

Klik disini untuk menuliskan kategori naskah

Pengembangan Sistem Smart Rubbish Organik Dan Non Organik Otomasi Berbasis IoT

Nurul Hakiki Lubis¹, Mhd. Basri^{2*}

^{1,2} Fakultas Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi, Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 00 Januari 00
Revisi Akhir: 00 Februari 00
Diterbitkan Online: 00 Maret 00

KATA KUNCI

IoT, pemilahan sampah otomatis, ESP32, sensor jarak, sensor ultrasonik, sampah pintar, sampah organik, sampah non-organik, UMKM, sistem cerdas

KORESPONDENSI

Phone: +6281378209187
E-mail: mhd.basri@umsu.ac.id

A B S T R A K

Permasalahan pengelolaan sampah di Indonesia yang semakin kompleks, khususnya di sektor Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM), membutuhkan solusi yang inovatif dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem pemilahan sampah otomatis berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu membedakan sampah organik dan nonorganik secara realtime. Sistem ini menggunakan kombinasi sensor proximity kapasitif untuk mendeteksi jenis sampah, sensor ultrasonik untuk memantau kapasitas tempat sampah, dan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali. Mekanisme pemilahan dilakukan secara otomatis oleh motor servo berdasarkan data dari sensor, sedangkan informasi status sistem ditampilkan melalui LCD 16x2 dan dikirim melalui notifikasi web dan Telegram. Penelitian dilakukan di lingkungan UMKM dengan pendekatan observasi dan wawancara, serta melalui proses analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, dan evaluasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu meningkatkan efisiensi pemilahan sampah, mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual, dan mendukung pengelolaan sampah yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Sistem ini berkontribusi pada pengembangan teknologi pengelolaan sampah modern yang dapat diadaptasi pada skala kecil hingga menengah.

PENDAHULUAN

Masalah sampah, yang merupakan ancaman besar bagi kesehatan masyarakat dan keberlanjutan lingkungan, merupakan masalah global yang kompleks dan terus berkembang (Bank Dunia, 2021). Jumlah sampah yang dihasilkan di seluruh dunia diperkirakan akan meningkat drastis, dari 2,01 miliar ton pada tahun 2016 menjadi 3,4 miliar ton pada tahun 2050 (Bank Dunia, 2018). Urbanisasi yang pesat dan pertumbuhan penduduk di Indonesia telah memperburuk masalah ini, yang menyebabkan peningkatan volume sampah yang signifikan dan kelebihan kapasitas penanganan (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2023). Akibatnya, terjadi penumpukan sampah di berbagai wilayah, menyebabkan pencemaran lingkungan, penyebaran penyakit, dan kerugian ekonomi yang besar (BPS, 2024). Sistem pengelolaan sampah yang masih konvensional dan terfragmentasi, ditambah dengan rendahnya kesadaran masyarakat, menjadi faktor utama penyebab krisis sampah ini (Supriyanto et al., 2022). Ketidakmampuan dalam mengelola sampah secara efektif dan efisien berdampak negatif pada kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat, memerlukan solusi inovatif dan terintegrasi untuk mengatasinya (WHO, 2020).

Proses pemilahan sampah, baik di tingkat rumah tangga maupun di tempat pembuangan akhir (TPA), masih banyak dilakukan secara manual, yang memiliki keterbatasan dan risiko kesehatan yang signifikan bagi para pemilah (Kusumawardani et al., 2023). Efisiensi pemilahan manual juga rendah, dengan tingkat akurasi yang kurang optimal, mengakibatkan banyak sampah yang seharusnya dapat didaur ulang justru berakhir di TPA (Harto et al., 2019). Kondisi ini juga berdampak pada kesehatan lingkungan dan ekonomi, karena mengurangi potensi daur ulang dan meningkatkan

biaya pengelolaan sampah. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dalam sistem pemilahan sampah untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi risiko kesehatan para pemilah.

Setelah proses pemilahan, sampah kemudian dikumpulkan oleh pengepul sampah, yang berperan penting dalam rantai pengelolaan sampah (Khan et al., 2020). Peran pengepul sampah dalam sistem pengelolaan sampah perlu diperhatikan dan ditingkatkan, karena mereka merupakan bagian integral dalam proses daur ulang dan pengurangan sampah (Wulandari, 2024). Peningkatan kapasitas dan pemberdayaan pengepul sampah dapat meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sistem pengelolaan sampah secara keseluruhan.

Penguraian teknologi sampah yang ada saat ini masih terbatas dan belum mampu mengatasi kompleksitas jenis sampah modern (Nurhayati, 2023). Oleh karena itu, diperlukan pengembangan teknologi pengolahan sampah yang lebih ramah lingkungan dan efisien, yang mampu mengolah berbagai jenis sampah dengan efektif (Febriani et al., 2020). Penelitian dan pengembangan teknologi pengolahan sampah yang inovatif menjadi kunci untuk mengatasi permasalahan sampah yang kompleks ini.

Internet of Things (IoT) telah menjadi salah satu inovasi utama dalam pengelolaan sampah modern. Menurut (Gracias et al., 2023), integrasi teknologi IoT dengan sistem pemilahan sampah otomatis dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah perkotaan hingga 75%. Penerapan teknologi Internet of Things (IoT) menawarkan solusi inovatif untuk mengatasi permasalahan pengelolaan sampah yang kompleks ini (Arifianto et al., 2024). Sistem pengelolaan sampah pintar berbasis IoT dapat meningkatkan efisiensi, mengurangi biaya, dan meminimalisir dampak lingkungan (Anshori & et al., 2022). Otomatisasi proses pengumpulan, pemilahan, dan pengolahan sampah melalui teknologi IoT dapat meningkatkan akurasi pemilahan, mengurangi tenaga kerja mengurangi beban kerja manusia dan mempercepat proses daur ulang (Raharjo & Rinawati, 2019). Sistem ini menggunakan sensor yang terpasang pada tong sampah, truk sampah, dan fasilitas pengolahan sampah untuk melacak dan meningkatkan keseluruhan proses pengelolaan sampah. Sensor-sensor ini kemudian digabungkan ke dalam platform Internet of Things (IoT) (Kusuma, 2021). Dengan demikian, penerapan teknologi IoT diharapkan dapat memberikan solusi praktis dan berkelanjutan untuk permasalahan sampah di Indonesia. Untuk mengatasi permasalahan ini, penulis melakukan studi berjudul "Pengembangan Sistem Pembuangan Sampah Otomatis Cerdas Berbasis IoT untuk Sampah Organik dan Non-Organik."

TINJAUAN PUSTAKA

ESP32

Espressif Systems menciptakan mikrokontroler ESP32, yang memiliki arsitektur dual-core, daya komputasi yang kuat, serta koneksi Bluetooth dan Wi-Fi. Karena konsumsi daya yang rendah dan fleksibilitasnya dalam menangani berbagai sensor dan aktuator, mikrokontroler ini sering digunakan dalam aplikasi Internet of Things (Espressif Systems, 2021).

Sensor Proximity

Ketika suatu objek mendekat, kapasitansi berubah, begitulah cara kerja sensor jarak kapasitif. Sensor ini sering digunakan dalam otomatisasi rumah dan pengaturan industri karena dapat mendeteksi berbagai macam material non-logam (Patil dkk., 2020). Fungsi sensor jarak kapasitif dalam sistem pembuangan sampah cerdas.

Sensor DHT22

Suhu dan kelembapan dapat diukur dengan sensor DHT22. Karena harganya terjangkau dan akurasinya yang memadai untuk aplikasi non-industri, sensor ini sering digunakan dalam proyek Internet of Things (IoT) dan sistem pemantauan lingkungan. Sensor ini memiliki kelengkungan yang lebih besar dibandingkan DHT11. Sensor ini memiliki kemampuan pembacaan kelembapan 100%. Sensor ini stabil dan mudah dihubungkan dengan mikrokontroler seperti ESP32 atau Arduino.

METODOLOGI

Alur Penelitian



Gambar 1. Prosedur Penelitian

1. Analisis Kebutuhan

Pada tahap ini, saya menentukan persyaratan sistem melalui wawancara dan observasi pemangku kepentingan, termasuk pemilik UMKM dan petugas pemulung. Karakteristik utama sistem diidentifikasi berdasarkan hasil analisis.

2. Perancangan Alat

Pada Tahap ini meliputi desain perangkat keras dan perangkat lunak. Komponen utama yang digunakan meliputi ESP32 sebagai mikrokontroler, sensor proximity capacitive untuk mendeteksi sampah, servo motor untuk mekanisme pemindahan, serta sensor ultrasonik untuk memantau kapasitas tempat sampah.

3. Implementasi dan Uji coba

Perangkat yang telah dirancang diuji untuk memastikan setiap komponen berfungsi sesuai spesifikasi. Pengujian meliputi:

- Uji sensor untuk memastikan akurasi deteksi sampah.
- Uji servo untuk memastikan mekanisme pemindahan berjalan dengan baik.
- Uji sistem IoT untuk memastikan konektivitas dan pemantauan real-time.

4. Evaluasi dan Hasil

Setelah pengujian, dilakukan evaluasi berdasarkan data yang dikumpulkan. Kinerja sistem dibandingkan dengan ekspektasi awal. Jika ditemukan kekurangan, dilakukan perbaikan dan pengujian ulang untuk meningkatkan efektivitas sistem.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem Smart Rubbish berbasis Internet of Things (IoT) yang dapat secara otomatis mengidentifikasi dan memisahkan sampah organik dan non-organik adalah hasil dari penelitian ini. Menggunakan sensor jarak kapasitif dan sensor inframerah E18, sistem ini diuji dalam pengaturan MSME dan menunjukkan kemampuannya untuk mengidentifikasi dan mengkategorikan berbagai jenis sampah. Motor servo yang berjalan secara otomatis untuk memindahkan sampah berdasarkan klasifikasinya. Sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk memantau kapasitas tempat sampah. Menampilkan data sistem pada LCD 16x2 secara real-time. Memberi tahu petugas dengan sistem lokal yang dibangun di atas API localhost dan aplikasi Telegram. Efisiensi pemilahan sampah yang tinggi ditunjukkan oleh teknologi ini, yang juga mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual dan menyediakan data lingkungan digital untuk manajemen dan pemantauan yang lebih baik. Sistem Smart Rubbish berbasis Internet of Things (IoT) yang dapat secara otomatis mengidentifikasi dan memisahkan sampah organik dan non-organik adalah hasil dari penelitian ini. Menggunakan sensor jarak kapasitif dan sensor inframerah E18, sistem ini diuji dalam lingkungan UKM dan menunjukkan kemampuannya dalam mengidentifikasi dan mengkategorikan berbagai jenis sampah. Motor servo bekerja secara otomatis untuk memindahkan sampah berdasarkan klasifikasinya. Sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk memantau kapasitas tempat sampah. Sistem ini juga menampilkan data sistem pada LCD 16x2 secara real-time. Sistem ini juga memberi tahu petugas melalui sistem lokal yang dibangun di atas API localhost dan aplikasi Telegram. Teknologi ini menunjukkan efisiensi pemilahan sampah yang tinggi, yang juga mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual dan menyediakan data lingkungan digital untuk manajemen dan pemantauan yang lebih baik.

Hasil Rancangan Alat

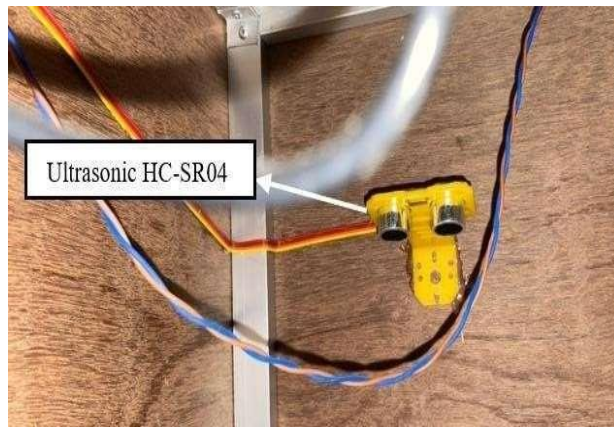
Prototipe alat yang dikembangkan mencakup integrasi perangkat keras dan lunak yang mampu Mengenali sampah berdasarkan sifat materialnya (organik atau non-organik). Menggerakkan katup mekanis melalui motor servo untuk memasukkan sampah ke tempat yang sesuai. Memantau kapasitas penampungan tempat sampah dan menampilkan informasi melalui LCD. Mengirimkan pemberitahuan ke petugas melalui aplikasi Telegram jika tong sudah penuh atau terdapat gangguan sistem.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2 (a),(b),(c). Hasil Perancangan Alat

Pengujian Sensor Proximity Kapasitif dan Sensor E18

Pengujian dilakukan dengan menyimulasikan sampah organik (kulit buah) dan non- organik (plastik). Sensor proximity kapasitif mampu membedakan material berdasarkan sifat dielektriknya. Sensor E18 sukses membaca kehadiran objek di jarak 2–10 cm, memicu sistem deteksi awal sebelum klasifikasi.

Tabel 1. Parameter Deteksi Sampah

| Jenis Sampah | Sensor DHT (Kelembaban/Suhu) | Sensor Proximity | Tampilan LCD | Gerak Servo | Notifikasi Telegram |
|------------------------|------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------|-------------------------------|
| Kertas | 10% / 27°C | N: 25% O: 75% | Organik 25% - Non Organik 75% | Ke Kiri | Sampah Organik Terdeteksi |
| Kaleng Bekas | 0% / 28.5°C | N: 92% O: 8% | Organik 8% - Non Organik 92% | Ke Kanan | Sampah Non-Organik Terdeteksi |
| Sisa Makanan | 31% / 30°C | N: 31% O: 69% | Organik 69% - Non Organik 31% | Ke Kiri | Sampah Organik Terdeteksi |
| Botol Plastik | 30% / 27.5°C | N: 88% O: 12 0% | Organik 12% - Non Organik 88% | Ke Kanan | Sampah Non-Organik Terdeteksi |
| Daun Kering | 10% / 26.5°C | N: 28 % O: 72% | Organik 72% - Non Organik 28% | Ke Kiri | Sampah Organik Terdeteksi |
| Bungkus Makanan | 29% / 28°C | N: 95% O: 0% | Organik 0% - Non Organik 95% | Ke Kanan | Sampah Non-Organik Terdeteksi |
| Kulit Buah | 35% / 29.5°C | N: 35% O: 65% | Organik 65% - Non Organik 35% | Ke Kiri | Sampah Organik Terdeteksi |

Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04

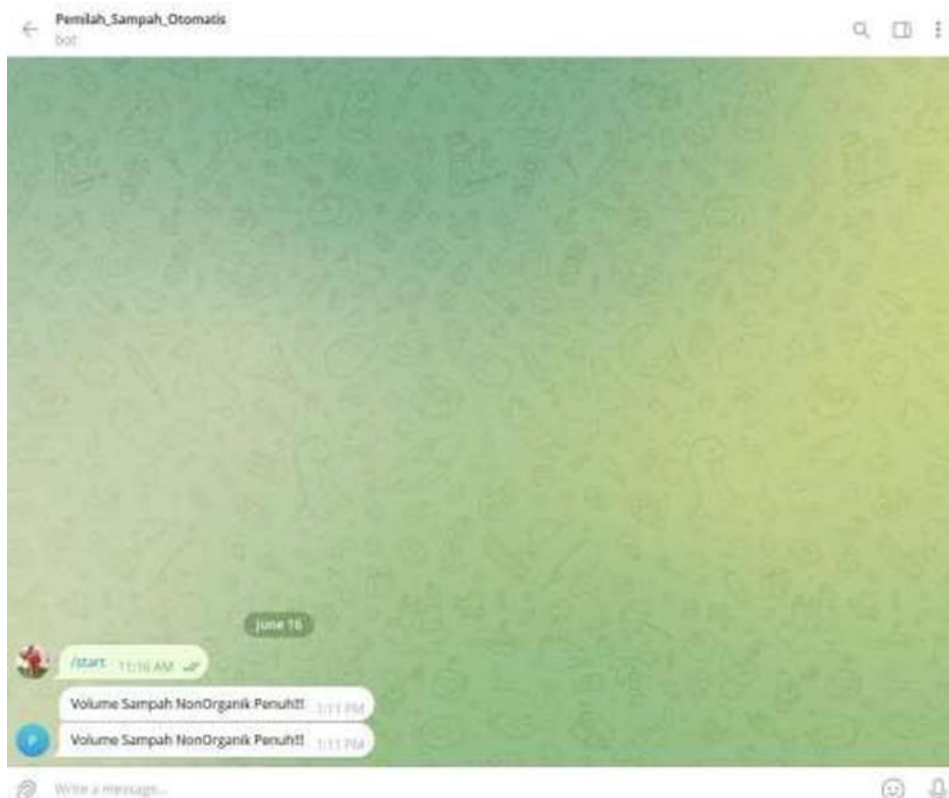
Gambar ini menunjukkan tampilan bagian dalam dari prototipe sistem Smart Rubbish yang dikembangkan. Terlihat dua buah sensor ultrasonik HC- SR04 yang dipasang menghadap ke atas pada sisi kiri dan kanan, masing- masing ditujukan untuk mendeteksi ketinggian sampah organik dan nonorganik. Di tengah terdapat wadah penampung yang dapat berputar atau bergeser dikendalikan oleh motor servo, yang menerima perintah dari mikrokontroler berdasarkan hasil deteksi jenis sampah. Sensor ultrasonik ini bekerja dengan mengukur jarak antara permukaan sampah dengan sensor untuk menentukan status penuh atau belum penuh, lalu mengirimkan hasilnya ke sistem monitoring. Konfigurasi penempatan sensor dan kabel yang rapi di dalam rangka berbahan multipleks dan aluminium ini menunjukkan implementasi sistem sudah memasuki tahap integrasi antara desain fungsional dan struktural. Sensor ini mendeteksi tinggi tumpukan sampah. Dengan ambang batas < 5 cm dari tutup tong, sistem mengirimkan peringatan "Tong Sampah Penuh". Uji validasi dilakukan dengan variasi ketinggian sampah dari 5– 30 cm.



Gambar 3. Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04

Pengujian Aplikasi Telegram

Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui alat atau program sudah hidup atau bekerja sesuai dengan perintah jika alat sudah hidup dan siap untuk mengirimkan perintah kerja. Maka tampilan pada aplikasi selanjutnya jika sensor mendeteksi adanya kebocoran gas berupa “VOLUME SAMPAH NON ORGANIK PENUHN/VOLUME SAMPAH ORGANIK PENUH !!!” yang berarti menyatakan bahwa tong sampah sudah penuh.



Gambar 4. Tampilan Peringatan Notifikasi Telegram

Hasil Pemantauan Ketinggian Tong Sampah Organik dan Nonorganik Secara Real-Time

| No | Waktu | Ketinggian Tong Organik | Ketinggian Tong Nonorganik | Status Tong Organik | Status Tong Nonorganik |
|----|---------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------|------------------------|
| 1 | 2025-05-20 13:26:43 | 30 | 49 | belum penuh | penuh |
| 2 | 2025-05-20 13:32:21 | 30 | 44 | belum penuh | penuh |
| 3 | 2025-05-20 13:38:54 | 35 | 77 | penuh | penuh |
| 4 | 2025-05-20 13:44:46 | 80 | 100 | penuh | penuh |
| 5 | 2025-05-20 13:49:18 | 106 | 100 | penuh | penuh |
| 6 | 2025-05-20 13:51:27 | 30 | 12 | belum penuh | belum penuh |
| 7 | 2025-05-20 13:51:37 | 12 | 13 | belum penuh | belum penuh |
| 8 | 2025-05-20 13:52:01 | 15 | 26 | belum penuh | belum penuh |
| 9 | 2025-05-20 13:52:07 | 25 | 28 | belum penuh | penuh |
| 10 | 2025-05-20 13:52:13 | 30 | 36 | penuh | penuh |
| 11 | 2025-05-20 13:55:26 | 30 | 32 | penuh | penuh |
| 12 | 2025-05-20 13:57:23 | 75 | 30 | penuh | penuh |
| 13 | 2025-05-20 13:57:25 | 25 | 22 | penuh | penuh |
| 14 | 2025-05-20 13:45:08 | 69 | 26 | penuh | penuh |
| 15 | 2025-05-20 14:30:28 | 25 | 32 | penuh | penuh |
| 16 | 2025-05-20 14:30:44 | 15 | 33 | penuh | penuh |
| 17 | 2025-05-20 14:34:16 | 69 | 36 | penuh | penuh |
| 18 | 2025-05-20 14:42:08 | 69 | 36 | penuh | penuh |
| 19 | 2025-05-20 14:45:25 | 69 | 36 | penuh | penuh |
| 20 | 2025-05-20 14:45:43 | 69 | 36 | penuh | penuh |

Gambar 5. Hasil Pemantauan Ketinggian Tong Sampah Organik Dan Nonorganik Secara Real - Time

Gambar ini menampilkan hasil monitoring sistem Smart Rubbish yang telah diuji pada tanggal 20 Mei 2025. Setiap entri mencatat waktu pemantauan, ketinggian sampah dalam tong organik dan nonorganik, serta status tong berdasarkan ambang batas yang ditentukan (≥ 90 cm dianggap penuh). Data ini dihasilkan dari pembacaan sensor ultrasonik HC-SR04 yang terhubung ke mikrokontroler ESP32 dan ditampilkan melalui antarmuka web lokal. Status "penuh" dan "belum penuh" digunakan untuk memicu notifikasi otomatis ke petugas pengelola sampah melalui Telegram.



Gambar 6. Hasil Pemantauan Ketinggian Tong Sampah Organik & Nonorganik secara Real-Time

Grafik ini merupakan visualisasi dari data hasil pembacaan sensor tinggi sampah dalam tong organik dan nonorganik. Garis hijau menunjukkan ketinggian sampah organik, sementara garis biru menunjukkan ketinggian sampah nonorganik. Garis merah horizontal merupakan ambang batas penuh (90 cm). Dari grafik, terlihat bahwa kedua tong mengalami peningkatan kapasitas secara signifikan hingga mencapai kondisi penuh, lalu dilakukan pengosongan yang ditandai dengan penurunan drastis. Grafik ini menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi kondisi tong secara akurat dan real-time, serta mendukung pengambilan keputusan otomatis.

Riwayat Monitoring Tong Sampah Organik & Nonorganik

| Aksi | No | Waktu | Ketinggian Tong Organik | Ketinggian Tong Nonorganik | Status Tong Organik | Status Tong Nonorganik |
|------|----|---------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------|------------------------|
| ... | 1 | 2025-05-20 14:00:00 | 85 | 90 | Belum Penuh | Belum Penuh |
| ... | 2 | 2025-05-20 14:05:00 | 85 | 90 | Belum Penuh | Belum Penuh |
| ... | 3 | 2025-05-20 14:10:00 | 85 | 90 | Belum Penuh | Belum Penuh |
| ... | 4 | 2025-05-20 14:15:00 | 85 | 90 | Belum Penuh | Belum Penuh |
| ... | 5 | 2025-05-20 14:20:00 | 85 | 90 | Belum Penuh | Belum Penuh |
| ... | 6 | 2025-05-20 14:25:00 | 85 | 90 | Belum Penuh | Belum Penuh |
| ... | 7 | 2025-05-20 14:30:00 | 85 | 90 | Belum Penuh | Belum Penuh |

Gambar 7. Riwayat Monitoring Tong Sampah Organik Dan Non Organik

Tabel ini merupakan hasil akuisisi data secara real-time dari sistem Smart Rubbish Organik dan Nonorganik Berbasis IoT. Data diambil pada tanggal 20 Mei 2025 dan menampilkan:

- Waktu: Waktu pencatatan saat sensor melakukan pemantauan.
- Ketinggian Tong Organik & Nonorganik (dalam cm): Merupakan hasil pengukuran dari sensor ultrasonik HC- SR04 untuk masing- masing jenis tong.
- Status Tong: Keterangan apakah tong sudah mencapai kapasitas penuh (≥ 90 cm) atau belum, berdasarkan logika pemrograman pada mikrokontroler ESP32.

Dari data tersebut terlihat sistem berhasil mendeteksi perubahan kapasitas tong dan mengklasifikasikan statusnya secara otomatis. Hal ini menunjukkan bahwa sistem telah berfungsi sesuai rancangan, yakni memantau level sampah dan memberi notifikasi saat tong penuh.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berikut ini dapat disimpulkan dari penelitian tentang "Pengembangan Sistem Otomasi Organik dan Sampah Cerdas Berbasis IoT: Penelitian berhasil merancang dan mengembangkan sistem smart rubbish otomatis berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu memilah sampah organik dan non- organik secara real-time, yang terhubung dengan layar LCD dan aplikasi notifikasi (Telegram dan Web Host) untuk memberikan informasi kondisi tempat sampah kepada pengguna atau pengepul. Berdasarkan hasil pengujian lapangan di lingkungan UMKM, sistem mampu mengurangi ketergantungan terhadap tenaga kerja manusia dalam proses pemilahan, sekaligus meningkatkan efisiensi operasional. Alat bekerja secara otomatis dalam mendeteksi jenis sampah dan mengarahkannya ke wadah yang sesuai, serta mampu memantau kapasitas tong secara dinamis dan mengirimkan peringatan saat tong sudah penuh. Sistem mampu menjalankan pemilahan sampah secara otomatis tanpa bantuan tenaga manusia, sehingga sangat membantu dalam mengurangi pekerjaan manual yang berisiko tinggi terhadap kesehatan, terutama pada lingkungan UMKM yang menghasilkan sampah setiap hari dan Meningkatkan efisiensi kecepatan dalam memilah sampah. Mengurangi risiko tercampurnya sampah organik dan non-organik. Membantu UMKM dalam menerapkan pengelolaan sampah yang lebih bersih, rapi, dan modern. Dengan adanya sistem ini, diharapkan pengelolaan sampah di lingkungan kecil seperti UMKM bisa menjadi lebih teratur, dan ramah lingkungan. Selain itu, sistem ini juga bisa dikembangkan lebih lanjut agar bisa digunakan di tempat lain yang menghasilkan banyak sampah seperti sekolah, pasar, dan rumah tangga.

DAFTAR PUSTAKA

Referensi Cetak:

Buku

- Indah Purnama Sari. Algoritma dan Pemrograman. Medan: UMSU Press, 2023, pp. 290.
- Indah Purnama Sari. Buku Ajar Pemrograman Internet Dasar. Medan: UMSU Press, 2022, pp. 300.

- [3] Indah Purnama Sari. Buku Ajar Rekayasa Perangkat Lunak. Medan: UMSU Press, 2021, pp. 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, pp.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, pp.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, pp.158
- [7] Muharman Lubis Ilham Firman Ashari, Debby Erce Sondakh, Rahmawati Rolly Junius Lontaan, Mustarum Musaruddin Indah Purnama Sari, Muh. Nadzirin Anshari Nur, Hanalde Andre Muh. Rais, Janner Simarmata. Internet of Things (IoT) Dan Multimedia: Integrasi Dan Aplikasi. Medan: Yayasan Kita Menulis, 2024, pp.182

Jurnal

- [8] Anshori, A. S., & et al. (2022). Accuracy of Compensation and Competency Improvement in Improving Performance, Knowledge Sharing as an Intervening Variable. *Journal of Management*, 12(3), 2201–2209.
- [9] Gracias, J. S., Parnell, G. S., Specking, E., & Pohl, E. A. (2023). smart cities Smart Cities — A Structured Literature Review. 1719–1743.
- [10] Harto, D., Pratiwi, S. R., Utomo, M. N., & Rahmawati, M. (2019). Penerapan Internet Marketing Dalam Meningkatkan Pendapatan Pada UMKM. *JPPM (Jurnal Pengabdian Dan Pemberdayaan Masyarakat)*, 3(1), 39. <https://doi.org/10.30595/jppm.v3i1.3033>
- [11] Khan, N., Ali, S., Zandi, P., Mehmood, A., Ullah, S., Ikram, M., Ismail, Shahid, M. A., & Babar, A. (2020). Role of sugars, amino acids and organic acids in improving plant abiotic stress tolerance. *Pakistan Journal of Botany*, 52(2), 355–363. [https://doi.org/10.30848/PJB2020-2\(24\)](https://doi.org/10.30848/PJB2020-2(24))
- [12] Sari, I.P., Al-Khowarizmi, A.K., Apdilah, D., Manurung, A.A., & Basri, M. (2023). Perancangan Sistem Pengaturan Suhu Ruangan Otomatis Berbasis Hardware Mikrokontroler Berbasis AVR. *sudo Jurnal Teknik Informatika 2 (3)*, 131-142
- [13] Wardani., S, & Dewantoro., RW. (2024). Internet of Things: Home Security System based on Raspberry Pi and Telegram Messenger. *Indonesian Journal of Applied Technology, Computer and Science 1 (1)*, 7-13
- [14] Sari, I.P., Al-Khowarizmi, A.K., Hariani, P.P., Perdana, A., & Manurung, A.A. (2023). Implementation And Design of Security System On Motorcycle Vehicles Using Raspberry Pi3-Based GPS Tracker And Facedetection. *Sinkron: jurnal dan penelitian teknik informatika 8 (3)*, 2003-2007
- [15] Kusumawardani, K. A., Widyanto, H. A., & Tambunan, J. E. G. (2023). The role of gamification, social, hedonic and utilitarian values on e-commerce adoption. *Spanish Journal of Marketing - ESIC*, 27(2), 158–177. <https://doi.org/10.1108/SJME-09-2022-0188>
- [16] Raharjo, T. W., & Rinawati, H. S. (2019). Penguatan Strategi Pemasaran dan Daya Saing UMKM Berbasis Kemitraan Desa Wisata. [http://eprints.ubhara.ac.id/1489/1/Buku Penguatan](http://eprints.ubhara.ac.id/1489/1/Buku_Penguatan)
- [17] Strategi Pemasaran %28Triweda%29.pdf
- [18] Harto, D., Pratiwi, S. R., Utomo, M. N., & Rahmawati, M. (2019). Penerapan Internet Marketing dalam Meningkatkan Pendapatan pada UMKM. *JPPM (Jurnal Pengabdian Dan Pemberdayaan Masyarakat)*, 3(1), 39. <https://doi.org/10.30595/jppm.v3i1.3033>
- [19] Sari, I.P., Basri, M., Ramadhani, F., & Manurung, A.A. (2023). Penerapan Palang Pintu Otomatis Jarak Jauh Berbasis RFID di Perumahan. *Blend Sains Jurnal Teknik 2 (1)*, 16-25
- [20] Fauzi, A., Nugroho, A., & Rahman, H. (2022). Optimasi Proses Pengangkutan Sampah Berbasis IoT: Pendekatan Machine Learning dan Data Sensor. *Indonesian Journal of Smart Technology*, 10(1), 34–49. Retrieved from <https://smarttechjournal.id/iot-waste-2022>
- [21] Raharjo, I. (2019). Penerapan IoT dalam Manajemen Sampah Perkotaan: Studi Kasus di Jakarta. *Jurnal Teknologi Kota*, 14(1), 23–37. Retrieved from <https://jtk.id/iot-jakarta-waste>
- [22] Sari, I.P., & Batubara, I.H. (2020). Aplikasi Berbasis Teknologi Raspberry Pi Dalam Manajemen Kehadiran Siswa Berbasis Pengenalan Wajah. *JMP-DMT 1 (4)*, 6
- [23] Smart Cities Journal. (2023). Improving Urban Waste Management Using IoT- based Smart Bins: A Case Study. *Smart Cities Journal*, 6(4), 102–115. Retrieved from <https://smartcitiesjournal.org/iot-waste-2023>
- [24] Suhendra, R. (2022). Analisis Efektivitas Implementasi IoT dalam Pengelolaan Sampah Berbasis Kota Cerdas. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 8(3), 89–101. Retrieved from <https://jtl.environment.id/iot-smartcity>

- [25] Supriyanto, R., Sari, N., & Wijaya, B. (2022). Faktor Penyebab Krisis Sampah di Indonesia dan Strategi Penanganannya. *Jurnal Kebijakan Publik*, 11(2), 33–48. Retrieved from <https://jkp.org/crisis-waste-id>
- [26] Wulandari, M. (2024). Peran Pengepul Sampah dalam Sistem Pengelolaan Sampah Berkelanjutan. *Jurnal Ekonomi Hijau*, 13(1), 57–69. Retrieved from <https://jeh.org/green-waste-management>
- [27] Sari, I.P., Batubara, I.H., & Basri, M. (2022). Implementasi Internet of Things Berbasis Website dalam Pemesanan Jasa Rumah Service Teknisi Komputer dan Jaringan Komputer. *Blend Sains Jurnal Teknik 1* (2), 157-163
- [28] Matondang, M.H.A., Asadel, A., Fauzan, D., & Setiawan, A.R. (2024). Smart Helmet for Motorcycle Safety Internet of Things Based. *Tsabit Journal of Computer Science 1* (1), 35-39
- [29] Sari, I.P., Novita, A., Al-Khowarizmi, 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
- [30] Husaini, A., & Sari, I.P. (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
- [31] World Bank. (2018). *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050*. Washington, DC: The World Bank. <https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/>
- [32] AT Bisono, A Zulherry (2025). Analisis Sentimen Game Genshin Impact untuk Mengetahui Reaksi dan Harapan Pemain Menggunakan Metode Naïve Bayes. *sudo Jurnal Teknik Informatika 4* (2), 183-193
- [33] M Basri, A Zulherry (2025). Analysis of the Impact of Gambling and Online Loans in the Perspective of Informatics, Islam, and Kemuhammadiyah. *AR-RASYID: Jurnal Pendidikan Agama Islam 5* (1)
- [34] A Ichsan, A Zulherry, TA Lubis, BAZ Shahnaz (2025). Utilization of Mobile Applications to Speed Up The Search for Android-Based Index Places. *IJATCoS: Indonesian Journal of Applied Technology, Computer and Science 2* (1)
- [35] A Zulherry (2023) Decision making for network security with simple additive weighting method. *Journal of Intelligent Decision Support System (IDSS) 6* (3), 155-159
- [36] A Zulherry, FA Siregar, ZA Gultom, EA Raihan (2023). Optimalisasi Website untuk Monitoring Jaringan OPD di Dinas Kominfo Kota Medan dengan Metode Triangulasi. *Bulletin of Computer Science Research 3* (5), 357-363
- [37] A Zulherry, TS Gunawan, W Wanayumini (2021). Analisis Hasil Pendukung Keputusan Mendapatkan Rumah Dinas Perusahaan Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) dan Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS). *JURNAL MEDIA INFORMATIKA BUDIDARMA*, 2021
- [38] World Bank. (2021). *Global Waste Management Report: Trends and Challenges in Urban Waste Disposal*. Washington, DC: The World Bank. Retrieved from <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/20212>
- [39] WHO. (2020). *Health Impacts of Poor Waste Management: A Global Perspective*. Geneva: World Health Organization. Retrieved from <https://www.who.int/publications/waste-health-impact>