SISTEM MANAJEMEN BANK SAMPAH BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IOT) UNTUK PENGELOLAAN SAMPAH YANG EFISIEN (STUDI KASUS : UD. MAJU JAYA)

Tunfatul Uzma, Isnawaty, Adha Mashur Sajiah
Teknik Informatika, Universitas Halu Oleo
Kampus Hijau Bumi Tridharma, Anduonohu, Kec. Kambu, Kota Kendari, Indonesia
uzmaalmaliaradifa@gmail.com

ABSTRAK

Permasalahan pengelolaan sampah yang kurang optimal menjadi ancaman serius bagi lingkungan, terutama di wilayah perkotaan yang mengalami pertumbuhan penduduk pesat. Ketidakefisienan dalam pengelolaan, seperti pencatatan manual dan kurangnya integrasi teknologi, memperburuk dampak negatif sampah terhadap lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem kontrol timbangan sampah berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mengintegrasikan *load cell*, NodeMCU, dan HX711. Data berat sampah dengan tingkat akurasi tinggi dikirim secara *real-time* ke server pusat menggunakan protokol MQTT untuk dianalisis lebih lanjut. Hasil pengujian menunjukkan tingkat kesalahan rata-rata deteksi berat sebesar 3,115% untuk sampah logam dan 19,532% untuk sampah non-logam, sementara konektivitas NodeMCU ke *WiFi* memiliki tingkat keberhasilan 90%. Sistem menunjukkan performa stabil dengan *delay* rata-rata 1 detik, *throughput* 1 paket/s, dan tanpa kehilangan paket. Temuan ini membuktikan bahwa teknologi WSN dan IoT mampu meningkatkan efisiensi operasional bank sampah dan menawarkan solusi praktis untuk pengelolaan sampah yang lebih baik, mendukung lingkungan yang berkelanjutan.

Kata kunci : *Bank Sampah, Wireless Sensor Network (WSN), Internet of Things (IoT), Load cell, NodeMCU, Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)*

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk yang pesat, terutama di perkotaan telah memicu beragam permasalahan lingkungan, dengan salah satu yang paling mendesak adalah pengelolaan sampah yang kurang optimal. Di Kota Kendari, permasalahan ini semakin nyata dengan peningkatan jumlah sampah yang mencapai 290 ton per hari pada tahun 2022. Hal ini menandakan bahwa metode pengelolaan sampah tradisional yang masih banyak diterapkan, seperti pencatatan manual dan minimnya pemanfaatan teknologi modern tidak mampu mengimbangi kebutuhan pengelolaan yang lebih kompleks dan cepat[1].

Bank sampah muncul sebagai salah satu solusi inovatif yang bertujuan untuk meningkatkan pengelolaan sampah melalui pendekatan daur ulang. Meski menawarkan harapan, implementasi *bank* sampah di lapangan masih menghadapi sejumlah tantangan, terutama terkait sistem pencatatan dan penimbangan yang masih dilakukan secara manual. Ketergantungan pada proses manual ini tidak hanya memperlambat operasional tetapi juga berpotensi menimbulkan kesalahan dalam pencatatan, yang pada akhirnya menghambat efektivitas sistem pengelolaan sampah secara keseluruhan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan berbasis teknologi untuk mengatasi masalah ini dan meningkatkan efisiensi pengelolaan *bank* sampah.

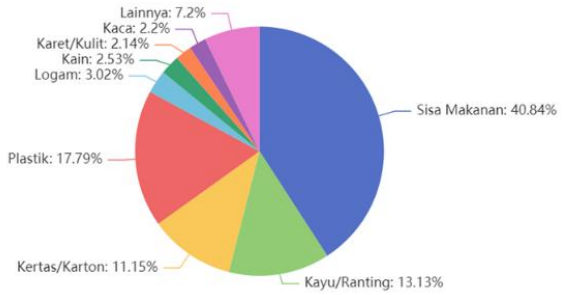
Teknologi seperti *Wireless Sensor Network* (WSN) dan *Internet of Things* (IoT) menawarkan solusi modern untuk mengoptimalkan pengelolaan sampah. Dengan WSN, data dari sensor dapat dikirimkan ke server pusat untuk dianalisis, sementara IoT memungkinkan integrasi perangkat untuk memantau dan mengelola data secara otomatis. Kombinasi teknologi ini dapat meningkatkan akurasi, transparansi, dan efisiensi dalam operasional *bank* sampah, termasuk pelacakan volume, identifikasi jenis sampah, dan perhitungan nilai tukar sampah. Protokol MQTT juga mendukung pengelolaan data berbasis IoT dengan proses *publish/subscribe* yang efisien. Pengembangan sistem berbasis IoT dan WSN berpotensi mengubah paradigma pengelolaan sampah, mengurangi dampak lingkungan, dan meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya menjaga lingkungan [2].

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sampah

Sampah merupakan masalah primer yang berakibat tidak baik terhadap lingkungan. Minimnya kesadaran masyarakat untuk membuang sampah sesuai aturan erat hubungannya dengan kondisi tempat sampah, karena tempat sampah yang kondisinya tidak terawat mengakibatkan orang tidak tertarik untuk membuang sampah [3].

Gambar 1 menunjukkan data komposisi sampah di Indonesia berdasarkan Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) pada tahun 2022.



Gambar 1. Grafik perbandingan jenis sampah di Indonesia tahun 2022

2.2. Sistem Monitoring

Sistem monitoring adalah sebuah sistem yang dirancang untuk memantau suatu proses guna memperoleh data yang akurat dalam jangka waktu tertentu. Salah satu elemen penting dalam sistem ini adalah kemampuan menyajikan data secara real-time.

Sistem ini berfungsi menyediakan informasi mengenai jalannya suatu proses, yang dapat digunakan untuk menentukan langkah-langkah perbaikan berkelanjutan. Dalam penerapannya, monitoring dilakukan saat proses sedang berjalan untuk memastikan kelangsungannya [4].

2.3. *Internet of Things* (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah sebuah konsep yang bertujuan untuk memperluas manfaat dari konektivitas internet secara berkelanjutan, memungkinkan berbagai objek fisik seperti mesin dan perangkat untuk saling terhubung melalui jaringan yang dilengkapi dengan sensor dan aktuator. Hal ini tidak hanya memungkinkan pengambilan dan pengelolaan data secara efisien tetapi juga memungkinkan transfer data antar perangkat tanpa memerlukan interaksi langsung antara manusia maupun antara manusia dengan komputer. Perkembangan IoT semakin pesat berkat inovasi dalam teknologi nirkabel, sistem mikroelektromekanik (MEMS), dan internet. Meskipun teknologi RFID sering dikaitkan dengan IoT sebagai salah satu metode komunikasi, IoT juga mencakup berbagai teknologi sensor lainnya, seperti jaringan nirkabel dan kode QR, yang telah banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari [5].

Prinsip kerja IoT cukup sederhana, yaitu berdasarkan tiga elemen utama dalam arsitekturnya: objek fisik yang dilengkapi modul IoT, perangkat yang terhubung ke internet seperti modem atau router nirkabel, serta pusat data *cloud* untuk menyimpan aplikasi dan basis data. Inti dari kerja IoT adalah memberikan identitas unik pada objek di dunia nyata sehingga dapat dihitung dan direpresentasikan sebagai data dalam sistem komputer. Pada awal pengembangannya, IoT menggunakan teknologi seperti kode batang (barcode), QR *code*, atau RFID untuk mengidentifikasi dan membaca objek melalui sistem komputer [6].

2.4. *Wireless Sensor Network* (WSN)

Wireless Sensor Network (WSN) adalah jaringan yang terdiri dari kumpulan node sensor dan *routing* yang dirancang untuk diterapkan dalam kondisi atau lingkungan tertentu guna memantau berbagai parameter fisik, seperti kecepatan angin, suhu, dan sebagainya. Jaringan ini bertugas mengumpulkan dan mengolah data dari node-node kecil, yang kemudian diteruskan kepada operator. WSN sering dimanfaatkan di lokasi terpencil yang sulit dijangkau oleh manusia, sehingga perawatan setelah pemasangan menjadi tantangan. Oleh karena itu, berbagai upaya dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan daya tahan jaringan ini [7].

2.5. *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT)

Untuk mendukung pertukaran data yang aman dan andal antar node dalam sistem *Internet of Things* (IoT), berbagai protokol komunikasi dan perpesanan telah dikembangkan. Salah satu protokol yang paling banyak digunakan adalah *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT). MQTT dirancang khusus untuk aplikasi yang membutuhkan komunikasi ringan dan efisien, menjadikannya pilihan ideal untuk berbagai skenario, seperti smart home, aplikasi industri, dan banyak lainnya. Keunggulan utama MQTT meliputi kemampuannya untuk mendukung komunikasi pada *bandwidth* rendah, persyaratan memori yang minimal, dan toleransi terhadap kondisi jaringan yang tidak stabil dengan kemungkinan kehilangan paket yang rendah. Dengan karakteristik ini, MQTT mampu memastikan pertukaran data tetap lancar meskipun dalam lingkungan dengan keterbatasan sumber daya atau jaringan yang menantang [8].

Protokol komunikasi MQTT memiliki empat komponen utama: broker (pusat pengendali), klien (simpul IoT), topik, dan pesan. Dalam MQTT, topik memuat informasi mengenai sumber dan tujuan pengiriman pesan di jaringan, yang disusun menggunakan pembatas garis miring (/) dan berisi data yang dikumpulkan oleh sensor IoT. Protokol ini memungkinkan setiap node menjalankan tiga fungsi utama, yaitu memilih topik, mempublikasikan topik, dan berlangganan topik. Node IoT (klien) berkomunikasi melalui broker sebagai perantara pusat. Broker ini dapat beroperasi di tingkat lokal (broker *edge*) atau berbasis *cloud* (broker jarak jauh) [9].

2.6. *Load Cell*

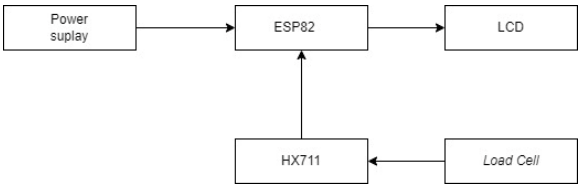
Load cell adalah *transducer* yang mengukur beban atau gaya dengan menghasilkan *output* yang sebanding dengan berat yang diberikan. Sensor ini bekerja dengan mengubah regangan pada logam menjadi perubahan resistansi, yang kemudian dikonversi menjadi sinyal listrik sesuai dengan berat yang diukur. *Load cell*, juga dikenal sebagai sensor beban, memiliki inti besi yang mengalami perubahan resistansi saat diberi beban. Komponen ini terdiri dari

empat kabel, dua untuk eksitasi dan dua untuk sinyal keluaran [10].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini memiliki alur yang dimulai dengan mengidentifikasi kebutuhan pengelolaan sampah di UD. Maju Jaya. Kemudian melakukan studi literatur untuk mengkaji konsep IoT dan pengaplikasiannya dalam pengelolaan sampah. Selanjutnya melakukan perancangan sistem untuk menentukan arsiteksur IoT yang akan digunakan, seperti menentukan parameter utama yang akan dimonitor. Selanjutnya melakukan pengujian sistem secara teknis untuk memastikan perangkat berfungsi sesuai desain. Selanjutnya menganalisis data hasil pengujian dan memberikan kesimpulan tentang keberhasilan implementasi sistem.

2.1. Diagram Blok Alat

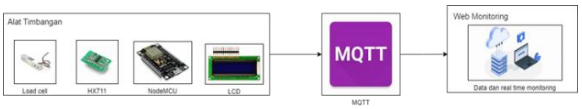


Gambar 2. Blok diagram alat

Berdasarkan gambar 2, tiap-tiap bagian dari blok berfungsi untuk:

a. Sensor *(Load Cell)*: mengubah pergeseran mekanis akibat beban menjadi perubahan tegangan.
b. HX711 *(Signal Conditioning Circuit)*: menyesuaikan tegangan dari *load cell* untuk menentukan titik ukur awal.
c. ADC *(Analog to Digital Converter)*: mengonversi tegangan analog dari HX711 menjadi data digital.
d. Mikrokontroler (ESP82): memproses data digital dan mengirimkannya ke LCD.
e. LCD: menampilkan hasil pengukuran beban.

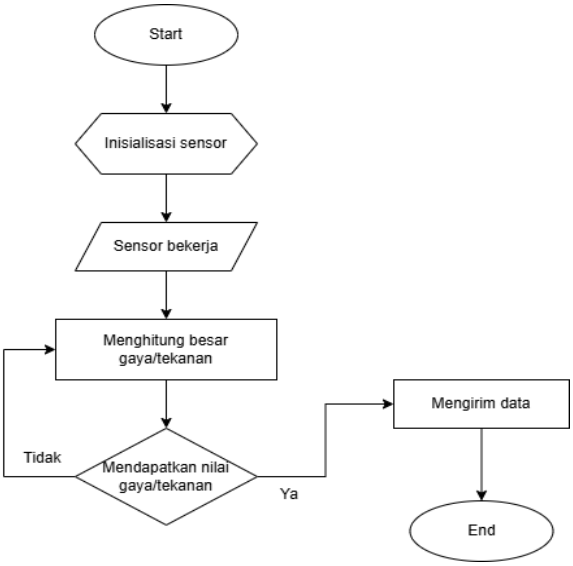
2.2. Diagram Blok Sistem



Gambar 3. Blok diagram sistem

Berdasarkan gambar 3 dapat dijelaskan bahwa Proses dimulai dengan *load cell* yang mengubah pergeseran mekanis menjadi tegangan, lalu disesuaikan oleh HX711 untuk mencari titik ukur awal. Tegangan analog dari HX711 diubah menjadi data digital melalui proses ADC dan ditampilkan di LCD. Data tersebut kemudian dikirim ke mikrokontroler NodeMCU, yang mengirimkan data ke cloud storage melalui MQTT.

2.3. *Flowchart Alat*

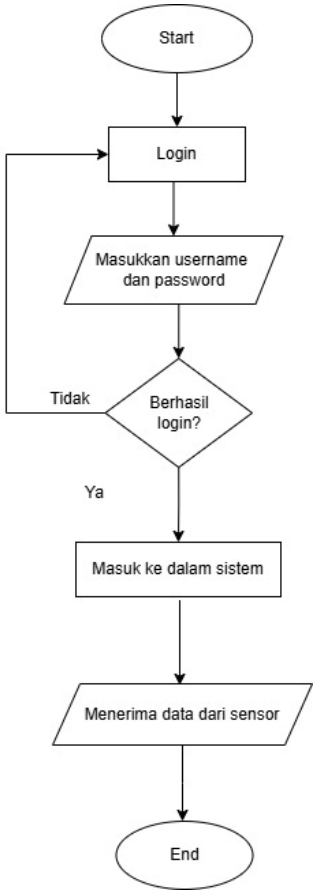


Gambar 4. *Flowchart* alat

Berdasarkan gambar 5 dapat dilihat:

a. Melakukan inisialisasi sensor terlebih dahulu.
b. Sensor mulai menghitung gaya/tekanan yang dihasilkan.
c. Setelah mendapatkan data tekanan/gaya, data dikirim ke server.

2.4. *Flowchart* Sistem



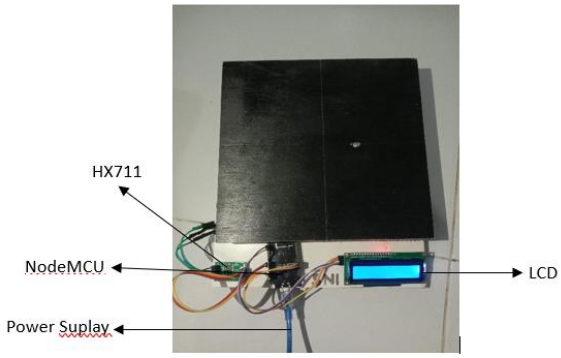
Gambar 5. *Flowchart* sistem

Berdasarkan gambar 5 dapat dilihat:

a. *Admin* mengakses sistem dengan melakukan *login.*
b. *Admin* memasukkan *username* dan *password* pada *form login.*
c. Jika *username* dan *password* benar, sistem akan masuk ke halaman *dashboard* dan jika salah maka akan kembali ke halaman *login.*
d. Setelah berhasil *login,* sistem akan menerima data dari sensor berupa nilai gaya atau tekanan yang dihasilkan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Rancangan Akhir Alat



Gambar 6. Hasil rancangan alat

Perangkat ini dirancang untuk membaca beban atau berat yang diletakkan di atas dudukan. Sensor *load cell* mendeteksi berat dan mengirimkan sinyalnya ke modul HX711 untuk diperkuat dan dikonversi menjadi data digital. NodeMCU menerima data tersebut, memprosesnya dan menampilkan hasilnya pada LCD. Perangkat ini juga memanfaatkan koneksi Wi-Fi pada NodeMCU untuk mengirim data ke cloud atau server jika diperlukan.

4.2. Pengujian

Penelitian ini mencakup tiga skenario pengujian utama. Pengujian *Load Cell* dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran berat sampah menggunakan *load cell* dan timbangan standar. Pengujian MQTT mengevaluasi performa komunikasi data menggunakan protokol MQTT dalam berbagai kondisi jaringan. Sementara itu, Pengujian Koneksi NodeMCU menguji stabilitas koneksi NodeMCU terhadap jaringan *WiFi* melalui beberapa kali pengulangan.

4.3. Pengujian *Load Cell*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi dari sensor *load cell* yang digunakan pada sistem. Pengujian akan dilakukan dengan cara melakukan perbandingan data antara pengukuran berat *load cell* dengan pengukuran berat lainnya. Kemudian dilakukan perhitungan untuk mengetahui rata-rata kesalahannya dengan Persamaan 1.

$$\%\ eror = \frac{\text{Nilai pengukuran lain} - \text{Nilai pengukuran } load\ cell}{\text{Nilai pengukuran lain}}\ X\ 100\% \qquad (1)$$

Berdasarkan persamaan 1, maka diperoleh hasil pengujian sensor *load cell* pada sampah logam dan non-logam seperti yang ditampilkan pada tabel 1 dan tabel 2. Berdasarkan hasil pengujian, sensor *load cell* menunjukkan performa yang lebih baik dalam menimbang sampah logam dibandingkan dengan sampah non-logam. Pada pengujian sampah logam, rata-rata selisih pengukuran hanya sebesar 0,021 kg dengan persentase *error* 3,115%, yang menunjukkan tingkat akurasi yang cukup baik. Sebaliknya, pada pengujian sampah non-logam, rata-rata selisih pengukurannya lebih besar, yaitu 0,071 kg, dengan persentase *error* mencapai 19,532%, menandakan tingkat akurasi yang lebih rendah. Tingginya persentase *error* pada sampah non-logam kemungkinan disebabkan oleh karakteristik material non-logam yang cenderung tidak seragam, sensitivitas sensor yang lebih optimal untuk material logam, atau kebutuhan akan kalibrasi ulang agar sesuai untuk material non-logam. Secara keseluruhan, sensor *load cell* terbukti cukup andal dalam menimbang sampah logam, namun masih memerlukan penyesuaian atau pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan akurasi pada sampah non-logam.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan *load cell* sebagai alat pengukur berat sampah logam menghasilkan tingkat akurasi yang bervariasi tergantung pada kondisi pengukuran. Pada pengukuran dengan variasi logam, *load cell* memiliki kesalahan yang lebih besar secara persentase tetapi lebih kecil dalam hal selisih. Sebaliknya pada pengukuran non logam, kesalahan rata-rata lebih kecil secara persentase namun menunjukkan selisih yang lebih besar dengan metode lain. Oleh karena itu, untuk mencapai hasil yang optimal, perlu dipertimbangkan kondisi dan metode pengukuran yang sesuai dengan tujuan dan toleransi kesalahan yang dapat diterima.

Tabel 1. Hasil pengujian *load cell* pada sampah logam

Berat Sampah (kg)				
Sampah	**Pengukuran Lain**	**Pengukuran *Load cell***	**Selisih Pengukuran**	**Eror (%)**
Besi tua	0,460	0,433	0.027	5,869
Panci	0,835	0,805	0,03	3,592
Kaleng	0,235	0,225	0,01	4,255
Seng	1,585	1,535	0,05	3,154
Kompor	1,340	1,336	0,004	0,298
Hanger Besi	0,650	0,645	0.005	0,769
Paku bekas	0,620	0,596	0,024	3,870
Rata-rata			0,021	3,115

Tabel 2. Hasil pengujian *load cell* pada sampah non-logam

Berat Sampah (kg)				
Sampah	**Pengukuran Lain**	**Pengukuran *Load cell***	**Selisih Pengukuran**	**Eror (%)**
Kardus	0,355	0,280	0,075	21,126
Kertas	0,870	0,722	0,148	17,011
Plastik	0,230	0,197	0,033	14,347
Buku	0,880	0,880	0	0
Botol kaca	0,735	0,725	0,01	72,5
Ember	0,480	0,470	0,01	2,083
Kipas angin	0,710	0,591	0,119	16,760
Charger	0,510	0,436	0,074	14,509
Stop kontak	0,590	0,487	0,103	17,457
Rata-rata			0,021	3,115

4.4. Pengujian MQTT

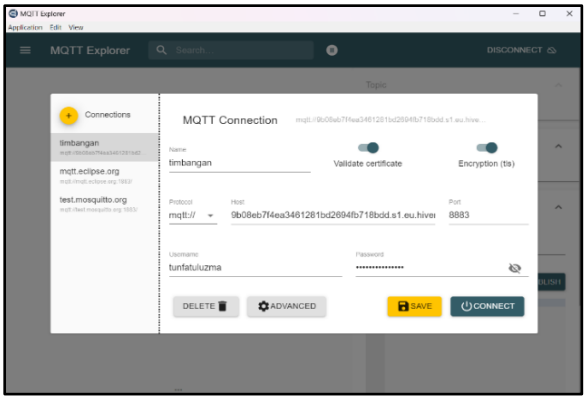
Pengujian pada *MQTT* adalah mengamati pesan yang dikirim oleh klien (distributor) yang dapat diproses untuk dikirim ke penerima yang memiliki tema yang sama dengan distributor. Apabila subjek pada penerima tidak cocok dengan distributor, broker tidak akan meneruskan perintah ke penerima sampai subjek cocok dengan yang ada pada distributor sehingga pesan akan diterima oleh penerima dan informasi berat yang dikirim oleh ESP8266 dapat dibaca pada sistem. Untuk menguji koneksi MQTT digunakan beberapa parameter seperti *delay*, *throughput*, dan *packet loss.*

$$Delay = \frac{Rentang\ Waktu}{Paket} \quad (2)$$

$$Throughtput = \frac{Jumlah\ data\ yang\ dikirim}{Waktu\ pengiriman\ data} \quad (3)$$

$$Packet\ Loss = \frac{Data\ yang\ dikirim - Data\ yang\ \ diterima}{Data\ yang\ dikirim}\ x\ 100\% \quad (4)$$

Pengujian komunikasi data *MQTT* dilakukan dengan melakukan pengiriman data secara *real-time* menggunakan *software MQTT-Explorer*, serta mengambil rentan waktu 10 detik dan 20 detik saat proses pengiriman data.



Gambar 7. Pengujian MQTT menggunakan MQTT *explore*

Tabel 3. Hasil pengamatan komunikasi data MQTT

Waktu (s)	***Delay* (ms)**	***Throughput* (packets/s)**	***Packet loss* (%)**
10	1	1	0%
20	1	1	0%

Tabel 3 menunjukkan bahwa pada saat pengiriman data nilai *delay* dan nilai *throughput* memiliki hasil yang sama yaitu sebesar 1,0. Hal ini dapat terjadi karena data yang dikirim dari sensor sebanyak 10 data dengan rentang waktu 10 detik atau dihitung sebagai 1 detik/data. Tingkat kehilangan paket sebesar 0%, karena tidak terjadi kehilangan data pada saat pengiriman data. Sehingga data tetap sampai ke tujuannya. Seperti pada percobaan pengiriman data selama 10 detik, nilai *delay* yang didapatkan sebesar 1 detik dan *throughput* yang didapatkan sebesar 1 paket/s atau 1.000 mbps, sedangkan pada pengiriman data selama 20 detik, nilai *delay* yang didapatkan sebesar 1 detik dan nilai *throughput* yang didapatkan sebesar1 paket/s atau 1.000 mbps. Pengujian ini dilakukan pada masing-masing sensor.

Selanjutnya adalah melakukan pengujian pada MQTT *client.* Dimana pengujian ini dilakukan dengan mengaktifkan nodemcu sebagaai *client* yang terhubung melalui jaringan *WiFi* dengan *gateaway.* Tujuan dilakukannya pengujian ini adalah agar dapat mengetahui tingkat akurasi keberhasilan NodeMCU dalam melakukan koneksi ke jaringan *WiFi* dan MQTT. Pengujian dilakukan dengan menggunakan persamaan 5,6,7.

$$Persentase\ Error\ percobaan\ ke-n = \frac{Total\ Selisih\ Keberhasilan\ Koneksi}{Total\ NodeMCU} \times 100\% \quad (5)$$

$$rata-rata\ persentase\ error\ percobaan = \frac{\sum Persentase\ Percobaan\ \ Ke-n}{Total\ Pengujian} \quad (6)$$

$$Akurasi = 100\% - (rata-rata\ persentase\ error\ percobaan) \quad (7)$$

Tabel 4. Hasil perhitungan keberhasilan koneksi

Percobaan ke-	**NodeMCU (Sensor)**	**Status Keberhasilan**
1	1	√
	2	√
2	1	√
	2	√
3	1	√
	2	√
4	1	√
	2	×

Percobaan ke-	NodeMCU (Sensor)	Status Keberhasilan
5	1	√
	2	√
6	1	√
	2	×
7	1	√
	2	√
8	1	√
	2	√
9	1	√
	2	√
10	1	×
	2	√
11	1	√
	2	√
12	1	√
	2	√
13	1	√
	2	√
14	1	√
	2	√
15	1	√
	2	√

Hasil dari pengujian yang dilakukan sebanyak 15 kali percobaan mendapatkan hasil akurasi sebesar 90% maka dapat disimpulkan bahwa akurasi keberhasilan NodeMCU dalam melakukan koneksi ke jaringan *WiFi* dan MQTT dapat diandalkan. Adapaun pada masalah kegagalan koneksi yang terjadi mencapai 10%, kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor seperti sinyal *WiFi* melemah, interfensi jaringan dan lain sebagainya. Ketika koneksi gagal data dari sensor tidak terkirim ke server, tetapi tetap tersimpan di memori sementara pada NodeMCU.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa sensor *load cell* yang digunakan mampu mendeteksi berat sampah dengan kesalahan rata-rata kecil, yakni 3,115% untuk sampah logam dan 19,532% untuk sampah non-logam. Pengiriman data dari sensor menunjukkan performa yang konsisten dengan *delay* dan *throughput* yang tetap, yaitu 1 detik dan 1 paket/s tanpa kehilangan data. Proses konektivitas juga cukup andal dengan akurasi 90%, meskipun masih ada beberapa kegagalan koneksi, terutama pada kondisi sinyal *WiFi* yang lemah atau gangguan lingkungan. Hal ini menunjukkan perlunya peningkatan dalam memastikan keandalan konektivitas melalui penguatan sinyal atau pengoptimalan konfigurasi perangkat keras dan lunak. Penelitian selanjutnya dapat fokus pada peningkatan akurasi *load cell* untuk sampah non-logam melalui kalibrasi yang lebih baik atau algoritma pemrosesan sinyal. Pengujian juga dapat diperluas untuk berbagai jenis sampah dan kondisi lingkungan. Selain itu, optimasi pengiriman data dengan protokol komunikasi efisien seperti MQTT atau LoRa dapat mengurangi konsumsi daya. Peningkatan konektivitas dapat dilakukan dengan mitigasi gangguan sinyal, seperti antena eksternal atau redundansi jaringan. Terakhir, sistem dapat diintegrasikan dengan platform manajemen sampah berbasis IoT dan aplikasi untuk visualisasi data secara *real-time.*

DAFTAR PUSTAKA

[1] R. Syarif, A. J. Malik, K. N. F. Syahnur, F. Fitriyani, M. A. Riana, and I. Arifin, "Pengenalan Konsep Ekonomi Sirkular Melalui Webinar 'Ekonomi Sirkular: Solusi Masalah Persampahan di Indonesia,'" *Celeb. J. Community Serv.*, vol. 1, no. 1, pp. 28–35, 2022, doi: 10.37531/celeb.v1i1.176.

[2] S. Anto and Arie Atwa Magriyanti, "Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Tanah Sawah Dengan Parameter Suhu Dan Kelembaban Tanah Menggunakan Arduino Berbasis Internet Of Things (Iot)," *Elkom J. Elektron. dan Komput.*, vol. 15, no. 2, pp. 234–241, 2022, doi: 10.51903/elkom.v15i2.896.

[3] A. Winatan, A. Solichin, and H. Soetanto, "Rancang Bangun Tempat Pembuangan Sampah Otomatis Berbasis Internet Of Things Dengan Menggunakan Design Of An Internet Of Things-Based Automatic," vol. 2, no. April, pp. 518–525, 2023.

[4] R. B. S. Bayu, R. P. Astutik, and D. Irawan, "Rancang Bangun Smarthome Berbasis Qr Code Dengan Mikrokontroller Module Esp32," *JASEE J. Appl. Sci. Electr. Eng.*, vol. 2, no. 01, pp. 47–60, 2021, doi: 10.31328/jasee.v2i01.60.

[5] F. Fathurrohman, T. Prasetiya, I. Iin, and M. Mulyawan, "Sistem Monitoring Penyiraman Otomatis Berbasis Iot Menggunakan Soil Moisture Pada Tanaman Melon," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.*, vol. 8, no. 1, pp. 568–573, 2024, doi: 10.36040/jati.v8i1.8423.

[6] K. Gulati, R. S. Kumar Boddu, D. Kapila, S. L. Bangare, N. Chandnani, and G. Saravanan, "A review paper on wireless sensor network techniques in Internet of Things (IoT)," *Mater. Today Proc.*, vol. 51, pp. 161–165, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.05.067.

[7] M. Majid *et al.*, "Applications of Wireless Sensor Networks and Internet of Things Frameworks in the Industry Revolution 4.0: A Systematic Literature Review," *Sensors*, vol. 22, no. 6, pp. 1–36, 2022, doi: 10.3390/s22062087.

[8] B. P. Dessyanto, "Protokol Jaringan dalam Internet of Things," *LPPM UPN "Veteran" Yogyakarta*, p. 105, 2020, [Online]. Available: http://eprints.upnyk.ac.id/27440/1/buku-protokol-jaringan-dalam-iot-dan-sertifikat-haki.pdf

[9] M. A. Khan, M. A. Khan, S. U. Jan, J. Ahmad, N. Pitropakis, and W. J. Buchanan, "Sistem Deteksi Intrusi Berbasis Pembelajaran Jauh untuk MQTT IoT diaktifkan," 2021.

[10] S. D. Ramdan, "Pengembangan Koper Pintar Berbasis Arduino," *J. ICTEE*, vol. 1, no. 1, pp. 4–8, 2020, doi: 10.33365/jictee.v1i1.699.