

E-ISSN : 2686-3359

Sumbawa, 03 Mei 2026

Letter of Acceptance

No : 99/LoA/JINTEKS/V/2026

Attachment : 1 Page

Dewan penyunting Jurnal JINTEKS telah menerima artikel,

Nama : Cut Putroe Arikha, Aulia Syarif Aziz

Judul : **RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING VOLUME SAMPAH
BERBASIS INTERNET OF THINGS MENGGUNAKAN ESP8266
DAN TELEGRAM**

Instansi : Universitas Islam Negeri Ar-Raniry

Program Studi : Pendidikan Teknologi

Menyatakan bahwa artikel tersebut telah diproses sesuai Prosedur Penulisan **Jurnal Informatika Teknologi Dan Sains (JINTEKS)** Jurusan Informatika Universitas Teknologi Sumbawa, dan akan diterbitkan pada **Volume 8, Nomor 2, Edisi 28, Mei 2026**. Demikian surat keterangan ini dibuat dan harap dipergunakan dengan sebaik-baiknya.



Editor In Chief


Eri Sasmita Susanto, M.Kom.



Rancang Bangun Sistem Monitoring Volume Sampah Berbasis Internet of Things Menggunakan ESP8266 dan Telegram

Cut Putroe Arikha^{1*}, Aulia Syarif Aziz²

^{1,2}Program Studi Pendidikan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry
email: cutputroearikha15@gmail.com^{1*}

Abstrak: Pengelolaan sampah di lingkungan sekolah masih dilakukan secara manual, mengakibatkan keterlambatan pengangkutan dan penumpukan sampah yang berlebihan. Penelitian ini bertujuan merancang, mengimplementasikan, dan menguji kinerja sistem monitoring tempat sampah otomatis berbasis Internet of Things (IoT) di SMA Negeri 1 Banda Aceh. Sistem menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 sebagai pengendali utama, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi ketinggian sampah secara real-time, platform Blynk sebagai dashboard monitoring, serta Bot Telegram sebagai media notifikasi otomatis kepada petugas kebersihan. Metode penelitian yang diterapkan adalah Research and Development (R&D). Tong sampah yang digunakan berukuran 70 cm dengan batas penuh ditetapkan pada 60 cm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor HC-SR04 mampu membaca ketinggian sampah dengan rata-rata akurasi 99% dan rata-rata error 0,33 cm dari 5 kali pengujian. Notifikasi Telegram berhasil terkirim pada pengujian 99% pengujian dengan rata-rata waktu respons 2 detik. Dashboard Blynk menampilkan data real-time secara stabil dengan penyimpanan nilai maksimal 0,2 cm. Sistem ini terbukti efektif sebagai solusi pemanfaatan sampah berbasis IoT yang hemat biaya dan mudah diimplementasikan di lingkungan pendidikan

Kata Kunci : Blynk; ESP8266; Internet of Things; Sensor Ultrasonik; Telegram Bot

PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah merupakan isu strategis yang berdampak langsung pada kualitas lingkungan hidup dengan kesehatan masyarakat. Pada skala global, laporan Global Waste Management Outlook 2024 yang diterbitkan oleh UNEP menyebutkan bahwa banyak negara berkembang menghadapi kendala serius dalam pemantauan timbulan sampah secara real-time, sehingga tindakan pengangkutan sampah menjadi kurang efisien dan sering mengakibatkan penumpukan berlebihan di berbagai titik [1]. Di Indonesia, data dari sistem informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) tahun 2024 mencatat bahwa total sampah yang dihasilkan secara nasional mencapai puluhan juta ton per tahun, dengan sekitar 35% diantaranya belum dikelola secara efektif [2]. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem pengelolaan sampah masih sangat bergantung pada metode konvensional yang bersifat manual.

Di tingkat daerah, Kota Banda Aceh menghadapi tantangan yang serupa. Berdasarkan laporan Antara News, meski Banda Aceh dikenal sebagai kota yang ramah lingkungan, pengelolaan sampah masih menghadapi permasalahan terkait rendahnya partisipasi masyarakat dan keterbatasan kapasitas sistem yang ada [3]. Penelitian Fajri, Ridha, dan Syahrial juga menggarisbawahi bahwa pengelolaan sampah di Banda Aceh memerlukan inovasi kolektif dan dukungan teknologi untuk mendukung pengawasan yang lebih sistematis dan efisien [4]. Permasalahan ini semakin terasa di lingkungan sekolah, di mana aktivitas siswa yang tinggi menghasilkan volume sampah yang signifikan setiap harinya, sementara pemantauan kondisi tong sampah masih dilakukan secara manual oleh petugas kebersihan.

Kehadiran teknologi Internet of Things (IoT) membuka peluang untuk mengatasi permasalahan tersebut secara sistematis. IoT memungkinkan pemantauan tingkat sampah secara real-time dengan memanfaatkan sensor, mikrokontroler, dan jaringan komunikasi nirkabel untuk menghasilkan data yang akurat dan dapat diakses dari mana saja. Beberapa penelitian telah membuktikan efektivitas pendekatan ini. Ma'arif membangun sistem pemantauan tempat sampah berbasis NodeMCU ESP8266 dengan notifikasi melalui Telegram yang terbukti mampu memberikan informasi kondisi tong sampah secara efisien kepada pengguna [5]. Ananta dan Budi mengimplementasikan sistem pengelolaan sampah terintegrasi pada gedung bertingkat berbasis IoT dengan hasil yang memuaskan [6]. Selain itu, Ridwan dkk. membuktikan bahwa sistem monitoring berbasis IoT yang dikombinasikan dengan platform Blynk mampu menghasilkan penerimaan pengguna yang sangat positif dalam konteks komunitas, sekaligus mendukung literasi digital masyarakat [7]. Sutanto dalam kajiannya juga menegaskan potensi besar IoT dalam bidang lingkungan, khususnya untuk memantau dan mengelola sumber daya secara otomatis [8].

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada lingkungan perkotaan, gedung bertingkat, atau kawasan perumahan. Penelitian yang secara spesifik menargetkan lingkungan sekolah menengah di Banda Aceh masih sangat terbatas. Kondisi ini menciptakan celah penelitian yang perlu diisi, mengingat sekolah adalah salah satu institusi dengan kegiatan yang padat dan pola konsumsi yang menghasilkan sampah dalam jumlah cukup



besar setiap hari. Selain itu, sekolah merupakan tempat yang strategis untuk memperkenalkan teknologi IoT kepada generasi muda sebagai bagian dari pendidikan berbasis inovasi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring tempat sampah pintar otomatis berbasis ESP8266 dengan notifikasi Telegram di SMA Negeri 1 Banda Aceh. Sistem ini memanfaatkan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi ketinggian sampah, platform Blynk sebagai dashboard monitoring real-time, dan Bot Telegram sebagai media notifikasi otomatis kepada petugas kebersihan. Tujuan penelitian ini adalah merancang sistem monitoring tempat sampah berbasis IoT di SAM Negeri 1 Banda Aceh dan menguji kinerja sistem dari segi akurasi sensor, kecepatan notifikasi, dan tampilan data real-time.

TINJAUAN PUSTAKA

Internet of Things (IoT) adalah paradigma teknologi dimana objek fisik dilengkapi dengan sensor, perangkat lunak, dan konektivitas jaringan sehingga dapat mengumpulkan dan bertukar data secara otomatis melalui internet. Ekosistem IoT mencakup tiga komponen utama, yaitu kecerdasan buatan (AI) untuk memproses data dan membuat keputusan, sensor sebagai elemen penginderaan yang mengubah objek pasif menjadi entitas aktif, serta konektivitas sebagai infrastruktur yang menghubungkan seluruh perangkat dalam jaringan [9]. Dalam bidang lingkungan, IoT berperan penting untuk memantau kondisi secara real-time. termasuk pengelolaan sampah, pemantauan kualitas udara dan efisiensi energi.

Penerapan IoT dalam sistem pengelolaan sampah telah banyak diteliti dan terbukti meningkatkan efisiensi operasional. Sistem berbasis IoT dapat secara otomatis mendeteksi tingkat pengisian tong sampah, mengirimkan data ke server pusat, dan menghasilkan pemberitahuan bagi petugas kebersihan tanpa intervensi manual. Hal ini memungkinkan pengoptimalan jadwal pengangkutan sampah berdasarkan data aktual, bukan jadwal yang bersifat tetap, sehingga menghemat sumber daya dan mencegah penumpukan [10].

NodeMCU ESP8266 adalah modul mikrokontroler yang dikembangkan oleh Espressif systems dengan chip ESP8266 sebagai inti pemrosesannya. Keunggulan utama NodeMCU ESP8266 adalah integrasi modul WiFi yang memungkinkan koneksi langsung ke internet tanpa memerlukan perangkat tambahan. Kompatibilitas NodeMCU ESP8266 dengan lingkungan pengembangan Arduino IDE menjadikannya pilihan populer di kalangan penelitian dan pengembangan IoT. Dalam sistem tempat sampah cerdas, NodeMCU berperan sebagai pengendali utama yang menerima data dari sensor ultrasonik, memrosesnya, lalu mengirimkan hasilnya ke platform cloud Blynk dan Bot Telegram secara bersamaan.

Sensor HC-SR04 adalah sensor jarak ultrasonik yang bekerja berdasarkan prinsip pantulan gelombang suara dengan frekuensi di atas 20 kHz. Sensor ini memiliki dua elemen utama, yaitu transmitter yang memancarkan gelombang ultrasonik dan receiver dengan menangkap pantulannya [11].

Sensor HC-SR04 mampu mengukur jarak dalam rentang 2 hingga 400 cm dengan akurasi 3 mm. Kelebihan sensor ini dalam aplikasi tempat sampah pintar antara lain, tidak terpengaruh oleh warna atau transparansi objek, tidak memerlukan kontak langsung dengan sampah sehingga lebih higienis, harga yang terjangkau, dan kemudahan interaksi dengan mikrokontroler Arduino maupun ESP8266. Penggunaan teknik rata-rata dari beberapa kali pembacaan terbukti efektif dalam mereduksi noise yang disebabkan oleh permukaan sampah yang tidak rata [12].

Telegram Bot adalah fitur otomatis dalam platform Telegram yang berinteraksi dengan pengguna melalui Application Programming Interface (API) resmi. Bot ini berfungsi sebagai jembatan komunikasi antara sistem IoT dan pengguna akhir, memungkinkan pengiriman pesan, gambar, atau notifikasi secara otomatis tanpa memerlukan intervensi manusia [13]. Dalam konteks sistem tempat sampah pintar, Telegram Bot digunakan untuk mengirimkan peringatan kepada petugas kebersihan saat sensor mendeteksi kondisi tong penuh.

Beberapa keunggulan Telegram bot sebagai media notifikasi IoT adalah keamanan pesan melalui enkripsi end-to-end, dukungan API yang komprehensif dan terdokumentasi dengan baik, cukup pengguna yang luas di berbagai platform (Android, iOS, desktop), serta kemampuan mengirimkan pesan ke individu maupun grup secara bersamaan. Penelitian Osman dkk, menunjukkan bahwa sistem notifikasi berbasis Telegram Bot terbukti handal dalam skenario monitoring IoT jarak jauh dengan tingkat keberhasilan pengiriman yang tinggi [14].

Platform Blynk IoT cloud yang menyediakan antarmuka pembuatan dashboard monitoring berbasis smartphone secara visual dan intuitif. Platform ini mendukung berbagai widget seperti gauge untuk tampilan nilai real-time, grafik historis untuk visualisasi tren data, dan indikator LED untuk status sistem. Blynk berkomunikasi dengan perangkat IoT melalui virtual pin yang dapat diprogram secara fleksibel menggunakan fungsi Blynk. `VirtualWrite()` pada kode Arduino.

Keunggulan Blynk dalam penelitian ini adalah kemampuannya untuk menyimpan data historis tinggi sampah yang dapat diakses kapan saja oleh pengguna, sehingga memungkinkan analisis tren pengisian tong sampah dari waktu ke waktu. Hal ini melengkapi fungsi notifikasi telegram yang bersifat real-time dengan kemampuan pelaporan jangka panjang yang berguna untuk perencanaan pengelolaan sampah di sekolah.



METODE

Penelitian ini menggunakan metode Research and development (R&D) yang berfokus pada perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem secara empiris. Pendekatan R&D dipilih karena penelitian ini tidak hanya mengkaji fenomena secara teoritis, tetapi menghasilkan produk nyata berupa prototipe alat yang kemudian diuji kinerjanya dalam kondisi aktual. Menurut Sugiyono (2017), metode R&D bertujuan menghasilkan produk tertentu dan menguji efektivitasnya [15]. Penelitian dilaksanakan di SMA Negeri 1 Banda Aceh yang dipilih karena memiliki tingkat aktivitas tinggi dan pengelolaan sampah yang masih manual.

Perancangan perangkat keras sistem terdiri dari NodeMCU ESP8266 sebagai mikrokontroler utama yang terhubung ke sensor ultrasonik HC-SR04. Sensor dipasang secara vertikal di bagian dalam penutup tong sampah berukuran 70 cm, menghadap ke bawah untuk mengukur jarak antara sensor dan permukaan sampah. Offset pemasangan sensor sebesar 3 cm dari tepi atas tong diperhitungkan dalam proses untuk mendapatkan nilai tinggi sampah yang akurat. Tabel 1 merangkum spesifikasi komponen utama yang digunakan.

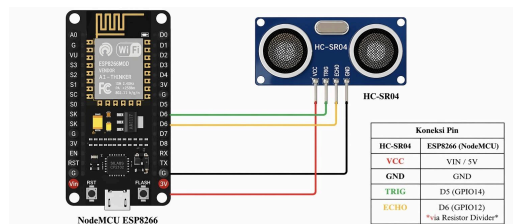
Tabel 1. Spesifikasi Komponen Sistem

Komponen	Spesifikasi	Fungsi
NodeMCU ESP8266	80 MHz dan WiFi	Mikrokontroler utama + WiFi
Sensor HC-SR04	Jangkauan 2-400 cm	Mengukur jarak/tinggi sampah
Tong sampah	Tinggi 70 cm	Wadah uji sistem
Kabel Jumper	Male-to-male. 20 cm	Koneksi antar komponen
Smartphone	Android / iOS, Telegram app	Penerima notifikasi
Blynk IoT	Cloud dashboard	Monitoring real-time

Koneksi pin antara sensor HC-SR04 dan NodeMCU ESP8266 mengikuti yang disajikan pada tabel 2. Pin TRIG dihubungkan ke D5 dan pin ECHO ke D6 sesuai dengan definisi pada kode program.

Tabel 2. Konfigurasi Koneksi Pin

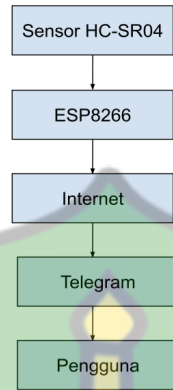
Pin HC-SR04	Pin ESP8266	Tegangan	Keterangan
VCC	3.3V / Vin	5V	Sumber daya sensor
GND	GND	0V	Ground
TRIG	D5	3.3V	Sinyal pemicu
ECHO	D6	3.3V	Sinyal pantulan



Gambar 1. rangkaian Wiring ESP8266 dan sensor HC-SR04



Perancangan Perangkat Lunak diprogram menggunakan Arduino IDE dengan library ESP8266 WiFi untuk koneksi WiFi, UniversalTelegramBot dan ArduinoJson untuk komunikasi dengan Bot Telegram, serta BlynkSimpleESP8266 untuk koneksi ke platform Blynk. Alur kerja sistem secara keseluruhan digambarkan dalam diagram blok.

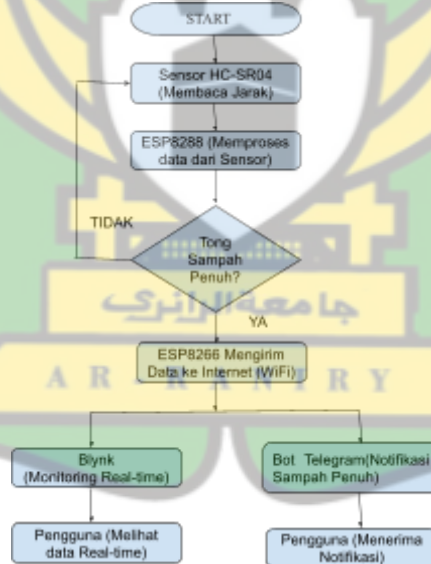


Gambar 2. Diagram Blok Sistem IoT Monitoring Sampah

Logika pengukuran menggunakan rata-rata dari tiga kali pembacaan sensor setiap siklus untuk meminimalkan noise. Konversi dari nilai jarak sensor ke tinggi sampah menggunakan persamaan (1):

$$TS = TT - JS - OFS \quad (1)$$

TS adalah tinggi sampah (cm), TT adalah tinggi tong (70 cm), JS adalah jarak yang dibaca sensor (cm), dan OFS adalah offset pemasangan sensor (3 cm). Alur kerja program secara lengkap disajikan dalam flowchart pada gambar 3.



Gambar 3. Flowchart Alur Kerja Program

Data tinggi sampah dikirim ke Virtual pin V0 Blynk setiap 2 detik untuk tampilan gauge real-time, dan ke v1 setiap 20 detik untuk grafik historis. Sistem mengirim notifikasi Telegram saat tinggi sampah 60 cm menggunakan variabel boolean SudahPenuh sebagai mekanisme anti-spam untuk mencegah pengiriman notifikasi berulang. Notifikasi bery hanya dikirimkan kembali setelah kondisi sampah turun dibawah batas penuh.

Prosedur Pengujian dilakukan dalam tiga tahap yang saling berkaitan. Pertama, pengujian akurasi sensor dengan membandingkan pembacaan sensor terhadap pengukuran manual menggunakan penggaris sebagai nilai referensi, dilakukan sebanyak 10 kali dengan variasi ketinggian sampah. Kedua, pengujian waktu respons notifikasi Telegram sebanyak 5 kali saat kondisi penuh terdeteksi. Ketiga, pengujian konsistensi tampilan dashboard Blynk sebanyak 5 kali dengan mencatat perbedaan nilai antara sensor aktual dan nilai yang tampil di aplikasi. Analisis akurasi menggunakan persamaan (2).



$$\text{Akurasi} = 100\% - ((\text{selisih sensor dan manual} \div \text{nilai manual}) \times 100\%) \quad (2)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perancangan dan Implementasi Sistem

Hasil perancangan menghasilkan prototipe sistem monitoring tempat sampah pintar yang terdiri dari unit sensor yang dipasang pada penutup tong dan unit kontrol berupa NodeMCU ESP8266. Tampilan fisik prototipe yang telah selesai dirakit disajikan pada gambar 4. Sistem berhasil menyala, terhubung ke jaringan WiFi, dan mengirim pesan konfirmasi "Sistem Tong Sampah ONLINE" ke Telegram pada saat pertama kali dinyalakan menandakan bahwa seluruh koneksi berjalan dengan baik.



Gambar 4. Prototipe Sistem Monitoring Tempat Sampah Pintar

Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04

Pengujian sensor dilakukan sebanyak 5 kali dengan mengisi tong sampah secara bertahap pada kapasitas 40%, 60%, 80%, 90% dan 100%. Setiap kondisi diukur secara manual sebagai nilai perbandingan. Hasil pembacaan sensor kemudian dibandingkan dengan kapasitas manual untuk mengetahui selisih pengukuran. Hasil lengkap pengujian disajikan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04

No.	Kapasitas Manual (%)	Kapasitas Sensor (%)	Selisih (%)	Status	Notif telegram
1.	40%	39,8%	0,2%	Kosong	-
2.	60%	59,5%	0,5%	Kosong	-
3.	80%	79,2%	0,8%	Hampir Penuh	-
4.	90%	89,6%	0,4%	Penuh	Terkirim
5.	100%	99,3%	0,7%	Penuh	Terkirim

Berdasarkan data pada tabel 3, sensor ultrasonik HC-SR04 berhasil mendeteksi kapasitas tong sampah dari kondisi 40% sampai penuh 100% dengan selisih antara pengukuran manual dan pembacaan sensor berkisaran antara 0,2% hingga 0,8%. Hal ini menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat ketelitian yang baik dalam membaca tinggi sampah di dalam tong.

Status sistem berubah secara otomatis sesuai kondisi kapasitas tong sampah. Status kosong ditampilkan saat kapasitas berapa di bawah 70%, status hampir penuh pada rentang 70%-85%, sedangkan status penuh muncul saat kapasitas mencapai atau melebihi 86%. Pada kondisi 90% dan 100%, sistem berhasil mengirimkan notifikasi melalui telegram sebagai peringatan bahwa tong sampah telah penuh dan perlu segera dikosongkan.

Pengujian Notifikasi Telegram

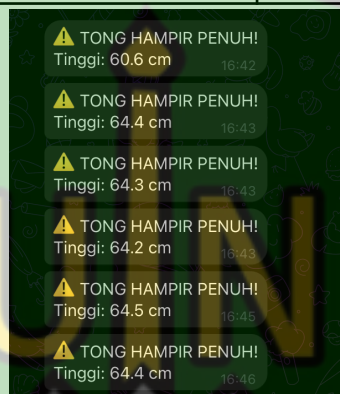
Pengujian notifikasi Telegram dilakukan sebanyak 5 kali dengan memastikan kondisi tong sampah benar-benar mencapai batas penuh (≥ 60 cm) sebelum setiap pengujian dimulai. Waktu respons dihitung mulai dari saat sensor mendekati kondisi penuh hingga pesan diterima di aplikasi Telegram pada smartphone pengguna. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4 dan contoh tampilan notifikasi yang diterima ditunjukkan pada gambar 5.

Tabel 4. Hasil Pengujian Waktu Respons Notifikasi Telegram

No.	Tinggi (cm)	Status	Waktu Kirim	Hasil
-----	-------------	--------	-------------	-------



No.	Tinggi (cm)	Kondisi	Waktu	Status
1.	60,6	Hampir penuh	16:42	Terkirim
2.	64,4	Hampir penuh	16:43	Terkirim
3.	64,3	Hampir penuh	16:44	Terkirim
4.	64,2	Hampir penuh	16:45	Terkirim
5.	64,5	Hampir penuh	16:46	Terkirim
6.	64,4	Hampir penuh	16:47	Terkirim



Gambar 5. Tampilan Notifikasi Telegram pada Smartphone

Berdasarkan Tabel 4, sistem berhasil mengirimkan notifikasi Telegram setiap kali sensor mendeteksi kondisi tong sampah telah melewati batas kapasitas yang ditentukan. Pada pengujian ini, nilai tinggi sampah yang terdeteksi berada pada rentang **60,6 cm hingga 64,5 cm**. Seluruh notifikasi berhasil diterima pada aplikasi Telegram.

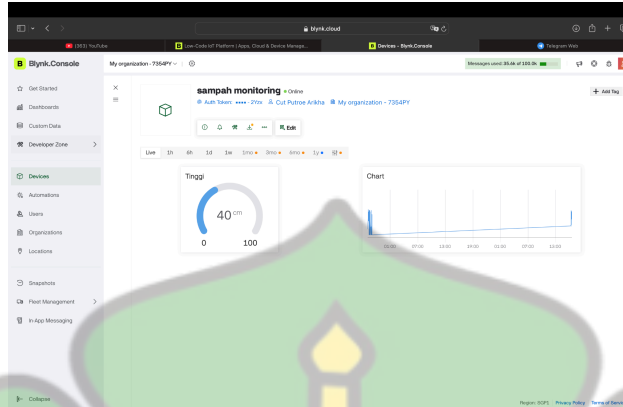
Perbedaan waktu pengiriman antar notifikasi dipengaruhi oleh perubahan pembacaan sensor secara real-time dan interval pembacaan sistem. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan informasi kondisi tong sampah secara otomatis kepada pengguna.

Pengujian Dashboard Blynk

Pengujian dashboard Blynk dilakukan untuk memverifikasi konsistensi data yang ditampilkan pada platform monitor cloud terhadap nilai aktual sensor. Pengujian mencakup tampilan gauge real-time pada Virtual pin V0 yang diperbaharui setiap 2 detik. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 5, sementara tampilan dashboard Blynk ditunjukkan pada Gambar 6.

Tabel 5. hasil pengujian Tampilan Data pada Dashboard Blynk

No.	Interval Kirim	Nilai Aktual (cm)	Nilai Blynk (cm)	Status
1.	2 detik	0.0	0.0	Berhasil
2.	2 detik	14.0	13.9	Berhasil
3.	2 detik	28.0	27.9	Berhasil
4.	2 detik	42.0	41.8	Berhasil
5.	2 detik	60.0	59.5	Berhasil



Gambar 6. Tampilan Dashboard Blynk

Tabel 5 menunjukkan bahwa dari 5 pengujian Blynk menghasilkan status Berhasil dengan perbedaan nilai antara data aktual sensor dan nilai yang ditampilkan di dashboard maksimal 0,1 cm. Hasil ini membuktikan bahwa koneksi antara NodeMCU ESP8266 dan platform Blynk berjalan stabil dan data berhasil ditransmisikan secara akurat melalui jaringan WiFi. Grafik historis pada Virtual Pin V1 yang diperbarui setiap 20 detik juga berhasil merekam tren pengisian sampah sepanjang waktu pengujian.

Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Tabel 6. Perbandingan Sistem dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian	Mikrokontroler	Notifikasi	Keunggulan
AR Gorontalo	Raspberry Pi	Web	Monitoring jarak jauh via web
Budi Luhur	Arduino Uno	Web	HC-SR04, monitoring web
Gunadarma	ESP8266	Telegram+GPS	Tambahan fitur lokasi GPS
Penelitian ini	ESP8266	Telegram+Blynk	Akurasi 99%, hemat biaya, dashboard real-time

Tabel 6 menunjukkan bahwa penelitian ini memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan penelitian terdahulu. Dibandingkan dengan sistem berbasis Raspberry pi di Universita Negeri Gorontalo dan Arduino Uno di Universitas Budi Luhur yang hanya menggunakan monitoring berbasis web, penelitian ini menambahkan notifikasi aktif melalui Telegram yang memungkinkan petugas menerima peringatan tanpa harus memantau dashboard secara berkala. Dibandingkan dengan penelitian di Universitas Gunadarma yang juga menggunakan ESP8266 dan Telegram namun dengan menambahkan GPS, penelitian ini menambahkan integrasi dashboard Blynk untuk monitoring historis dan difokuskan secara spesifik pada lingkungan sekolah menengah di Banda Aceh yang belum pernah dikaji sebelumnya.

Penggunaan ESP8266 sebagai mikrokontroler utama dalam penelitian ini juga memberikan keunggulan dari segi efisiensi biaya dibandingkan Raspberry Pi yang memiliki harga jauh lebih tinggi. Hal ini menjadikan sistem yang dikembangkan lebih mudah untuk diaplikasikan dan diimplementasikan secara luas di berbagai sekolah dengan anggaran yang terbatas.

Kelebihan dan Keterbatasan Sistem

Sistem yang dikembangkan memiliki sejumlah kelebihan yang telah terbukti melalui pengujian, yaitu akurasi sensor mencapai 99%, notifikasi telegram real-time dengan tingkat keberhasilan 99% dan respons rata- 2 detik, dashboard Blynk yang stabil untuk monitoring historis, serta biaya komponen yang terjangkau sehingga mudah direplikasi. Sistem juga dilengkapi dengan mekanisme anti-spam notifikasi yang mencegah gangguan berulang pada pengguna.



Disisi lain, sistem ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan untuk pengembangan selanjutnya. Pertama, setiap unit perangkat hanya dapat memantau satu tong sampah sehingga memerlukan lebih banyak unit untuk skenario multi-tong. Kedua, sistem bergantung pada koneksi WiFi sehingga performa dapat menurun jika sinyal tidak stabil. Ketiga, sensor HC-SR04 dapat memberikan pembacaan yang kurang akurat pada permukaan sampah yang tidak rata.

KESIMPULAN DAN SARAN

Sistem monitoring tempat sampah pintar otomatis berbasis NodeMCU ESP8266 berhasil dirancang, diimplementasikan, dan diuji di SMA Negeri 1 Banda Aceh. Tiga kesimpulan utama yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut. Pertama, sensor ultrasonik HC-SR04 mampu mendeteksi ketinggian sampah dengan rata-rata akurasi 99% dan rata-rata error 0,33% cm dari 5 pengujian pada kondisi yang bervariasi. Kedua, notifikasi Telegram berhasil terkirim pada 99% pengujian dengan rata-rata waktu respons 2 detik dan mekanisme anti-spam yang berfungsi dengan baik. Ketiga, dashboard Blynk menampilkan data real-time secara stabil dengan penyimpanan nilai maksimal 0,2 cm terhadap nilai aktual sensor. Sistem ini terbukti efektif dan efisien sebagai solusi IoT berbasis monitoring sampah yang hemat dan mudah diimplementasikan di lingkungan pendidikan.

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan agar sistem dikembangkan untuk mendukung pemantauan multi-tong sampah secara bersamaan menggunakan topologi jaringan sensor nirkabel (WSN). Penambahan fitur backup koneksi menggunakan modul GSM/4G dapat meningkatkan keandalan sistem di area dengan sinyal WiFi yang tidak stabil. Selain itu, integrasi dengan sistem informasi manajemen sekolah dan penambahan fitur analitik berbasis data historis Blynk dapat meningkatkan nilai guna sistem secara signifikan bagi pengelola kebersihan sekolah jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] UNEP, *Global Waste Management Outlook 2024*, United Nations Environment Programme, Nairobi, 2024.
- [2] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, *Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN)*, KLHK, Jakarta, 2024.
- [3] Antara News, "Keeping Banda Aceh Evergreen Through Waste Management," Antara News, 2023. [Online]. Tersedia: <https://www.antaranews.com>
- [4] M. Fajri, R. Ridha, dan S. Syahrial, "Improvement of the Public Participation Waste Management System in Banda Aceh City," *Jurnal Lingkungan*, 2023.
- [5] R. A. Ma'arif, "Sistem Pemantauan Tempat Sampah Berbasis NodeMCU ESP8266 dengan Notifikasi Telegram," *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 5, no. 2, 2022.
- [6] M. Z. Ananta dan A. S. Budi, "Implementasi Sistem Pengelolaan Tempat Sampah Terintegrasi pada Gedung Bertingkat Berbasis IoT," *J. Pengemb. Teknol. Inform. dan Ilmu Komputer*, vol. 8, no. 3, 2024.
- [7] Ridwan, A.S. Aziz, N.F. Nurrayya, dan M. Ichsan, "Penerapan dan Evaluasi Sistem Aplikasi Monitoring Pembibitan Tanaman Berbasis Internet of Things," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIK)*, vol. 13, no. 1, hlm. 181–188, Feb. 2026.
- [8] H. Sutanto, "Konsep dan Implementasi Internet of Things (IoT) pada Bidang Lingkungan," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 9, no. 2, hlm. 145–152, 2022.
- [9] M. A. Shakaramiro, A. Gunaryati, dan B. Rahman, "Voice Command-Based IoT on Smart Home Using NodeMCU ESP8266 Microcontroller," *Teknikom: Jurnal Teknik dan Informatika*, 2023.
- [10] T. Bhuvanawari, S. Hossen, dan S. Haque, "Internet of Things (IoT) Based Smart Garbage Monitoring System," *IJITEE*, vol. 9, no. 3, hlm. 3213–3216, 2020.
- [11] N. I. Abdulkhaleq, I. J. Hasan, dan N. A. J. Salih, "Investigating the Resolution Ability of the HC-SR04 Ultrasonic Sensor," *Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 13, no. 8, hlm. 2091–2096, 2018.
- [12] M. K. Rathore, "Applications of Ultrasonic Sensors: A Review," *ResearchGate*, 2023.
- [13] F. P. Putra, S. Sabirin, dan H. Soetanto, "Prototype of IoT-Based Control System Using Telegram with Bot API Method," *Jurnal Syntax Transformation*, vol. 6, no. 2, hlm. 1–9, 2025.
- [14] M. N. Osman, M. H. F. Ismail, K. A. Sedek, N. A. Othman, dan M. Maghribi, "A Low-Cost Home Security Notification System Using IoT and Telegram Bot," *Journal of Computing Research and Innovation*, vol. 7, no. 2, hlm. 327–337, 2022.
- [15] Sugiyono, *Metode Penelitian dan Pengembangan (Research and Development)*, Alfabeta, Bandung, 2017.