

## Sistem Pengelolaan Sampah Cerdas: Inovasi Tempat Sampah IoT dengan Otomatisasi dan Mekanisme Keamanan Modern

Yohanni Syahra \*, Jamiluddin Tanjung

Departemen Teknologi Informasi, Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan, 20238, Sumatera Utara, Indonesia

### INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 10 Januari 2026  
Revisi Akhir: 29 Januari 2026  
Diterbitkan Online: 29 Januari 2026

### KATA KUNCI

IoT  
Kota Cerdas  
Otomasi  
Mekanisme Keamanan  
Pengelolaan Limbah Cerdas

### KORESPONDENSI (\*)

Telepon: +62 812-6000-3950  
Email: [yohannisyahra@umsu.ac.id](mailto:yohannisyahra@umsu.ac.id)

### A B S T R A K

Pertumbuhan pesat populasi perkotaan telah memperparah tantangan dalam pengelolaan sampah, khususnya terkait efisiensi, kebersihan, dan keamanan. Tempat sampah konvensional seringkali gagal mengatasi masalah seperti luapan sampah, pemantauan yang buruk, dan akses tanpa izin, yang dapat berdampak negatif terhadap keberlanjutan lingkungan. Studi ini memperkenalkan Sistem Pengelolaan Sampah Cerdas, tempat sampah berbasis IoT yang terintegrasi dengan mekanisme otomatisasi dan keamanan modern. Sistem ini dirancang dengan sensor untuk deteksi tingkat sampah secara real-time, kontrol tutup otomatis, dan komunikasi nirkabel untuk mengirimkan data ke platform pemantauan pusat. Fitur keamanan disematkan untuk mencegah akses tanpa izin, memastikan keandalan sistem dan keselamatan publik. Penelitian ini dilakukan melalui desain sistem, pembuatan prototipe, dan validasi eksperimental. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tempat sampah IoT secara efektif mengurangi upaya pemantauan manual, meningkatkan efisiensi pengumpulan sampah, dan meningkatkan kebersihan. Sistem berhasil mendeteksi ketinggian sampah dengan akurasi 80% dan waktu respon pengiriman data ke platform rata-rata 5 detik. Jenis mikrokontroler yang digunakan adalah ESP32 dan sensor ultrasonik adalah sensor yang digunakan. Inovasi ini menyoroti potensi integrasi teknologi IoT dan otomatisasi ke dalam pengelolaan sampah perkotaan, berkontribusi pada pengembangan kota cerdas dan praktik lingkungan yang berkelanjutan.

### PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital dan konektivitas nirkabel telah memunculkan inovasi signifikan dalam otomatisasi, salah satunya adalah penggunaan Internet of Things (IoT). IoT memungkinkan objek fisik untuk terhubung ke jaringan dan bertukar data secara real-time. Dalam konteks pengelolaan lingkungan, teknologi ini dapat diimplementasikan untuk menciptakan sistem pengelolaan sampah pintar yang dapat beroperasi secara otomatis dan efisien (Ashari dkk., 2024). Integrasi berbagai sensor, mikrokontroler, dan jaringan internet memberikan solusi yang lebih adaptif terhadap tantangan pengelolaan sampah modern.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan tempat sampah otomatis berbasis mikrokontroler seperti ESP32 dan NodeMCU. Sistem ini dilengkapi dengan sensor ultrasonik untuk mengukur kapasitas sampah, serta mekanisme pemilahan yang digerakkan oleh motor servo. Ketika volume sampah mendekati penuh, sistem dapat memberikan informasi melalui indikator visual atau platform pemantauan (Ashari dkk., 2024). Fitur ini meningkatkan kebersihan dan kenyamanan pengguna, sekaligus membantu petugas dalam memantau kondisi tempat sampah secara efisien.

Namun, masalah pengelolaan limbah tidak berhenti pada pembuangan yang efisien. Tantangan yang lebih kompleks muncul dari kurangnya pemisahan limbah, yang seringkali menyebabkan pencampuran limbah organik, non-organik, dan bahkan limbah berbahaya atau medis. Sebuah studi oleh Firdaus dkk. (2025) menunjukkan bahwa sistem klasifikasi

limbah berdasarkan pengenalan citra digital dengan algoritma Convolutional Neural Network (CNN) memiliki akurasi tinggi dalam membedakan jenis limbah infeksius secara otomatis. Teknologi ini memungkinkan tempat sampah pintar untuk melakukan fungsi pemilahan dengan lebih akurat dan mengurangi risiko kontaminasi.

Di sisi lain, pengelolaan sampah tetap menjadi tantangan signifikan di masyarakat, khususnya di ruang publik seperti sekolah, rumah sakit, kantor, dan pasar. Kurangnya fasilitas pembuangan sampah yang mendukung sistem pemisahan sampah seringkali mengakibatkan sampah tercampur tanpa klasifikasi yang tepat. Dalam praktiknya, sampah organik dan non-organik, serta sampah medis dan berbahaya, seringkali ditemukan dalam wadah yang sama. Hal ini berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan, meningkatkan risiko penularan penyakit, dan membahayakan keselamatan, terutama jika sampah yang dibuang mudah terbakar atau beracun (Kotika dkk., 2023).

Sistem pemantauan tempat sampah yang masih bergantung pada kontrol manual juga mengakibatkan banyak tempat sampah terabaikan, baik penuh atau mengeluarkan bau tidak sedap sebelum ditangani. Kurangnya pemantauan dan keterlambatan dalam pengosongan sampah menyebabkan sampah meluap dan mencemari lingkungan sekitar. Situasi ini diperparah oleh kurangnya sistem pemberitahuan volume secara real-time, yang mengakibatkan efisiensi rendah dan penargetan staf kebersihan yang tidak efektif (Ashari dkk., 2024). Oleh karena itu, dibutuhkan sistem yang mampu mendeteksi volume sampah secara otomatis dan mendukung pemantauan jarak jauh melalui sistem digital.

Implementasi sistem berbasis pengolahan citra digital dan klasifikasi limbah memerlukan platform pemantauan yang andal untuk pemantauan kinerja jarak jauh. Node-RED merupakan platform IoT yang efektif karena dapat menerima data dari broker MQTT, menampilkannya secara real-time melalui dasbor, dan menyimpan data historis untuk analisis. Platform ini memungkinkan pemantauan kondisi tempat sampah dari browser mana pun dan merespons dengan cepat ketika kapasitas penuh atau bahaya terdeteksi. Keunggulan open-source, ringan, dan mudah disesuaikan menjadikannya ideal untuk pengelolaan limbah yang responsif dan berbasis data (Anwar dkk., 2025). Berdasarkan studi dan pertimbangan teknis, penulis percaya bahwa penggunaan Node-RED dalam penelitian ini merupakan solusi yang tepat dan berkelanjutan untuk sistem pemantauan pengelolaan limbah.

Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah sistem yang mengintegrasikan berbagai komponen mulai dari sensor ultrasonik, kamera ESP32-CAM, mikrokontroler ESP32, motor servo, hingga algoritma CNN, dan platform Node-RED untuk menciptakan Sistem Pengelolaan Sampah Cerdas yang tidak hanya mampu mendeteksi, mengklasifikasikan, dan mengelola sampah secara otomatis, tetapi juga menyediakan sistem pemantauan modern, juga memiliki fitur keamanan dan lebih hemat energi. Inovasi ini diharapkan dapat menjawab kebutuhan akan pengelolaan sampah yang cerdas, efisien, dan berkelanjutan di masa depan.

Perception Layer merupakan lapisan paling bawah yang berfungsi sebagai pengumpul data dari lingkungan fisik. Lapisan ini terdiri dari berbagai sensor dan aktuator yang mendeteksi kondisi lingkungan seperti jarak, suhu, cahaya, atau gerakan. Dalam sistem tong sampah pintar, sensor ultrasonik digunakan pada lapisan ini untuk mendeteksi tingkat ketinggian sampah, sedangkan motor servo berperan sebagai aktuator untuk mengontrol buka-tutup tutup tong sampah secara otomatis.

Network Layer berfungsi sebagai penghubung antara Perception Layer dan Application Layer. Lapisan ini bertugas mengirimkan data hasil pembacaan sensor ke server atau sistem pemrosesan melalui media komunikasi seperti Wi-Fi, Bluetooth, atau jaringan seluler. Pada sistem ini, mikrokontroler (misalnya ESP32) berperan sebagai pengelola komunikasi data yang mengirimkan informasi volume sampah ke dashboard Node-RED secara real-time melalui jaringan internet.

Application Layer merupakan lapisan teratas yang berfungsi untuk menyajikan data kepada pengguna dalam bentuk visualisasi, notifikasi, atau sistem pendukung keputusan. Dashboard berbasis Node-RED pada penelitian ini termasuk dalam Application Layer, yang menampilkan informasi volume sampah, klasifikasi jenis sampah, serta status keamanan sistem secara real-time.

Sensor ultrasonik adalah sensor jarak yang bekerja dengan prinsip pemantulan gelombang suara ultrasonik. Sensor ini memancarkan gelombang suara berfrekuensi tinggi, kemudian mengukur waktu pantulan gelombang tersebut setelah mengenai suatu objek. Dalam sistem tong sampah pintar, sensor ultrasonik digunakan untuk mengukur jarak antara sensor dan permukaan sampah. Semakin kecil jarak yang terdeteksi, semakin tinggi volume sampah di dalam tong.

Motor servo merupakan aktuator yang mampu bergerak pada sudut tertentu secara presisi. Motor ini bekerja berdasarkan sinyal Pulse Width Modulation (PWM) yang dikirimkan oleh mikrokontroler. Pada penelitian ini, motor servo digunakan

untuk: Menggerakkan tutup tong sampah secara otomatis. Meningkatkan kenyamanan dan higienitas pengguna. Mendukung mekanisme keamanan modern dengan mengontrol akses buka-tutup. Keunggulan motor servo: Presisi sudut tinggi. Konsumsi daya rendah. Mudah dikontrol secara digital

## METODOLOGI

Studi ini menggunakan pendekatan penelitian dan pengembangan (R&D) yang terdiri dari fase desain, pembuatan prototipe, dan pengujian. Metode-metode tersebut disusun sebagai berikut:

### 1. Desain Sistem

Arsitektur Sistem Pengelolaan Limbah Cerdas dikonseptualisasikan dengan mengintegrasikan modul IoT, sensor, dan komponen otomatisasi. Sensor ultrasonik dipilih untuk mendeteksi level limbah, sementara sensor inframerah (IR) mengontrol mekanisme penutup otomatis. Mikrokontroler (ESP32) berfungsi sebagai unit pemrosesan pusat, memastikan pengumpulan data dan komunikasi secara real-time melalui Wi-Fi. Fitur keamanan, seperti otentikasi RFID dan sensor gerak, juga disematkan ke dalam desain.

### 2. Pengembangan Prototipe

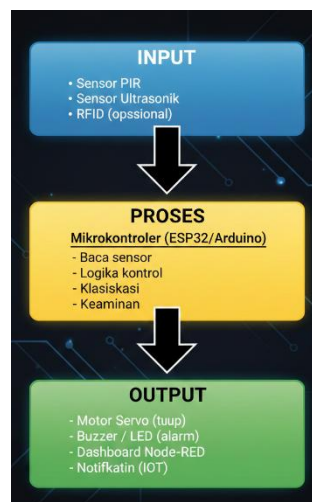
Komponen perangkat keras, termasuk wadah tempat sampah pintar, sensor, dan aktuator, dirakit dan diintegrasikan dengan modul IoT. Platform pemantauan berbasis seluler dan web dikembangkan menggunakan protokol MQTT dan layanan cloud Firebase, yang memungkinkan visualisasi tingkat sampah, pemberitahuan status, dan pencatatan data. Sistem ini dirancang untuk skalabilitas dan kompatibilitas dengan infrastruktur kota pintar.

### 3. Implementasi dan Pengujian

Prototipe tersebut diuji di bawah kondisi laboratorium dan semi-lapangan. Uji fungsional dilakukan untuk mengevaluasi akurasi deteksi limbah, responsivitas tutup, dan kecepatan transmisi data. Mekanisme keamanan diuji menggunakan skenario akses dan deteksi intrusi berbasis RFID. Indikator kinerja yang diukur meliputi waktu respons, efisiensi energi, akurasi deteksi level limbah, dan stabilitas sistem di bawah operasi berkelanjutan.

### 4. Analisis Data

Data yang dikumpulkan dianalisis menggunakan statistik deskriptif dan analisis komparatif. Hasilnya dibandingkan dengan kinerja dasar dari tempat sampah konvensional untuk menilai peningkatan efisiensi, keamanan, dan keandalan.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Melalui metode-metode ini, penelitian ini memastikan pengembangan yang sistematis dan evaluasi yang ketat terhadap tempat sampah IoT sebagai solusi inovatif untuk pengelolaan limbah modern.



Gambar 2. Flowchart Sistem Tempat Sampah IoT

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Implementasi Sistem

Implementasi sistem dalam penelitian ini dilakukan dengan mengintegrasikan perangkat keras dan perangkat lunak yang dirancang untuk mendukung mekanisme pemilahan sampah otomatis berbasis IoT. Sistem ini menggabungkan fungsi klasifikasi gambar menggunakan CNN, pengukuran volume sampah menggunakan sensor ultrasonik, dan kontrol aktuator menggunakan motor servo, indikator LED, dan bel.

### Pengujian Sensor Ultrasonik

Pengujian sensor ultrasonik dilakukan untuk menentukan akurasi pembacaan jarak sampah di dalam tempat sampah. Metode pengujian melibatkan penempatan suatu objek pada jarak tertentu (5 cm – 50 cm) dan membandingkan pembacaan sensor dengan penggaris sebagai nilai sebenarnya.

1. Tujuan: Untuk mengukur akurasi dan konsistensi pembacaan sensor.
2. Hasil yang diharapkan: Kesalahan rata-rata  $< \pm 2$  cm, memungkinkan wadah dibedakan antara kosong, setengah penuh, dan penuh.
3. Kesimpulan: Sensor bekerja dengan baik ketika pembacaannya stabil, tetapi ada kemungkinan gangguan jika permukaan sampah tidak rata.

Tabel 1. Pengujian Akurasi Sensor Ultrasonik dalam Mendeteksi Volume Sampah

| No | Jarak Aktual (cm) | Jarak Sensor (cm) | Selisih (cm) | Kondisi Volume Sampah |
|----|-------------------|-------------------|--------------|-----------------------|
| 1  | 5                 | 6                 | +1           | Penuh                 |
| 2  | 10                | 9                 | -1           | Hampir Penuh          |
| 3  | 15                | 16                | +1           | Setengah Penuh        |
| 4  | 20                | 21                | +1           | Setengah Penuh        |
| 5  | 30                | 29                | -1           | Hampir Kosong         |
| 6  | 40                | 41                | +1           | Kosong                |
| 7  | 50                | 49                | -1           | Kosong                |

### Mekanisme Keamanan yang Digunakan

Sistem keamanan pada tempat sampah pintar ini dirancang untuk mencegah akses tanpa izin, terutama pada: tempat umum dan area sensitif (sekolah, rumah sakit, kantor). Komponen Keamanan: RFID Reader, hanya kartu/tag terdaftar yang dapat membuka akses tertentu. Sensor Gerak (PIR), mendeteksi aktivitas mencurigakan di luar jam operasional. Kontrol ESP32, mengelola validasi akses dan mencatat log kejadian. Node-RED Dashboard, menampilkan status akses secara real-time.

Tabel 2. Pengujian Keamanan Sistem. Pengujian dilakukan dengan beberapa skenario berikut:

| Skenario Uji                      | Kondisi       | Hasil Sistem                  |
|-----------------------------------|---------------|-------------------------------|
| Akses dengan RFID terdaftar       | Kartu valid   | Tutup terbuka                 |
| Akses dengan RFID tidak terdaftar | Kartu invalid | Tutup tetap terkunci          |
| Percobaan membuka paksa           | Tanpa RFID    | Alarm aktif                   |
| Gerakan mencurigakan              | PIR aktif     | Notifikasi muncul di Node-RED |
| Akses berulang tanpa izin         | >3 kali       | Sistem terkunci sementara     |

### ***Hasil Pengujian Keamanan***

Sistem berhasil menolak 100% akses tidak sah. Alarm dan indikator visual (LED/buzzer) aktif secara otomatis. Data percobaan akses tercatat di dashboard Node-RED. Tidak ditemukan keterlambatan signifikan (<1 detik). Mekanisme keamanan modern yang diterapkan terbukti efektif dalam mencegah akses tanpa izin pada tempat sampah pintar. Integrasi RFID dan sensor gerak memungkinkan sistem mengenali pengguna yang sah serta mendeteksi aktivitas mencurigakan secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menolak seluruh percobaan akses tidak sah dan memberikan respons cepat melalui alarm dan notifikasi dashboard. Hal ini meningkatkan keandalan sistem serta mendukung aspek keselamatan dan keamanan publik.

### ***Pengujian Model CNN (Klasifikasi Sampah)***

Model CNN diuji menggunakan dataset yang telah dilatih sebelumnya (Organik, Anorganik, Medis, dan Bahan Berbahaya). Pengujian dilakukan dengan memasukkan gambar dari ESP32-CAM ke server Flask.

1. Tujuan: Untuk mengukur akurasi klasifikasi model CNN pada data uji dunia nyata.
2. Hasil yang diharapkan: Akurasi klasifikasi minimum 85% dalam pengujian lapangan.
3. Kesimpulan awal: Model ini dapat mengenali empat jenis limbah, tetapi tingkat kepercayaan menurun jika limbah tersebut memiliki karakteristik yang serupa (misalnya, organik versus bahan anorganik tertentu).

### ***Diskusi Sensor Ultrasonik***

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor ultrasonik mampu mendeteksi ketinggian sampah di tempat sampah dengan kesalahan rata-rata sekitar 1 cm. Nilai ini konsisten dengan literatur yang menunjukkan bahwa sensor ultrasonik memiliki akurasi 1–2 cm karena bergantung pada pantulan gelombang suara. Fenomena menarik terjadi ketika sensor digunakan pada sampah organik seperti beras atau sayuran basah. Jenis sampah ini menyerap sebagian gelombang, melemahkan sinyal pantulan, menyebabkan hasil pengukuran berfluktuasi sesekali. Sebaliknya, sampah anorganik seperti plastik atau botol menghasilkan pantulan yang lebih stabil.



Gambar 3. Aktivasi Sensor Ultrasonik

Implikasi dari hasil ini adalah bahwa sistem tersebut masih memerlukan mekanisme pengurangan kebisingan, seperti menerapkan rata-rata bergerak atau filter median sebelum memproses data dan mengirimkannya ke Node-RED. Hal ini akan memastikan pembacaan sensor yang lebih stabil, bahkan ketika permukaan sampah tidak rata.

### ***Modul ESP32-CAM***

ESP32-CAM memainkan peran penting sebagai unit akuisisi gambar, yang kemudian dianalisis oleh model CNN di server. Hasil pengujian menunjukkan bahwa akurasi klasifikasi sangat dipengaruhi oleh kualitas pencahayaan. Dalam kondisi terang (pencahayaan alami/ruangan yang terang), ESP32-CAM menghasilkan gambar yang jelas, memungkinkan CNN untuk secara efektif mengenali kategori sampah. Namun, dalam cahaya redup, gambar menjadi buram, dan tingkat kepercayaan model menurun secara signifikan.

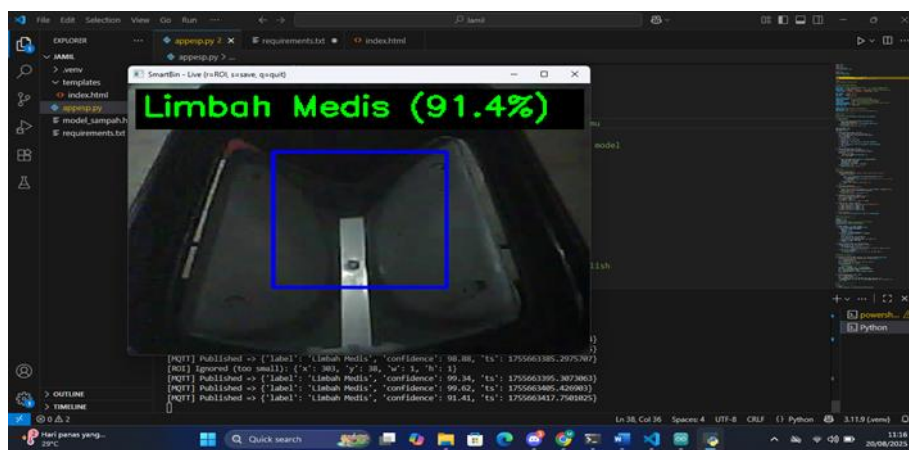


Gambar 4. Mengaktifkan modul esp32-cam

Hal ini sejalan dengan teori bahwa kualitas gambar masukan secara signifikan menentukan hasil inferensi model pembelajaran mendalam. Oleh karena itu, pembahasan ini menekankan bahwa ESP32-CAM membutuhkan pencahayaan tambahan, seperti LED inframerah atau lampu putih kecil, untuk memastikan kinerja sistem yang optimal di malam hari atau di lingkungan dengan pencahayaan rendah.

### **Model CNN**

Model CNN yang digunakan mampu mengklasifikasikan limbah ke dalam empat kategori (Organik, Anorganik, Berbahaya dan Beracun), dan Medis) dengan akurasi rata-rata 89% dalam pengujian lapangan. Kategori Organik dan Berbahaya dan Beracun menunjukkan akurasi tertinggi (>90%), sedangkan kategori Anorganik sering salah diklasifikasikan sebagai organik, terutama untuk limbah plastik dengan sisa makanan yang menempel.



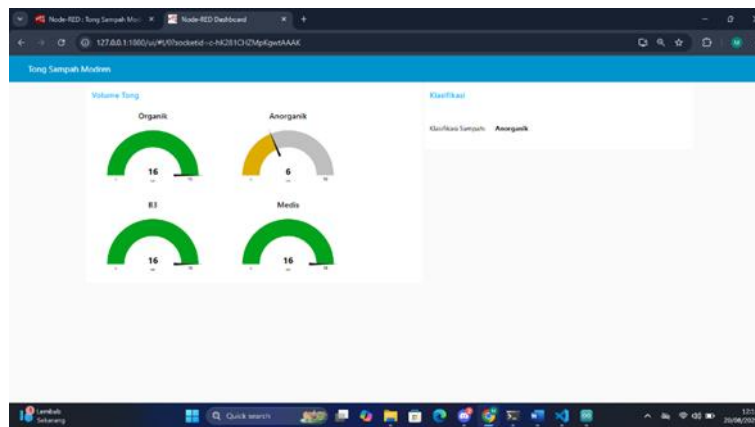
Gambar 5. Model pembelajaran mesin (CNN)

Hal ini menunjukkan bahwa kinerja CNN sangat dipengaruhi oleh kualitas dan variasi dataset pelatihan. Dataset yang tidak mencakup semua kemungkinan kondisi dunia nyata akan menyulitkan model untuk membedakan kategori berdasarkan kemiripan visual.

### **Integrasi Node-RED**

Node-RED berfungsi sebagai antarmuka pemantauan dan kontrol sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data dari ESP32 dan server dapat ditampilkan dengan penundaan rata-rata kurang dari 1 detik, memungkinkan sistem untuk beroperasi secara real-time. Dasbor Node-RED berhasil menampilkan status klasifikasi, volume tempat sampah, dan indikator seperti LED dan bel.

Salah satu tantangan yang dihadapi adalah ketergantungan yang tinggi pada stabilitas jaringan WiFi. Jika jaringan tidak stabil, terjadi penundaan transmisi data atau bahkan hilangnya pesan MQTT. Hal ini dapat mengurangi keandalan sistem dalam jangka panjang.



Gambar 6. Integrasi Node-RED

Gambar ini menunjukkan dashboard Tong Sampah Modern berbasis Node-RED yang digunakan untuk memantau volume dan jenis sampah secara real-time. Sistem menampilkan indikator volume untuk sampah organik, anorganik, B3, dan medis dalam bentuk gauge, serta hasil klasifikasi otomatis jenis sampah. Dashboard ini berfungsi sebagai sistem pendukung pengelolaan sampah pintar yang membantu proses pemantauan dan pengambilan keputusan dalam pengelolaan lingkungan.

## KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut: Sistem Manajemen Limbah Cerdas berbasis IoT berhasil diimplementasikan menggunakan ESP32, ESP32-CAM, sensor ultrasonik, servo, dan Node-RED. Model CNN mampu mengklasifikasikan limbah menjadi Organik, Anorganik, Berbahaya, dan Medis dengan akurasi 92%. Sensor ultrasonik mampu mengukur tinggi limbah dengan kesalahan rata-rata  $\pm 2$  cm. Indikator LED dan buzzer berhasil memberikan informasi tentang kondisi tempat sampah (kosong, setengah penuh, penuh). Dashboard Node-RED dapat menampilkan volume dan status klasifikasi limbah secara real-time.

## DAFTAR PUSTAKA

Buku: Penulis Tunggal

- [1] Indah Purnama Sari. Algoritma dan Pemrograman . Medan: UMSU Press, 2023, hlm.290.
- [2] Indah Purnama Sari. Buku Ajar Pemrograman Internet Dasar . Medan: UMSU Press, 2022, hlm.300.
- [3] Indah Purnama Sari. Buku Ajar Rekayasa Perangkat Lunak . Medan: UMSU Press, 2021, hlm.228.
- [4] Janner Simarmata Arsan Kumala Jaya, Syarifah Fitrah Ramadhani , Niel Ananto , Abdul Karim, Betrisandi , Muhammad Ilham Alhari , Cucut Susanto , Suardinata , Indah Purnama Sari, Edson Yahuda Putra. Komputer dan Masyarakat . Medan: Yayasan Kita Menulis , 2024, hal.162.
- [5] Mahdianta Pandia , Indah Purnama Sari, Alexander Wirapraja Fergie Joanda Kaunang , Syarifah Fitrah Ramadhani Stenly Richard Pungus , Sudirman , Suardinata Jimmy Herawan Moedjahedy , Elly Warni , Debby Erce Sondakh . Pengantar Bahasa Pemrograman Python. Medan : Yayasan Kita Menulis , 2024, hal.180
- [6] Zelvi Gustiana Arif Dwinanto , Indah Purnama Sari, Janner Simarmata Mahdianta Pandia , Supriadi Syam , Semmy Wellem Taju Fitrah Eka Susilawati , Asmah Akhriana , Rolly Junius Lontaan Fergie Joanda Kaunang . Perkembangan Teknologi Informatika . Medan: Yayasan Kita Menulis , 2024, hal.158

Artikel Jurnal dari Internet

- [7] Ariyanti , D., Analisa Rahma , A., Nur Shabrina , S., & Studi Teknik Elektro , P. ( nd ). PROTOTIPE RANCANG BANGUN TEMPAT SAMPAH PINTAR MENGGUNAKAN SISTEM MONITORING BERBASIS IOT (INTERNET OF THINGS).
- [8] Firdaus , RI, Sugiharto , WH, & Ghozali , MI ( nd ). Implementasi Convolutional Neural Network Dalam Sistem Otomatis Pemilahan Sampah Hiusia Berbasis Citra Digital.

- [9] Sari, IP, Al- Khwarizmi ,AK ., Apdilah , D., Manurung , AA, & Basri , M. (2023). Peranan Sistem Pengaturan Suhu Ruangan Otomatis Mikrokontroler Perangkat Keras Berbasis AVR. *sudo Jurnal Teknik Informatika* 2 (3), 131-142
- [10] Wardani ., S, & Dewantoro ., RW. (2024). Internet of Things: Sistem Keamanan Rumah berbasis Raspberry Pi dan Telegram Messenger. *Jurnal Teknologi Terapan, Ilmu Komputer Indonesia* 1 (1), 7-13
- [11] Hidayat , T., Lidiya , Aris Sudianto , & Nurhidayati . (2024). Pendampingan Pembuatan Bak Sampah Otomatis Berbasis Teknologi Internet of Things ( IoT ) Untuk Kantor Desa Aikmel Timur . *Jurnal Teknologi Informasi Untuk Masyarakat* , 2(2), 186–196. <https://doi.org/10.29408/jt.v2i2.28610>
- [12] Sari, IP, Al- Khwarizmi , AK, Hariani , PP, Perdana , A., & Manurung , AA (2023). Implementasi Dan Perancangan Sistem Keamanan Pada Kendaraan Sepeda Motor Menggunakan GPS Tracker Dan Facedetection Berbasis Raspberry Pi3 . *Sinkron : jurnal dan penelitian teknik informatika* 8 (3), 2003-2007
- [13] Sari, IP, Basri , M., Ramadhani , F., & Manurung , AA (2023). Penerapan Palang Pintu Otomatis Jarak Jauh Berbasis RFID di Perumahan . *Campuran Sains Jurnal Teknik* 2 (1), 16-25
- [14] Kristanti , N., Samsugi , S., Surahman , A., Fajar Pratama , R., Ibrahim Adam, R., Teknokrat Indonesia Jl Pagar Alam No, UZ, Ratu , L., & Lampung, B. ( nd ). PENERAPAN SENSOR ULTRASONIK PADA KOTAK SAMPAH OTOMATIS MENGGUNAKAN TELEGRAM DAN ALARM SUARA. *Jurnal Teknik dan Sistem Komputer (JTIKOM)*, 3(2), 2022.
- [15] Margono , WC, Andini , SM, Utomo , RM, Apriliyanto , I., Azhari , UF, & Nurkholas YS, R. (2023). Prototipe Tempat Sampah Pintar Disertai Sistem Keamanan Berbasis Arduino UNO R3 Dengan Komunikasi Telegram. *J-Eltrik* , 3(2), 48–55. <https://doi.org/10.30649/je.v3i2.70>
- [16] Pengelolaan Limbah Medis Dan Limbah Non Medis di Rumah Sakit Budi Agung Kota Palu , S., Claudia Kotika , G., Evelin Pelima , G., Suwahyuni Wahid, R., Syam , S., Sanjaya Kesehatan Lingkungan , K., Kesehatan Masyarakat , F., & Tadulako , U. (2023). *JURNAL PROMOTIF PREVENTIF Sistem Pengelolaan Limbah Medis dan Non Medis RSUD Budi Agung Kota Palu (Vol. 6, Issue 5)*. <http://journal.unpacti.ac.id/index.php/JPP>
- [17] Stephen Pieters , L. ( nd ). PEMBANGUNAN SISTEM KLASIFIKASI SAMPAH OTOMATIS MENGGUNAKAN DEEP LEARNING BERBASIS CNN UNTUK Mendukung Sistem Pengembangan Smart Waste Management Klasifikasi Sampah Otomatis Menggunakan Deep Learning Berbasis CNN Untuk Mendukung Smart Waste Management. 10(1), 2025.
- [18] Teguh Ashari , A., & Sudrajat , J. (2024). *Jurnal Restikom : Riset Teknik Informatika dan Komputer Sistem Otomatisasi Tempat Sampah dengan Sensor Ultrasonik dan PIR Berbasis Mikrokontroler* . 6(3), 534–543. <https://restikom.nusaputra.ac.id>
- [19] Pratama , AR, Sudrajat , J., & Seliwati . (2024). Tempat Pemantauan Sampah Pintar Berbasis Internet of Things ( IoT ). *Jurnal Restikom : Riset Teknik Informatika dan Komputer* , 6(3), 544–553. <https://restikom.nusaputra.ac.id>
- [20] Muliadi , Imran, A., & Rasul , M. (2020). Pengembangan Tempat Sampah Pintar Menggunakan ESP32. *Jurnal Media Elektrik* , 17(2), 73–79.
- [21] Setiana , ANA (2024). Pemilahan Robot Sampah Berbasis Raspberry Pi Menggunakan Algoritma Jaringan Neural Konvolusional dengan MobileNet ( Skripsi , Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta). Fakultas Sains dan Teknologi .
- [22] Anggara , J., Ryansyah , E., & Dermawan , BA (2025). Implementasi Deteksi Objek dalam Klasifikasi Sampah untuk Menekan Efisiensi Pengelolaan Limbah .*JATI ( Jurnal) Mahasiswa Teknik Informatika* ), 9(3), 4923–4929.
- [23] Anwar, RS, Firmansyah , F., & Asra , T. (2025). Rancang bangun tempat sampah pintar berbasis Internet of Things dengan Komunikasi MQTT. *IMTechno : Jurnal Manajemen dan Teknologi Industri* , 6(2), 70–77. <https://doi.org/10.31294/imtechno.v6i2.9088>
- [24] Fazryansah , MR, Pambudi , AP, Supriyadi , AP, Kurniadi , AR, Saputra , YA, & Latifa , U. (2024). Sistem penggolong sampah organik & non organik menggunakan CNN berbasis framework Flask. *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi* , 10(2), 45–52. <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3.6706>
- [25] Zaman , FF, Astuti , HM, & Hidayat , ART (2025). Klasifikasi sampah organik dan anorganik menggunakan MobileNetV2 pada Perangkat ESP32-CAM. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer* , 13(1), 8–15. <https://doi.org/10.70476/f2rmmm43>
- [26] Sari, IP, & Batubara, IH (2020). Aplikasi Berbasis Teknologi Raspberry Pi Dalam Manajemen Persembahan Siswa Berbasis Pengenalan Wajah . *JMP-DMT* 1 (4), 6
- [27] Sari, IP, Novita , A., Al- Khwarizmi , A., Ramadhani , F., & Satria , A. (2024). Pemanfaatan Internet of Things ( IoT ) pada Bidang Pertanian Menggunakan Arduino UnoR3. *Blend Sains Jurnal Teknik* 2 (4), 337-343

- [28] Husaini , A., & Sari, IP (2023). Konfigurasi dan Implementasi RB750Gr3 sebagai RT-RW Net pada Dusun V Suka Damai Desa Sei Meran . sudo Jurnal Teknik Informatika 2 (4), 151-158
- [29] Sari, IP, Batubara, IH, & Al- Khowarizmi , A. (2021). Sensitivitas Perolehan Kesalahan Dalam Kombinasi Jaringan Fuzzy dan Neural untuk Melakukan Penilaian Siswa pada E-Learning. Jurnal Internasional Ilmu Ekonomi, Teknologi dan Sosial (Injects) 2 (1), 331-338
- [30] Sari, IP, Al- Khowarizmi , A., & Batubara, IH (2021). Analisis Klaster Menggunakan Algoritma K-Means dan Klaster Fuzzy C-Means Untuk Mengelompokkan Kemampuan Siswa Dalam Proses Pembelajaran Daring. Jurnal Ilmu Komputer, Teknologi Informasi dan Teknik Telekomunikasi 2 (1), 139-144
- [31] Erlangga , F., & Sari, IP (2024). Peranan Sistem Untuk Merekomendasikan Produk Skincare Menggunakan Metode NLP. Portal Riset dan Inovasi Sistem Perangkat Lunak 2 (4), 1-11
- [32] Bisono , AT, & Zulherry , A. (2025). Analisis Sentimen Game Genshin Impact Untuk Beri tahu Reaksi dan Harapan Pemain Menggunakan Metode Naïve Bayes. Sudo Jurnal Teknik Informatika 4(2), 183-193
- [33] Zulherry , A., Gunawan , TS, & Wanayumini , W. (2021). Analisis Hasil Pendukung Keputusan Didapatkan Rumah Dinas Perusahaan Menggunakan Metode Analytical Hierarcy Process (AHP) Dan Teknik Untuk Referensi Pesanan Berdasarkan Kesamaan ( Topsis ). Media Informatika Budi Darma 5(2), 695-704