Negeri Alauddin Makassar, "PERBANDINGAN PERSENTASE KESALAHAN SENSOR SONAR PENGUKUR JARAK BERBASIS HC-SR04 DAN HY-SRF05," vol. 4, no. 1, pp. 1–10, 2024, [Online]. Available: <http://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/sainfis>

