



Sistem Monitoring Volume Sampah Medis Berdasarkan Ketinggian Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis IoT dengan Notifikasi Telegram

Fauzi Ramdani, Nuroji*

Fakultas Teknologi Industri dan Informatika, Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA, Jakarta
Jl. Tanah Merdeka No.20, RT.11/RW.2, Rambutan, Kec. Ciracas, Kota Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta, Indonesia

Email: ¹fauzi.ramdani@uhamka.ac.id, ^{2,*}nuroji@uhamka.ac.id

Email Penulis Korespondensi: nuroji@uhamka.ac.id

Submitted: 16/01/2026; Accepted: 31/01/2026; Published: 31/01/2026

Abstrak—Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring ketinggian sampah medis berbasis Internet of Things (IoT) sebagai upaya mengatasi permasalahan pemantauan limbah medis yang masih dilakukan secara manual pada fasilitas kesehatan berskala kecil. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan keterlambatan pengangkutan limbah, sehingga meningkatkan risiko kesehatan dan pencemaran lingkungan. Sistem yang dikembangkan memanfaatkan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 sebagai unit kendali utama, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur ketinggian tumpukan sampah medis, serta LCD 16x2 I2C sebagai media tampilan informasi secara real-time. Apabila ketinggian sampah mencapai batas yang telah ditentukan, sistem secara otomatis mengirimkan notifikasi peringatan melalui aplikasi Telegram. Metode penelitian yang digunakan adalah Research and Development (R&D) dengan pendekatan eksperimental yang meliputi tahapan identifikasi masalah, perancangan sistem, implementasi, dan pengujian alat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor ultrasonik memiliki tingkat akurasi sebesar 98% dengan rata-rata selisih kesalahan ± 2 cm, serta waktu pengiriman notifikasi Telegram kurang dari 5 detik setelah ambang batas tercapai. Kontribusi penelitian ini terletak pada perancangan dan implementasi sistem monitoring volume sampah medis berbasis IoT yang sederhana, real-time, dan mudah diimplementasikan, sehingga dapat mendukung pengelolaan limbah medis yang lebih aman, efektif, dan responsif pada fasilitas kesehatan berskala kecil.

Kata Kunci: Internet of Things (IoT); Ketinggian Sampah Medis; Sensor Ultrasonik HC-SR04; Notifikasi Telegram

Abstract—This research aims to develop an Internet of Things (IoT)-based medical waste height monitoring system as an effort to overcome the problem of manual medical waste monitoring in small-scale health facilities. This condition has the potential to cause delays in waste transportation, thereby increasing health risks and environmental pollution. The developed system utilizes a NodeMCU ESP8266 microcontroller as the main control unit, an HC-SR04 ultrasonic sensor to measure the height of medical waste piles, and a 16x2 I2C LCD as a real-time information display medium. If the waste height reaches a predetermined limit, the system automatically sends a warning notification via the Telegram application. The research method used is Research and Development (R&D) with an experimental approach that includes the stages of problem identification, system design, implementation, and tool testing. The test results show that the ultrasonic sensor has an accuracy level of 98% with an average error difference of ± 2 cm, and the Telegram notification delivery time is less than 5 seconds after the threshold is reached. The contribution of this research lies in the design and implementation of a simple, real-time, and easy-to-implement IoT-based medical waste volume monitoring system, so that it can support safer, more effective, and more responsive medical waste management in small-scale health facilities.

Keywords: Internet of Things (IoT); Medical Waste Level; Telegram Notification; HC-SR04 Ultrasonic Sensor

1. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah fasilitas kesehatan berskala kecil, seperti Praktik Mandiri Bidan (PMB), berdampak pada meningkatnya volume limbah medis yang dihasilkan setiap hari[1]. Limbah medis termasuk dalam kategori limbah berbahaya dan beracun (B3) yang memerlukan penanganan khusus karena berpotensi menimbulkan risiko kesehatan serta pencemaran lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik[2]. Selain bersifat B3, limbah medis juga memiliki risiko infeksius yang dapat membahayakan petugas apabila terjadi kontak fisik secara langsung dengan wadah limbah, sehingga pengelolaannya harus sejalan dengan prinsip Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di fasilitas kesehatan[3]. Pada banyak PMB, pemantauan volume limbah masih dilakukan secara manual melalui pengecekan langsung pada wadah penampungan[4]. Metode ini kurang efektif akibat keterbatasan waktu dan padatnya aktivitas pelayanan, serta meningkatkan risiko paparan langsung terhadap limbah medis, sehingga berpotensi menimbulkan keterlambatan pengangkutan dan penumpukan limbah melebihi kapasitas aman[5].

Permasalahan tersebut menunjukkan perlunya sistem pemantauan volume limbah medis yang mampu bekerja secara otomatis dan berkelanjutan tanpa memerlukan kontak fisik secara langsung[6]. Pemanfaatan teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan integrasi sensor dan mikrokontroler untuk melakukan pemantauan serta pengiriman data secara real-time[7]. Penerapan sistem monitoring berbasis IoT dapat membantu meminimalkan interaksi langsung petugas dengan wadah limbah medis, sehingga mendukung penerapan prinsip K3 serta mengurangi risiko infeksi akibat paparan limbah. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa sistem pemantauan tempat sampah berbasis IoT mampu memantau kapasitas wadah secara real-time dan meningkatkan efektivitas pengelolaan sampah melalui penyampaian informasi yang cepat kepada pengguna[8]. Selain itu, penerapan sistem smart waste bin berbasis IoT juga terbukti mendukung pengelolaan limbah medis secara



berkelanjutan melalui pemantauan otomatis dan peringatan dini ketika kapasitas wadah mendekati batas maksimum[9].

Pemanfaatan aplikasi pesan instan seperti Telegram sebagai media notifikasi dinilai efektif dalam menyampaikan informasi kondisi wadah limbah secara cepat dan praktis kepada pengguna[10]. Melalui sistem monitoring berbasis IoT, kondisi wadah limbah dapat dipantau secara kontinu dan informasi dapat disampaikan secara cepat kepada pihak terkait melalui mekanisme notifikasi, sehingga proses pengelolaan limbah medis dapat dilakukan secara lebih efisien, aman, dan responsif tanpa harus melakukan pengecekan manual secara langsung[11].

Berbagai penelitian terkait sistem monitoring sampah berbasis Internet of Things (IoT) telah banyak dikembangkan, baik untuk sampah umum maupun limbah medis. Namun, penerapannya pada fasilitas kesehatan berskala kecil seperti Praktik Mandiri Bidan masih memerlukan penyesuaian dari sisi kompleksitas sistem, kemudahan implementasi, serta mekanisme penyampaian informasi yang praktis bagi tenaga kesehatan. Sebagian sistem yang ada menggunakan infrastruktur yang relatif kompleks atau dirancang untuk skala fasilitas yang lebih besar, sehingga belum sepenuhnya sesuai dengan kebutuhan operasional PMB. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan sistem monitoring volume limbah medis yang sederhana, ekonomis, dan mampu memberikan notifikasi peringatan dini secara real-time guna mendukung pengelolaan limbah medis yang lebih aman dan efektif di fasilitas kesehatan berskala kecil.

Berbagai pengembangan sistem monitoring sampah berbasis IoT telah dilakukan, baik untuk sampah umum maupun limbah medis. Namun, sebagian besar sistem yang ada masih berfokus pada fasilitas kesehatan berskala besar, menggunakan infrastruktur yang relatif kompleks, atau belum mengutamakan mekanisme peringatan dini yang sederhana dan mudah diakses[12]. Di sisi lain, PMB pada umumnya telah memiliki akses internet atau jaringan Wi-Fi sebagai penunjang administrasi dan layanan kesehatan, sehingga penerapan sistem IoT berbasis NodeMCU ESP8266 menjadi lebih memungkinkan, ekonomis, dan mudah diimplementasikan pada fasilitas kesehatan berskala kecil[13]. Kondisi ini menunjukkan adanya kebutuhan akan sistem monitoring volume limbah medis yang ringan, real-time, dan sesuai untuk PMB[14].

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring volume sampah medis berbasis IoT menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 dan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dengan integrasi notifikasi melalui aplikasi Telegram[15]. Sistem yang dikembangkan diharapkan mampu memantau volume limbah secara real-time serta memberikan peringatan dini ketika kapasitas wadah mendekati batas penuh, sekaligus meminimalkan kontak fisik petugas dengan limbah medis, sehingga pengelolaan limbah medis pada fasilitas kesehatan berskala kecil dapat dilakukan secara lebih efektif, aman, dan berkelanjutan[16].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini memberikan kontribusi dalam bentuk perancangan dan implementasi sistem monitoring ketinggian sampah medis berbasis Internet of Things (IoT) yang dilengkapi dengan notifikasi otomatis secara real-time melalui aplikasi Telegram. Kontribusi penelitian ini terletak pada penerapan sistem monitoring sederhana namun efektif yang dapat digunakan pada fasilitas kesehatan berskala kecil, sehingga membantu meningkatkan ketepatan pemantauan volume limbah medis, mengurangi ketergantungan pada pengecekan manual, serta mendukung pengelolaan limbah medis yang lebih aman dan responsif.

2. METODOLOGI PENELITIAN

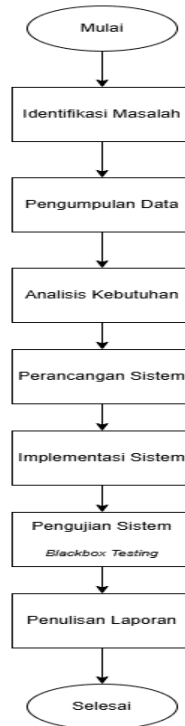
2.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan pendekatan eksperimental yang bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring volume sampah medis berbasis Internet of Things (IoT)[17]. Metode R&D dipilih karena memungkinkan pengembangan produk berupa prototipe sistem yang dapat diuji secara langsung sesuai dengan kebutuhan di lapangan, khususnya pada fasilitas kesehatan berskala kecil[18]. Tahapan penelitian meliputi identifikasi masalah, pengumpulan data, analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, serta pengujian sistem[19]. Identifikasi masalah dilakukan melalui observasi dan wawancara untuk memahami kondisi pengelolaan limbah medis di Praktik Mandiri Bidan Husnul Khotimah. Selanjutnya, sistem dirancang dengan memanfaatkan sensor ultrasonik dan mikrokontroler untuk memantau volume limbah secara real-time serta mengirimkan notifikasi otomatis melalui aplikasi Telegram[20]. Penelitian ini dilaksanakan di Praktik Mandiri Bidan Husnul Khotimah, yang berlokasi di Jl. Raden Denda Kusuma RT.10/RW.3, Pasir Aeurih Mesjid, Desa Bojongcae, Kecamatan Cibadak, Kabupaten Lebak, Banten, pada tanggal 13–26 September 2025. Alur tahapan penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 1.

Pendekatan eksperimental dalam metode Research and Development (R&D) digunakan untuk memastikan bahwa sistem monitoring volume sampah medis yang dikembangkan tidak hanya valid secara teoritis, tetapi juga mampu beroperasi secara optimal pada kondisi nyata di lapangan. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk melakukan pengujian langsung terhadap prototipe yang telah dibangun, sehingga setiap fungsi sistem dapat dievaluasi berdasarkan respons terhadap perubahan kondisi volume limbah medis di dalam wadah. Proses eksperimen dilakukan dengan mengamati kinerja sensor ultrasonik dalam membaca jarak, ketepatan sistem dalam

mengonversi data jarak menjadi persentase kapasitas, serta keandalan sistem dalam mengirimkan notifikasi peringatan melalui aplikasi Telegram secara real-time.

Selain itu, pendekatan eksperimental juga memberikan ruang untuk melakukan penyesuaian dan penyempurnaan sistem selama tahap pengembangan. Setiap hasil pengujian yang diperoleh dianalisis untuk mengidentifikasi potensi kesalahan pembacaan, keterlambatan notifikasi, maupun ketidaksesuaian keluaran sistem dengan kebutuhan pengguna. Dengan demikian, proses pengembangan tidak hanya berorientasi pada pembuatan prototipe, tetapi juga pada peningkatan kualitas dan stabilitas sistem secara bertahap. Evaluasi dilakukan dengan meninjau keterpaduan antara perangkat keras dan perangkat lunak, sehingga sistem mampu bekerja secara konsisten dalam mendukung pemantauan volume limbah medis tanpa memerlukan interaksi fisik langsung dari petugas.



Gambar 1. Alur Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian pada Gambar 1 menggambarkan alur pengembangan sistem monitoring volume sampah medis berbasis Internet of Things (IoT) yang disusun secara sistematis dan terarah. Penelitian ini menerapkan metode Research and Development (R&D) dengan pendekatan eksperimental, yang umum digunakan dalam pengembangan serta pengujian prototipe sistem berbasis IoT[21]. Alur tahapan penelitian berbasis R&D ini memungkinkan keterkaitan yang jelas antara kebutuhan pengguna, proses perancangan sistem, hingga evaluasi kinerja sistem melalui pengujian fungsional[22]. Tahapan penelitian dimulai dari identifikasi masalah dan pengumpulan data untuk memahami kondisi pengelolaan limbah medis di lokasi penelitian. Tahap selanjutnya meliputi analisis kebutuhan dan perancangan sistem, yang menghasilkan desain perangkat keras dan perangkat lunak sesuai dengan kondisi lapangan. Rancangan tersebut kemudian diimplementasikan dalam bentuk prototipe sistem monitoring yang mampu bekerja secara real-time. Tahap akhir berupa pengujian sistem dilakukan untuk memastikan seluruh fungsi berjalan sesuai dengan perancangan. Setiap tahapan dilaksanakan secara berurutan guna memastikan sistem yang dikembangkan memiliki kinerja yang andal, responsif, dan sesuai dengan kebutuhan pengguna, sebagaimana diterapkan pada penelitian-penelitian pengembangan sistem monitoring berbasis IoT sebelumnya[23].

Pengujian sistem pada tahap akhir dilakukan menggunakan metode Blackbox Testing, yang bertujuan untuk mengevaluasi fungsionalitas sistem berdasarkan kesesuaian keluaran yang dihasilkan. Pengujian difokuskan pada akurasi pembacaan jarak oleh sensor ultrasonik HC-SR04, ketepatan sistem dalam mendeteksi kondisi ambang batas kapasitas wadah, serta keberhasilan pengiriman notifikasi peringatan melalui aplikasi Telegram ketika kapasitas wadah mendekati batas penuh. Pendekatan ini memungkinkan penilaian kinerja sistem tanpa meninjau struktur internal perangkat lunak, sehingga lebih menekankan pada keandalan fungsi sistem secara keseluruhan.

2.2 Tahapan Penelitian

Tahap awal penelitian diawali dengan identifikasi permasalahan melalui observasi langsung terhadap proses pengelolaan limbah medis di Praktik Mandiri Bidan Husnul Khotimah. Hasil observasi menunjukkan bahwa



pemantauan volume sampah medis masih dilakukan secara manual tanpa prosedur baku dan tanpa sistem peringatan dini. Kondisi ini menyebabkan pengecekan kapasitas safety box sering terlewat akibat padatnya aktivitas pelayanan dan keterbatasan pengawasan visual, sebagaimana juga terjadi pada fasilitas kesehatan berskala kecil lainnya[24]. Tidak adanya mekanisme notifikasi otomatis ketika wadah limbah mendekati kapasitas penuh berpotensi menimbulkan keterlambatan pengangkutan limbah, yang dapat meningkatkan risiko keselamatan tenaga kesehatan serta pencemaran lingkungan.

Selanjutnya, pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi pendukung dalam perancangan sistem monitoring volume sampah medis. Metode yang digunakan meliputi observasi dan wawancara, yang umum diterapkan dalam penelitian pengembangan sistem berbasis IoT untuk menggali kebutuhan pengguna secara langsung[25]. Observasi difokuskan pada kondisi fisik wadah limbah, alur pemantauan yang berjalan, serta keterbatasan metode manual yang digunakan[26]. Wawancara dilakukan dengan Bidan Husnul Khotimah selaku pengelola utama PMB untuk memperoleh informasi terkait jumlah pasien harian, frekuensi tindakan medis, estimasi volume limbah medis yang dihasilkan, serta mekanisme pengangkutan limbah oleh pihak ketiga. Data yang diperoleh digunakan sebagai dasar dalam penentuan ambang batas kapasitas dan perancangan logika notifikasi sistem.

Tabel 1. Data Jumlah Pasien dan Kasus Tindakan Injeksi

No	Tanggal	Jumlah Pasien Harian	Kasus Tindakan Injeksi	Keterangan
1	13-09-2025	6	4	Terdapat kasus Injeksi Norages, Omeprazole
2	14-09-2025	7	4	Terdapat Injeksi Mersibion, Norages, Dexa
3	15-09-2025	7	2	Terdapat Injeksi Depo Andalan, Norages
4	16-09-2025	9	4	Terdapat Injeksi Dexa, Norages
5	17-09-2025	9	5	Terdapat Injeksi Norages, Dexa
6	18-09-2025	8	3	Terdapat Injeksi Norages
7	19-09-2025	8	5	Terdapat Injeksi Norages
8	20-09-2025	8	2	Terdapat Injeksi Omeprazole, Dexa
9	21-09-2025	7	4	Terdapat Injeksi Mersibion, Keterolak, Ondan
10	22-09-2025	7	1	Terdapat Injeksi Dexametason
11	23-09-2025	9	4	Terdapat Injeksi Mersibion, Depo Andalan, Norages
12	24-09-2025	8	3	Terdapat Injeksi Omeprazole, Keterolak, Norages
13	25-09-2025	6	3	Terdapat Injeksi Norages, Dexa
14	26-09-2025	7	3	Terdapat Injeksi Ketakenazole, Norages, Dexa
Total	14 Hari	106	47	

Berdasarkan Tabel 1, selama 14 hari observasi tercatat 106 pasien dengan 47 kasus tindakan injeksi yang menghasilkan limbah medis benda tajam. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas pelayanan di PMB Husnul Khotimah secara rutin menghasilkan limbah berisiko tinggi. Variasi jumlah tindakan injeksi per hari mengindikasikan potensi penumpukan limbah apabila pemantauan masih dilakukan secara manual. Oleh karena itu, data ini digunakan sebagai dasar perancangan sistem monitoring volume sampah medis berbasis IoT dengan notifikasi otomatis.

Selain itu, tingginya frekuensi tindakan injeksi tersebut menuntut adanya sistem pemantauan yang mampu bekerja secara kontinu tanpa bergantung pada pengawasan visual petugas. Pada kondisi operasional PMB yang memiliki keterbatasan sumber daya manusia, proses pengecekan manual berpotensi terlewat, terutama pada jam pelayanan padat. Dengan memanfaatkan sistem monitoring berbasis IoT, proses pemantauan kapasitas limbah dapat dilakukan secara otomatis dan real-time, sehingga petugas memperoleh informasi kondisi wadah secara tepat waktu melalui notifikasi. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi pengelolaan limbah medis, tetapi juga membantu meminimalkan kontak fisik langsung dengan limbah benda tajam, sejalan dengan penerapan prinsip keselamatan dan kesehatan kerja (K3) di fasilitas kesehatan berskala kecil.

Tabel 2. Analisis Risiko Limbah Medis Benda Tajam

Metrik Kuantitatif	Formula	Hasil	Kategori
Total Pasien	Total Pasien selama 14 hari	106	Benefit
Rata-Rata Pasien Harian	$\frac{106}{14}$	7.57	Benefit
Total Kasus Injeksi	Total Kasus Injeksi selama 14 hari	47	Benefit
Persentase Risiko Benda Tajam	$\frac{47}{106} \times 100\%$	44.34%	Benefit



Berdasarkan Tabel 2, selama periode observasi terdapat rata-rata 7,57 pasien per hari dengan total 47 kasus tindakan injeksi. Persentase risiko limbah medis benda tajam mencapai 44,34% dari total pasien, menunjukkan bahwa hampir setengah aktivitas pelayanan menghasilkan limbah berisiko tinggi. Nilai ini mengindikasikan perlunya sistem pemantauan volume limbah medis yang mampu memberikan peringatan dini secara otomatis guna mencegah penumpukan limbah dan meningkatkan keamanan pengelolaan.

2.3 Kebutuhan Perangkat

Kebutuhan perangkat pada penelitian ini digunakan sebagai penunjang dalam perancangan dan pembangunan sistem monitoring volume sampah medis berbasis Internet of Things (IoT). Perangkat yang digunakan terdiri dari perangkat keras yang berfungsi untuk melakukan akuisisi data, pemrosesan, tampilan informasi, serta pengiriman notifikasi secara real-time. Pemilihan komponen didasarkan pada kemudahan integrasi, ketersediaan perangkat, serta kesesuaian dengan kebutuhan fasilitas kesehatan berskala kecil.

Tabel 3. Kebutuhan Perangkat Keras

No	Komponen	Spesifikasi	Fungsi
1	NodeMCU ESP8266	Mikrokontroler dengan WiFi 802.11 b/g/n	Mengolah data sensor, menjalankan logika sistem, dan mengirimkan notifikasi melalui internet
2	Sensor Ultrasonik HC-SR04	Jarak ukur 2–450 cm, akurasi ±3 mm	Mendeteksi jarak permukaan sampah untuk menentukan kapasitas wadah
3	LCD 16x2 I2C	Antarmuka I2C (SDA dan SCL)	Menampilkan informasi status sistem dan persentase volume sampah
4	Adaptor Daya	Output 5V DC	Menyediakan sumber daya listrik yang stabil untuk sistem
5	Kabel Jumper	Male–Male dan Male–Female	Menghubungkan antar komponen perangkat keras

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi Sistem

Pada tahap ini, rancangan yang sebelumnya hanya berupa konsep dan desain diwujudkan menjadi bentuk nyata dalam sebuah prototipe yang berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian. Dengan kata lain, tahap ini merupakan langkah untuk memastikan bahwa seluruh komponen yang telah dirancang dapat bekerja secara terpadu dan menghasilkan keluaran sesuai dengan yang diharapkan. Proses implementasi dilakukan dengan menggabungkan antara perangkat keras dan perangkat lunak, di mana keduanya memiliki peran yang saling melengkapi. Perangkat keras berfungsi sebagai media fisik yang menjadi tempat berlangsungnya proses sistem, sementara perangkat lunak berperan sebagai pengendali utama yang mengatur jalannya sistem sesuai dengan logika yang telah diprogram. Tahapan implementasi ini dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu implementasi perangkat keras (hardware) dan implementasi perangkat lunak (software).

Pada tahap implementasi ini juga dilakukan penyesuaian antara rancangan sistem dengan kondisi nyata di lokasi penelitian, khususnya terkait keterbatasan ruang, sumber daya listrik, dan kebutuhan operasional pengguna. Penyesuaian tersebut bertujuan agar prototipe yang dikembangkan tidak hanya berfungsi secara teknis, tetapi juga dapat dioperasikan dengan mudah dan stabil dalam lingkungan fasilitas kesehatan berskala kecil. Selain itu, tahap implementasi menjadi dasar untuk memastikan bahwa integrasi antara sensor, mikrokontroler, dan media komunikasi jaringan dapat berjalan secara real-time sebelum sistem memasuki tahap pengujian fungsional. Dengan demikian, proses implementasi berperan penting dalam menjamin kesiapan sistem secara menyeluruh sebelum dilakukan evaluasi kinerja dan keandalan sistem.

Berdasarkan Instalasi Perangkat Keras di atas, berikut adalah tabel konfigurasi pin yang digunakan dalam perakitan:

Tabel 4. Konfigurasi Pin Rangkaian Sistem

Komponen	Pin	Terhubung ke Pin NodeMCU	Keterangan
Sensor Ultrasonik	VCC	3V3	Sumber daya 3.3V dari NodeMCU
	GND	GND	Ground
	TRIG	D5	Mengirim sinyal ultrasonik
	ECHO	D6	Menerima pantulan sinyal
Lcd 16x2 I2C	VCC	VU	Daya LCD
	GND	GND	Ground
	SDA	D2	Jalur data I2C
	SCL	D1	Jalur clock I2C

3.2 Rancangan Prototipe Alat

Berikut merupakan Prototipe alat yang telah dirakit dan terpasang pada wadah limbah medis, memperlihatkan susunan komponen NodeMCU, sensor ultrasonik HC-SR04, dan LCD 16x2 secara rapi.



Gambar 2. Prototipe Sistem pada Wadah limbah medis

3.2 Hasil Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan setelah seluruh tahap implementasi perangkat keras dan perangkat lunak selesai dilaksanakan, dengan tujuan untuk memastikan bahwa sistem yang dibangun dapat berfungsi secara optimal dan sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan. Metode pengujian yang digunakan dalam penelitian ini adalah Blackbox Testing, yaitu metode pengujian yang menitikberatkan pada kesesuaian keluaran sistem terhadap variasi input yang diberikan tanpa meninjau struktur internal atau logika program yang digunakan.

Pengujian difokuskan pada hasil keluaran sistem, seperti tampilan informasi pada LCD serta pengiriman notifikasi melalui aplikasi Telegram, berdasarkan perubahan tingkat volume sampah yang terdeteksi oleh sensor. Dengan pendekatan ini, pengujian bertujuan untuk mengetahui apakah sistem mampu memberikan respon yang tepat, akurat, dan konsisten sesuai dengan kondisi input yang diuji. Secara umum, pengujian ini difokuskan pada dua aspek utama.

3.3 Pengujian Akurasi Sensor Ultrasonik (HC-SR04)

Validasi akurasi sensor dilakukan untuk memastikan keandalan data yang dihasilkan sistem. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran jarak secara manual menggunakan alat ukur presisi dengan data jarak yang dibaca oleh sensor ultrasonik HC-SR04 pada prototipe. Dengan mempertimbangkan spesifikasi sensor yang memiliki jangkauan 2–450 cm dan akurasi 3 mm, serta parameter kalibrasi berupa tinggi tong 27,5 cm, pengujian dilakukan melalui lima skenario jarak yang merepresentasikan kondisi penggunaan wadah pada situasi nyata. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem bekerja optimal pada rentang kerja efektif sensor dan dirancang untuk menghindari area pembacaan minimum yang berpotensi menimbulkan ketidakstabilan data.

Tabel 5. Hasil Pengujian Akurasi Sensor Ultrasonik

No	Skenario	Jarak Manual (A)	Jarak Bacaan Sensor (B)	Selisih (cm) A-B	Persentase Error (%)
1	Sangat Penuh (100% terisi)	2.0	2.1	0.1	5.0%
2	Batas Notif (90% penuh)	2.75	2.6	0.15	5.45%
3	Setengah Penuh (50%)	13.75	13.8	0.05	0.36%
4	Hampir Kosong	20.0	20.1	0.1	0.5%
5	Kosong (0% terisi)	27.5	27.3	0.2	0.73%
Rata-rata				0.12 cm	2.41%

Hasil pengujian pada Tabel 5 menunjukkan bahwa sensor ultrasonik HC-SR04 mampu memberikan pembacaan yang presisi. Persentase error rata-rata yang diperoleh sebesar 2,41% dengan selisih pengukuran rata-rata 0,12 cm, nilai ini masih berada di bawah batas toleransi akurasi sensor sebesar 3 mm (0,3 cm). Persentase error tertinggi sebesar 5,45% terjadi pada jarak terdekat, yang masih dapat ditoleransi karena berada pada batas minimum kemampuan sensor. Pada jarak yang lebih jauh dan berada dalam rentang kerja optimal, persentase error cenderung lebih kecil, yaitu di bawah 1%. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa sensor HC-SR04 memiliki tingkat akurasi yang baik dan layak digunakan dalam sistem monitoring yang dikembangkan.

3.4 Pengujian Fungsionalitas Sistem (Black-Box Testing)

Setelah akurasi sensor dipastikan, pengujian dilanjutkan untuk menilai kinerja logika sistem secara menyeluruh. Pengujian ini bertujuan memastikan respons sistem melalui tampilan LCD dan notifikasi Telegram sesuai dengan perubahan volume sampah pada kondisi nyata. Metode Blackbox Testing digunakan dengan menerapkan enam skenario pengujian untuk mengevaluasi tiga komponen utama algoritma, yaitu penetapan ambang batas penuh sebesar 90% sebagai indikator kondisi kritis, mekanisme stabilisasi berupa jeda validasi selama lima detik untuk mengurangi kesalahpahaman akibat gangguan sesaat, serta mekanisme reset yang mencegah pengiriman notifikasi berulang dan hanya mengaktifkan kembali peringatan ketika volume sampah turun di bawah 20%, termasuk pada kondisi kosong.

Penetapan ambang batas penuh sebesar 90% yang setara dengan jarak $\pm 2,75$ cm dari sensor ultrasonik HC-SR04 juga mempertimbangkan batasan fisik sensor. Berdasarkan spesifikasi teknis, sensor HC-SR04 memiliki jarak efektif minimum sekitar 2 cm, di mana pembacaan jarak di bawah batas tersebut berpotensi menjadi tidak stabil atau mengalami dead zone. Oleh karena itu, ambang batas 90% dirancang sebagai batas aman (safety threshold) agar sistem dapat memberikan peringatan dini sebelum tumpukan sampah medis menyentuh sensor secara langsung. Pendekatan ini tidak hanya menjaga keandalan pembacaan sensor, tetapi juga mendorong petugas untuk segera melakukan pengosongan wadah limbah sebelum mencapai kondisi penuh secara fisik, sehingga mendukung keselamatan operasional dan keandalan sistem monitoring.

Tabel 6. Hasil Pengujian Black-Box Testing

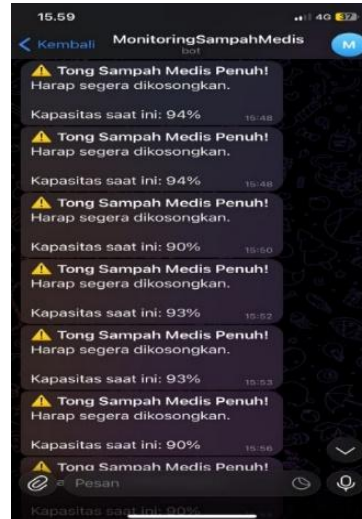
No.	Skenario Uji	Kondisi	Output LCD (Diharapkan)	Output Telegram (Diharapkan)	Hasil
1.	Kondisi Normal	Volume terisi 50% (di bawah batas 90%)	Menampilkan "Kapasitas: 50%"	Tidak Ada Notifikasi	Berhasil
2.	Kritis (Lonjakan)	Volume terdeteksi > 90% (misal 92%), namun < 5 detik.	Menampilkan "Kapasitas: 92%"	Tidak Ada Notifikasi (Filter stabilitas aktif)	Berhasil
3.	Kritis (Stabil)	Volume terdeteksi > 90% dan bertahan stabil > 5 detik.	Menampilkan "Kapasitas: 92%"	Notifikasi Terkirim ke Bidan & Petugas PT. Trans	Berhasil
4.	Uji Anti-Spam	Volume masih bertahan di 92% (belum dikosongkan) setelah notifikasi pertama.	Menampilkan "Kapasitas: 92%"	Tidak Ada Notifikasi Ulang (Sistem terkunci)	Berhasil
5.	Reset Sistem	Volume dikosongkan total hingga 0%.	Menampilkan "Kapasitas: 0%"	Status sistem di-reset (Siap kirim notifikasi lagi)	Berhasil
6.	Siklus Kedua	Volume kembali diisi hingga > 90% dan stabil > 5 detik.	Menampilkan "Kapasitas: 90%"	Notifikasi Terkirim Lagi	Berhasil

Analisis hasil uji fungsionalitas menunjukkan bahwa algoritma logika program bekerja secara optimal sesuai dengan rancangan sistem. Fitur stabilitas terbukti efektif dalam memfilter anomali data akibat guncangan fisik sehingga sistem tidak menghasilkan peringatan dini yang keliru. Sistem juga mampu mengirimkan notifikasi secara tepat ketika kondisi kritis terpenuhi sekaligus menahan pengiriman pesan berulang yang berpotensi mengganggu pengguna. Selain itu, mekanisme reset otomatis berjalan dengan baik, ditunjukkan oleh kemampuan sistem dalam mendeteksi pengosongan wadah secara real-time dan kembali siap memantau siklus pengisian berikutnya tanpa memerlukan intervensi manual.

Selain menunjukkan kinerja algoritma yang stabil, hasil pengujian ini mengindikasikan bahwa sistem memiliki tingkat keandalan yang baik untuk digunakan dalam kondisi operasional nyata pada fasilitas kesehatan berskala kecil. Integrasi antara sensor ultrasonik, mikrokontroler, dan mekanisme notifikasi memungkinkan pemantauan dilakukan secara berkelanjutan tanpa meningkatkan beban kerja petugas. Dengan berkurangnya kebutuhan pengecekan manual, potensi kontak langsung dengan limbah medis berisiko dapat diminimalkan, sehingga sistem ini mendukung penerapan prinsip keselamatan dan kesehatan kerja (K3). Secara keseluruhan, performa sistem dalam merespons perubahan volume limbah secara konsisten menunjukkan bahwa rancangan logika yang diterapkan mampu memenuhi kebutuhan pemantauan limbah medis yang aman, efisien, dan responsif.



Gambar 3. Tampilan LCD Saat Kondisi Penuh



Gambar 4. Notifikasi Telegram Bidan



Gambar 5. Notifikasi Telegram Petugas PT. Trans Anugrah Nusantara

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, sistem monitoring volume sampah medis berbasis Internet of Things (IoT) berhasil dirancang dan diimplementasikan sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem ini memanfaatkan NodeMCU ESP8266 sebagai pengendali utama, sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai pendeteksi volume, serta Telegram Bot API sebagai media notifikasi. Integrasi antar komponen tersebut memungkinkan proses pemantauan kapasitas wadah limbah medis dilakukan secara otomatis dan real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi perubahan volume limbah medis dengan tingkat akurasi rata-rata sebesar 97,59% atau persentase error sebesar 2,41%, dengan selisih pengukuran rata-rata sebesar 0,12 cm. Selain itu, sistem dapat mengirimkan informasi kondisi wadah secara tepat waktu melalui notifikasi Telegram. Mekanisme logika pengendalian yang diterapkan juga terbukti efektif dalam mencegah terjadinya notifikasi berulang serta meminimalkan kesalahan pembacaan akibat gangguan sesaat, sehingga sistem dapat beroperasi secara stabil dalam pemantauan limbah medis benda tajam. Penerapan metode Research and Development (R&D) dengan pendekatan eksperimental memberikan kerangka kerja yang sistematis dalam pengembangan sistem. Tahapan penelitian yang meliputi identifikasi masalah, pengumpulan data, analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, hingga pengujian sistem memastikan bahwa prototipe yang dihasilkan sesuai dengan kondisi dan kebutuhan di lapangan, khususnya pada fasilitas kesehatan berskala kecil seperti Praktik Mandiri Bidan. Pengujian sistem menggunakan metode Blackbox Testing menunjukkan bahwa seluruh fungsi utama sistem berjalan sesuai dengan yang dirancang, meliputi pemantauan volume limbah secara real-time, konversi data jarak menjadi persentase volume,



serta pengiriman notifikasi ketika kondisi kritis tercapai. Hal ini membuktikan bahwa integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak telah bekerja secara sinergis dan andal untuk mendukung pemantauan berkelanjutan. Secara keseluruhan, sistem monitoring volume sampah medis berbasis IoT yang dikembangkan mampu mendukung pengelolaan limbah medis yang lebih terkontrol dan terpantau. Penerapan pemantauan otomatis dan notifikasi real-time membantu mencegah terjadinya penumpukan limbah medis, meningkatkan keselamatan tenaga kesehatan, serta mengurangi potensi risiko pencemaran lingkungan di fasilitas kesehatan berskala kecil.

REFERENCES

- [1] Y. Lianawati, C. Mahendra, G. M. Sugianto, S. J. Mendrofa, A. L. Setiani, and B. Y. Baraga, "Sistem Monitoring dan Controlling 'Smart waste' berbasis Internet of Things menggunakan modul ESP 32," *Journal of Telecommunication Electronics and Control Engineering (JTECE)*, vol. 6, no. 2, pp. 163–175, Jul. 2024, doi: 10.20895/jtece.v6i2.1400.
- [2] S. Purwaningsih, J. Pebralia, and R. Rustan, "PENGEMBANGAN TEMPAT SAMPAH PINTAR MENGGUNAKAN SENSOR ULTRASONIK BERBASIS ARDUINO UNO UNTUK LIMBAH MASKER," *Jurnal Kumparan Fisika*, vol. 5, no. 1, pp. 1–6, Apr. 2022, doi: 10.33369/jkf.5.1.1-6.
- [3] M. A. Fikri, D. Hartama, I. O. Kirana, I. Gunawan, and Z. M. Nasution, "Kotak Sampah Pintar Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno pada Kantor Sekretariat DPRD Kota Pematangsiantar," *Jurnal Ilmu Komputer dan Informatika*, vol. 2, no. 2, pp. 67–76, Mar. 2022, doi: 10.54082/jiki.24.
- [4] Samrius Upa, Fikran Fikran, Masrin Tibian, Yulfrani Masak Paembonan, and Melda Lospa, "Sistem Monitoring Tempat Sampah Berbasis Wireles Sensor Network pada Kampus Universitas Kristen Indonesia Toraja," *Jurnal Teknik Informatika dan Teknologi Informasi*, vol. 5, no. 1, pp. 206–222, May 2025, doi: 10.55606/jutiti.v5i1.5180.
- [5] R. Agustino, M. I. Saputro, H. Gustiawan, M. A. Sakaria, and F. Widyahastuti, "Inovasi Pengelolaan Sampah: Tempat Sampah Pintar Berbasis IoT di Museum MH.Thamrin Jakarta," *Jurnal Teknologi Informatika dan Komputer*, vol. 10, no. 1, pp. 309–325, Mar. 2024, doi: 10.37012/jtik.v10i1.2129.
- [6] Viva Arifin et al., "Implementation of IoT Technology on MySmartTrash Waste Bank Application," *JURNAL TEKNIK INFORMATIKA*, vol. 18, no. 2, pp. 350–360, Oct. 2025, doi: 10.15408/jti.v18i2.46673.
- [7] Safira Fegi Nisrina, Lawrence Adi Supriyono, and Basuki Rahmat, "SmartBin Medis Berbasis AI dan Edge Computing untuk Manajemen Limbah Klinis yang Higienis," *Jurnal Informatika Dan Tekonologi Komputer (JITEK)*, vol. 5, no. 2, pp. 82–90, Jun. 2025, doi: 10.55606/jitek.v5i2.6385.
- [8] Y. B. Widodo, T. Sutabri, and L. Faturahman, "Tempat Sampah Pintar Dengan Notifikasi Berbasis IOT," *Jurnal Teknologi Informatika dan Komputer*, vol. 5, no. 2, pp. 50–57, Oct. 2019, doi: 10.37012/jtik.v5i2.175.
- [9] Aurelya Kirani Afkarien, I Gede Puja Astawa, and Faridatun Nadziroh, "Development of IoT-Based Smart Waste Management Systems for Organic and Non-Organic Waste in Smart Cities," *The Indonesian Journal of Computer Science*, vol. 14, no. 2, Apr. 2025, doi: 10.33022/ijcs.v14i2.4606.
- [10] P. Hendradi and A. Wahyono, "Pemodelan Sistem Informasi Berbasis IoT untuk Optimasi Pengelolaan Sampah Perkotaan (Studi Kasus: Pemantauan Level Tempat Sampah Pintar)," *JURNAL TECHLINK*, vol. 9, no. 1, pp. 16–30, Aug. 2025, doi: 10.59134/jtnk.v9i1.690.
- [11] S. Akhmetzhanova et al., "IoT Tracking and Dispatching System of Medical Waste Disposal," *Applied Sciences*, vol. 15, no. 22, p. 11982, Nov. 2025, doi: 10.3390/app152211982.
- [12] L. M. Pires, J. Figueiredo, R. Martins, and J. Martins, "IoT-Enabled Real-Time Monitoring of Urban Garbage Levels Using Time-of-Flight Sensing Technology," *Sensors*, vol. 25, no. 7, p. 2152, Mar. 2025, doi: 10.3390/s25072152.
- [13] A. Maulida, Choirunnisa Safa Fayzalmi, Faiz Ata Choirul Anaam, Dikhi Ardiansyah, Muhamad Ariel Gunawan, and Nur Ridwan, "Design of IoT-Based Smart Trash Bin Monitoring Using ESP32 and Firebase," *Jurnal Komputer Teknologi Informasi Sistem Informasi (JUKTISI)*, vol. 4, no. 2, pp. 420–428, Jul. 2025, doi: 10.62712/juktisi.v4i2.420.
- [14] P. Hendradi and A. Wahyono, "Pemodelan Sistem Informasi Berbasis IoT untuk Optimasi Pengelolaan Sampah Perkotaan (Studi Kasus: Pemantauan Level Tempat Sampah Pintar)," *JURNAL TECHLINK*, vol. 9, no. 1, pp. 16–30, Aug. 2025, doi: 10.59134/jtnk.v9i1.690.
- [15] H. Gusdevi, A. Hadhiwibowo, N. Agustina, A. Fatah, and M. Naseer, "TIMBANGAN BERBASIS IOT UNTUK PEMANTAUAN DAN PENGELOLAAN SAMPAH ORGANIK PADA SMART WASTE MANAGEMENT DI DESA MANYINGSAL," *Naratif: Jurnal Nasional Riset, Aplikasi dan Teknik Informatika*, vol. 5, no. 2, pp. 162–170, Dec. 2023, doi: 10.53580/naratif.v5i2.270.
- [16] R. S. A. Rian, F. Firmansyah, and T. A. Taufik, "Rancang Bangun Tempat Sampah Pintar Berbasis Internet of Things dengan Komunikasi MQTT," *IMTechno: Journal of Industrial Management and Technology*, vol. 6, no. 2, pp. 70–77, Jul. 2025, doi: 10.31294/imtechno.v6i2.9088.
- [17] M. W. P. Prayoga, "SISTEM MONITORING DAN PENGELOLAAN SAMPAH BERBASIS IOT DAN CLOUD MENGGUNAKAN GOOGLE FIREBASE PADA TEMPAT SAMPAH PINTAR," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 3, Jul. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i3.7175.
- [18] R. Pitriyani, G. Triyono, and S. Y. Nugroho, "PENGEMBANGAN MODEL SISTEM E-COMMERCE BERBASIS WEB DENGAN CONTENT MANAGEMENT SYSTEM (CMS)," *IDEALIS: InDonEsiA journal Information System*, vol. 4, no. 1, pp. 37–46, Jan. 2021, doi: 10.36080/idealisis.v4i1.2818.
- [19] A. A. Arsadi and E. Haryatmi, "Pemanfaatan Aplikasi Telegram dan Internet of Things pada Pemantauan Tempat Sampah," vol. 5, no. 2, 2021, doi: 10.30743/infotekjar.v5i2.3639.
- [20] M. Mahmud and M. Hasnawi, "Buletin Sistem Informasi dan Teknologi Islam Implementasi Bot Telegram Untuk Monitoring Jaringan Dengan Pendekatan Security Policy Development Life Cycle Pada Kementerian Kelautan dan Perikanan Untia INFORMASI ARTIKEL ABSTRAK," vol. 3, no. 2, pp. 127–133, 2022.
- [21] D. Wintana, D. Pribadi, and M. Y. Nurhadi, "Analisis Perbandingan Efektifitas White-Box Testing dan Black-Box Testing," 2022. [Online]. Available: <http://jurnal.bsi.ac.id/index.php/larik>



- [22] J. Keselamatan, K. Kerja dan Lindungan Lingkungan, B. Sutedi, W. Mulya, I. Pratama Sari, and P. Studi Keselamatan dan Kesehatan Kerja, “PENGELOLAAN LIMBAH MEDIS PADAT DI RUMAH SAKIT RESTU IBU KOTA BALIKPAPAN.” [Online]. Available: <https://jurnal.d4k3.uniba-bpn.ac.id/index.php/identifikasi175>
- [23] Y. Andi Rozzi, J. Fredericka, N. Qurniati, H. Raden Wijaya, and U. Dehasen Bengkulu, “Sosialisasi Sistem Pemantauan Tempat Sampah Pintar Secara Real-Time Berbasis IoT di SMAN 1 Kepahiang,” 2024.
- [24] A. Setiawan, Y. Pernando, and I. Verdian, “Smart Trash Can Berbasis IOT Dan Mikrokontroler: Solusi Cerdas Untuk Pengelolaan Sampah,” *Journal of Digital Ecosystem for Natural Sustainability*, vol. 5, no. 1, pp. 22–28, Jul. 2025, doi: 10.63643/jodens.v5i1.295.
- [25] R. Septiani, G. Indah Lestari, and J. Kebidanan Poltekkes Kemenkes Tanjungkarang, “HUBUNGAN KARAKTERISTIK BIDAN DENGAN PRAKTIK KEBIDANAN KOMPLEMENTER DI PRAKTEK MANDIRI BIDAN,” 2019.
- [26] H. Mulyo and G. Mohammad, “INTEGRASI SISTEM INFORMASI AKADEMIK MAHASISWA DENGAN BOT TELEGRAM SEBAGAI MESIN PENJAWAB OTOMATIS INTEGRATION OF STUDENT ACADEMIC INFORMATION SYSTEMS WITH TELEGRAM BOT AS AN AUTOMATIC ANSWERING MACHINE,” vol. 13, no. 1, pp. 2548–4168, 2022, doi: 10.34001/jdpt.v12i2.