

Implementasi Sistem Tong Sampah Otomatis Menggunakan NodeMCU ESP8266 Berbasis mobile

Implementation of Automatic Trash Can System Using NodeMCU ESP8266 Mobile-based

Denice^{1*}, Dhanny Rukmana Manday²

Program Studi Teknik Informatika, Universitas Prima Indonesia, Indonesia¹²
213303030457@unprimdn.ac.id¹

Abstrak

Manajemen sampah yang efisien menjadi kunci penting dalam menjaga kebersihan dan kesehatan lingkungan perkotaan. Penelitian ini mengusulkan sistem inovatif berupa tong sampah otomatis yang dapat dikendalikan arahnya menggunakan NodeMCU ESP8266. Implementasi Sistem Tong Sampah Otomatis Menggunakan NodeMCU ESP8266 sebagai pengendali arah tong sampah bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pengumpulan sampah, mengurangi pencemaran lingkungan, meningkatkan kesadaran masyarakat dalam membuang sampah secara bertanggung jawab, dan mengoptimalkan ruang. NodeMCU ESP8266 berfungsi sebagai otak dari sistem ini, menghubungkan berbagai komponen seperti sensor jarak untuk pengendali arah. Aplikasi mobile menjadi antarmuka pengguna yang memungkinkan monitoring real-time terhadap posisi tong sampah dan mengendalikan posisi tong sampah secara manual, serta motor servo untuk membuka dan menutup tong sampah secara otomatis. Implementasi ini diharapkan dapat mengurangi masalah penumpukan sampah dan meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan limbah di lingkungan perkotaan.

Kata kunci: aplikasi mobile; Internet of Things (IoT); NodeMCU ESP8266; pengelolaan sampah; tong sampah otomatis.

Abstract

*Efficient waste management is an important key in maintaining a clean and healthy urban environment. This research proposes an innovative system in the form of automatic trash cans that can be controlled using NodeMCU ESP8266. The implementation of the Automatic Trash Can System Using NodeMCU ESP8266 as a garbage can direction controller aims to increase the efficiency of garbage collection, reduce environmental pollution, increase public awareness in disposing of waste responsibly, and optimize space. NodeMCU ESP8266 serves as the brain of this system, connecting various components such as proximity sensors for direction control. The mobile application becomes the user interface that allows real-time monitoring of the position of the garbage cans and manually controlling the position of the garbage cans, as well as servo motors to open and close the garbage cans automatically. This implementation is expected to reduce the problem of garbage accumulation and increase efficiency in waste management in urban environments*Keywords: , mobile application; Internet of Things (IoT); NodeMCU ESP8266; waste management; , automatic trash can.

Naskah diterima dd mm yyyy; direvisi dd mm yyyy; dipublikasi dd mm yyyy.
JATI is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



1. Pendahuluan

salah satu permasalahan urban yang selalu penting untuk dibahas adalah sampah. Membahas sampah berarti juga membahas tentang keberlangsungan hidup manusia di bumi. Diperkirakan bahwa 12 juta ton jumlah volume sampah kabupaten/kota yang tidak terkelola di Indonesia [1], [2]. Seiring waktu, jumlah sampah global terus meningkat sejalan dengan pertumbuhan populasi. Di Indonesia, banyak kota besar menghadapi masalah serius terkait sampah. Sampah, yang didefinisikan sebagai bahan padat yang tidak lagi digunakan dan dianggap tidak berharga, dulunya tidak menjadi masalah besar dalam kehidupan manusia. Namun, dengan berkembangnya zaman dan pertambahan populasi, sampah kini bisa ditemukan di mana-mana, terutama di area urban. Hal ini mengakibatkan penumpukan sampah yang tidak terkelola dengan baik di daerah padat penduduk, menjadi isu yang serius [3], [4]. Pembuangan sampah sembarangan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, dan kurangnya sistem pengelolaan yang efektif sering membuat orang enggan membuang sampah pada tempatnya [5]. Oleh karena itu, penting untuk mengimplementasikan sistem pengelolaan sampah yang efisien dan meningkatkan kesadaran masyarakat untuk membuang sampah secara bertanggung jawab. Salah satu kota di Indonesia yang menghadapi tantangan dalam pengelolaan sampah adalah Kota Surabaya. Peningkatan jumlah penduduk yang signifikan menyebabkan volume produksi sampah harian mencapai rata-rata sekitar 50 ton [6] [7]. Salah satu tantangan utama dalam pengelolaan sampah di area urban adalah keragaman jenis sampah yang mempersulit klasifikasi dan pengolahan secara efektif [8]. Keterbatasan sarana dan prasarana pengelolaan sampah di banyak kota masih menjadi masalah, menyebabkan sampah tidak terkelola dengan baik dan berpotensi menimbulkan polusi udara serta berbagai

penyakit[9]. Sampah yang tidak tertangani dengan baik dapat mencemari udara, air, dan tanah. Selain itu, kurangnya kesadaran masyarakat seringkali menyebabkan sampah menumpuk di tempat umum[10]. Keterbatasan sumber daya manusia dan teknologi juga dapat memengaruhi efisiensi pengelolaan sampah[11].

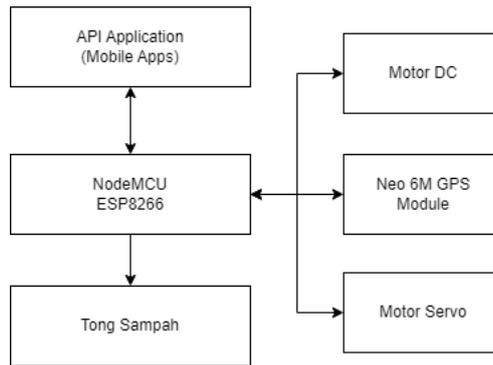
Salah satu solusi yang menjanjikan adalah implementasi sistem tong sampah otomatis yang memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT)[12], [13]. Dengan menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 sebagai pengendali, Sistem ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dalam pengumpulan sampah dengan menggunakan NodeMCU ESP8266 sebagai pengendali arah tong sampah[14]. NodeMCU ESP8266 adalah mikrokontroler yang dapat terhubung ke internet dan digunakan sebagai pengendali arah tong sampah. Mikrokontroler ini dapat diprogram untuk mengendalikan aktuator motor servo yang membuka dan menutup tong sampah secara otomatis berdasarkan perintah pengguna melalui aplikasi mobile, Motor servo digunakan untuk membuka dan menutup tong sampah secara otomatis. Motor servo dapat dikendalikan oleh mikrokontroler NodeMCU ESP8266 berdasarkan perintah yang diterima dari aplikasi mobile. Tujuan utama penelitian ini adalah mengembangkan sistem otomatis tempat sampah yang dapat diakses dan dikendalikan secara remote menggunakan NodeMCU ESP8266 sebagai pengendali arah tong sampah. Dengan menggunakan motor servo yang membuka dan menutup tong sampah secara otomatis, sistem ini dapat mengurangi polusi udara dan lingkungan akibat penumpukan sampah yang tidak terkelola.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi system tong sampah otomatis. Sebagai contoh, Penelitian oleh Sukarjadi [15] Dalam Smart Trash Bin, sensor HC-SR04 yang terhubung dengan papan Arduino berfungsi untuk mendeteksi jarak. Motor servo digunakan untuk mengatur mekanisme buka dan tutup tempat sampah, sementara buzzer dan LED berfungsi sebagai pemberitahuan jika tempat sampah sudah penuh. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Muntasiroh [16] Mengembangkan Smart Trash Can yang mampu membuka dan menutup tempat sampah secara otomatis menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 dan motor servo. Sistem ini dilengkapi dengan baterai yang diisi ulang oleh panel surya, serta mendukung komunikasi IoT untuk penggunaan baik di dalam maupun di luar ruangan. Penelitian yang dilakukan oleh Perdana[17] Merancang sistem kontrol untuk tempat sampah otomatis dengan menggunakan Arduino dan sensor ultrasonik. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi jarak objek dan secara otomatis membuka serta menutup tempat sampah. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem beroperasi dengan baik. penelitian yang dilakukan oleh muhammad dandy [18] Ketika sensor jarak mendeteksi adanya aktivitas dekat tempat sampah, seperti tangan seseorang dalam jarak kurang dari 50 cm, motor servo akan membuka tutup tempat sampah selama 5 detik. Namun, jika tidak ada aktivitas di sekitar tempat sampah, motor servo hanya akan membuka tutup tempat sampah selama 3 detik sebelum menutupnya kembali.

Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan sistem tempat sampah otomatis yang dapat diakses dan dikendalikan dari jarak jauh menggunakan NodeMCU ESP8266 sebagai pengatur arah tong sampah[19]. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah serta mengurangi polusi udara dan lingkungan yang disebabkan oleh penumpukan sampah yang tidak tertangani[20] Penelitian ini memanfaatkan teknologi IoT dan aplikasi mobile Android untuk secara otomatis mengendalikan arah tong sampah. Dengan menggunakan smartphone, pengguna dapat mengatur tong sampah kapan saja[21]. Sistem ini diintegrasikan dengan aplikasi mobile yang dikembangkan menggunakan framework Flutter[22], memungkinkan pengendalian tong sampah langsung dari ponsel pengguna, sehingga sistem menjadi lebih mudah dan intuitif digunakan. Penelitian ini juga memperhatikan aspek keamanan dengan menerapkan metode autentikasi dan enkripsi data. Selain itu, sistem dirancang untuk beroperasi dengan stabil dan efisien, dan telah melalui pengujian menyeluruh untuk memastikan kinerjanya yang optimal.

2. Metode Penelitian

Perancangan perangkat keras tersebut meliputi pengontrolan tong sampah dan pengontrolan mobil RC. Kedua dari pengontrolan tersebut membutuhkan koneksi internet dan jaringan yang sama untuk menghubungkan komunikasi antara mikrokontroler, aplikasi android (Flutter) dan modul WiFi ESP8266. Pengontrolan tong sampah tersebut bersifat otomatis, setelah mobil telah sampai ke titik tujuannya, tong akan terbuka dengan sendirinya.



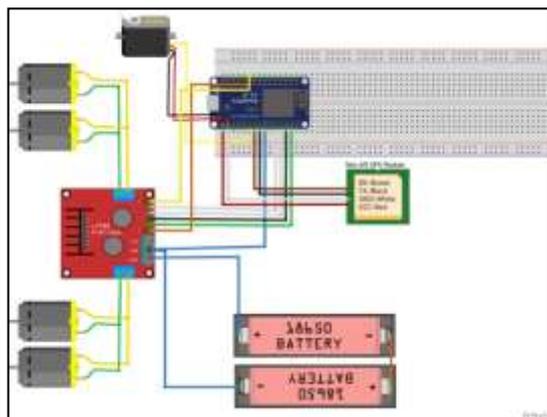
Gambar 1 Diagram Blok Perancangan Perangkat Keras

Pada Gambar 1 menunjukkan gambaran umum dari keseluruhan sistem kontrol semua perangkat melalui aplikasi android menggunakan API (koneksi internet). Bagian-bagian dari blok diagram tersebut adalah sebagai berikut :

- API Application (Mobile Apps), sebagai pengendalian dari semua module, beserta tong sampahnya. Proses motor dapat bergerak dimulai dari aplikasi memberikan permintaan (*request*) ke NodeMCU dengan parameter lokasi berupa latitude dan longitude, dan mengirimkan ke Google Maps API untuk mendapatkan jarak.
- NodeMCU ESP8266, digunakan sebagai alat komunikasi untuk keseluruhan module, beserta memberikan komunikasi juga ke aplikasi mobile. Seluruh pergerakan dikendalikan melalui perangkat ini.
- Motor DC, digunakan sebagai penggerak mobil untuk berjalan ke titik yang sudah dikunci dari perangkat yang terkoneksi dengan NodeMCU dan dikirimkan ke NodeMCU.
- Neo 6M GPS Module, digunakan sebagai penangkap titik lokasi mobil tersebut. Agar mendapatkan jarak untuk menuju titik tujuan melalui perangkat yang terkoneksi.
- Motor Servo, digunakan sebagai pembuka dari tong sampah tersebut. Servo akan bergerak setelah mobil telah sampai di tujuan.
- Tong sampah adalah keluaran pengujian pada penelitian ini.

B. Rangkaian Sistem

Pemilihan perangkat keras untuk mikrokontroler sangatlah penting. Seperti sensor, mikrokontroler, dan perangkat lainnya. Ini juga berguna untuk mendukung kinerja dari sistem yang akan dibuat. Berikut gambar rangkaian sistem yang akan disajikan di Gambar 2



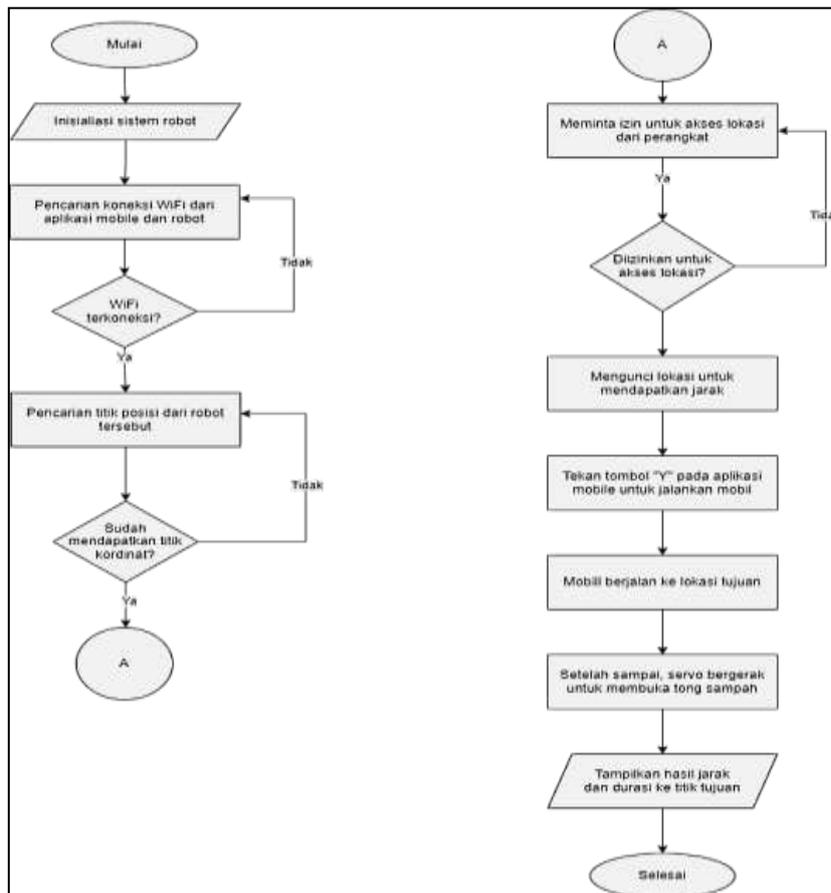
Gambar 2 Gambar Rangkaian

Dalam perancangan robot ini menggunakan NodeMCU ESP8266 sebagai core atau dasar utamanya & otak dasarnya. Perancangan perangkat keras ini dilakukan untuk menjadikan kerangka robot mobile yang simple, tetapi minimalis. Semua perangkat keras terhubung melalui pin-pin pada NodeMCU ESP8266, Neo 6M GPS, Motor Driver L298N, Baterai 18650 dan Servo Motor. Sedangkan untuk 4DC Motor terhubung dengan Motor Driver L298N agar dapat menggerakkan roda motor, serta menjadi output dari apa yang dikirim ke

dalam NodeMCU ESP8266 untuk diproses. NodeMCU ESP8266 akan menerima input dari aplikasi mobile dalam keadaan tersedia dan sudah terkoneksi dengan NodeMCU ESP8266.

C. Diagram Alir

Sistem tersebut dimulai pada saat aplikasi mobile sudah terkoneksi dengan internet (ESP-5F00ED). Setelah itu menunggu sampai Neo 6M GPS mendapatkan titik kordinatnya dengan cara menempatkan mobil tersebut di luar ruangan. Setelah perangkat tersebut sudah mendapatkan titiknya, maka akan mengeluarkan lampu berwarna merah yang menandakan sudah mendapatkan titiknya. Setelah itu, aplikasi mobile akan meminta untuk mendapatkan akses lokasi dari perangkat yang terkoneksi. Setelah itu, user akan mengunci lokasi tersebut agar mobil bisa berjalan ke titik tujuan dan tidak berpindah pindah. Setelah mobil tersebut sudah sampai di titik tujuan, maka servo akan membuka tong sampah tersebut untuk kita membuang sampah.



Gambar 3 Diagram Alir

Berikut adalah gambar 3, yaitu diagram alir dari robot agar dapat dijalankan. Disini dijelaskan bahwasannya robot dapat berjalan seiring berdasarkan variable yang sudah lengkap dan sudah diterima oleh NodeMCU. Jika variable belum diterima dari NodeMCU, maka akan diberikan response "Invalid", yang artinya mobil tidak dapat dijalankan. Proses mendapatkan jarak dan durasi juga membutuhkan API dari Google Maps agar dapat menjalankan mobil tersebut.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil yang ditampilkan berupa table, sebagai monitoring jarak antara mobil dan perangkat yang terkoneksi. Sedangkan untuk gambar, memberikan indikator untuk mengecek konektivitas antara perangkat dengan NodeMCU ESP8266, serta pengecekan bahwasannya GPS pada Neo 6M sudah mendapatkan titik kordinatnya. Serta pengontrolan untuk mengunci lokasi dan memulai menjalankan mobil sesuai jaraknya.

A. Koneksi Pada Robot

No.	Jarak Robot dengan Android (m)	Keterangan (Terkoneksi/Tidak Terkoneksi)
1	3	Terkoneksi
2	5	Terkoneksi
3	8	Terkoneksi
4	10	Terkoneksi
5	15	Tidak Terkoneksi
6	20	Tidak Terkoneksi
7	25	Tidak Terkoneksi
8	30	Tidak Terkoneksi

Table 2 Pengujian Komunikasi antara Robot dengan Aplikasi Android

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa jarak maksimal koneksi robot dan android adalah pada jarak 10m. Sedangkan pada jarak lebih dari 15m yaitu 20 m & 30 m, robot dan android sudah tidak dapat terkoneksi lagi. Jarak komunikasi antara robot dan android dipengaruhi oleh adanya Internet of Things yang memiliki konektivitas internet yang bersumber dari WiFi yang menghubungkan robot dan android.

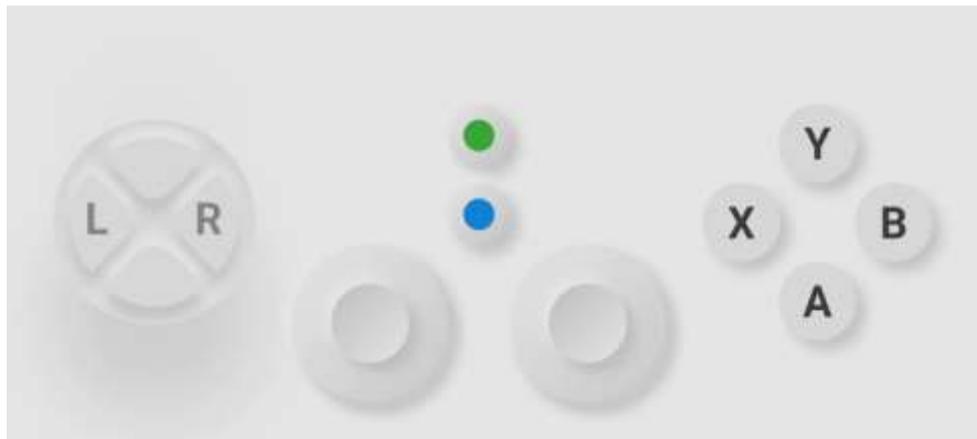
B. Pengujian GPS Neo 6M Ublox

Kondisi (cuaca, waktu perubahan suhu dan angin)	Jarak (meter)	Waktu yang dibutuhkan (menit)
Malam hari	1-5 meter	5 menit 43 detik
Siang hari	1-5 meter	Rata-rata 5-10 menit
Sore Hari	1-5 meter	2-3 menit
Ruangan tertutup	1-5 meter	Tidak mendapatkan titik kordinat

Table 3 Pengujian GPS Neo 6M Ublox untuk mendapatkan titik kordinat

Pada table 3 dijelaskan bahwa untuk melakukan pengujian terhadap GPS Neo6M tidak bisa dilakukan di ruangan tertutup. Untuk mendapatkan titik kordinat yaitu harus berada di luar ruangan. Dikarenakan, antenna yang terdapat pada Neo 6M langsung melakukan komunikasi dengan satelit. Maka dari itu, posisi module GPS wajib berada diluar ruangan. Waktu yang dibutuhkan bisa berubah ubah, tergantung dari kondisi arah angin, cuaca, dan juga posisi lokasi tempat.

A. Aplikasi Android



Gambar 4 Aplikasi Android untuk pengontrol Robot

Untuk aplikasi tersebut, dibangun menggunakan Flutter 3.16.7 yang sudah support null safety. Ada beberapa indikator dan ada beberapa yang non fungsional. Berikut adalah penjelasan tombol atau indikator yang berfungsi:

Gambar	Keterangan
	Indikator 1 adalah penanda bahwasannya aplikasi android sudah terhubung dengan robot dan siap untuk dieksekusi
	Sedangkan untuk indikator 2 sebagai penanda bahwasannya GPS dari Neo 6M sudah valid dan siap untuk dijalankan
	Fungsi dari tombol “L” adalah Lock Location (mengunci lokasi) agar nantinya mobil dapat dijalankan sesuai titiknya
	Sedangkan fungsi dari tombol “R” adalah Run, yang mengeksekusi mobil untuk berjalan ke titik tujuan yang sudah di lokasikan.
	Tombol “Y” adalah tombol untuk melakukan reconnecting ke NodeMCU ESP8266

	Tombol “B” merupakan tombol untuk melakukan pengecekan apakah GPS sudah valid atau belum
---	--

Table 4 penjelasan tombol atau indikator yang berfungsi

Sedangkan untuk tombol lainnya masih bersifat non-fungsional. Dan mungkin akan dilakukan penerapan jika dibutuhkan.

Analisis Hasil



Gambar 5. Tampilan hardware sistem



Gambar 6. Neo 6M GPS sudah mendapatkan titik kordinat nya



Gambar 7. Mobil sudah mendapatkan titik tujuan dan mulai berjalan ke titik tujuan



Gambar 8. Jika mobil sudah sampai ke titik lokasi, tong sampah akan otomatis terbuka selama 5 detik, setelah itu tong sampah akan tertutup kembali

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan prototipe sistem tong sampah otomatis berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan NodeMCU ESP8266 yang dapat dikendalikan melalui aplikasi mobile. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah dan mendukung konsep Smart City dengan menawarkan solusi otomatisasi yang mudah digunakan dan efisien dalam mengelola limbah. Tong sampah otomatis ini dilengkapi dengan beberapa komponen penting, seperti NodeMCU ESP8266 sebagai mikrokontroler pengendali arah tong sampah yang mudah digunakan dan mengarahkan tong sampah tersebut servo motor yang secara otomatis membuka dan menutup tutup tong sampah, modul GPS untuk memberikan koordinat lokasi tong, serta aplikasi mobile berbasis Flutter yang memungkinkan pengguna untuk memantau dan mengoperasikan tong sampah dari jarak jauh.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini bekerja dengan baik dalam mendeteksi level sampah dan secara otomatis membuka tutup tong saat diperlukan. Aplikasi mobile yang dikembangkan memberikan kemudahan bagi pengguna untuk mengontrol dan memantau tong sampah melalui perangkat mereka, selama terhubung ke jaringan yang sama. Penggunaan teknologi IoT dalam sistem ini juga membuka peluang untuk pengembangan lebih lanjut dalam pengelolaan sampah cerdas di lingkungan perkotaan.

Implikasi dari penelitian ini sangat penting, terutama terkait dengan integrasi sistem ini ke dalam jaringan yang lebih luas di sebuah kota pintar. Implementasi sistem ini dalam konteks Smart City tidak hanya memungkinkan pengelolaan limbah yang lebih efisien, tetapi juga dapat berkontribusi pada pengurangan dampak lingkungan dan meningkatkan efisiensi operasional dalam pengelolaan sampah. Dengan mengurangi intervensi manusia dan memaksimalkan penggunaan teknologi otomatisasi, sistem ini dapat memainkan peran kunci dalam menciptakan lingkungan perkotaan yang lebih bersih dan sehat. Selain itu, potensi pengurangan risiko kesehatan juga meningkat karena sistem ini mampu mengelola sampah dengan lebih cepat dan higienis, sehingga mencegah penumpukan sampah yang bisa menjadi sumber penyakit. Penggunaan aplikasi mobile berbasis Flutter juga memberikan fleksibilitas dan kenyamanan yang signifikan, memungkinkan pengguna untuk menerima notifikasi atau mengambil tindakan saat tong sampah mencapai kapasitas maksimum, atau bahkan secara otomatis memanggil layanan pengangkut sampah. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya mendukung kebersihan lingkungan, tetapi juga meningkatkan kualitas hidup masyarakat di wilayah perkotaan.

Meskipun demikian, penelitian ini juga mengidentifikasi beberapa keterbatasan. Salah satu keterbatasan utama adalah akurasi sensor ultrasonik dalam berbagai kondisi lingkungan. Misalnya, cuaca ekstrem atau keberadaan material yang tidak padat di dalam tong sampah dapat memengaruhi kinerja sensor, yang mungkin mengakibatkan deteksi yang kurang akurat. Selain itu, konektivitas internet merupakan faktor penting yang mempengaruhi operasional sistem ini. Jika perangkat tidak terhubung dengan jaringan yang stabil, fungsionalitas aplikasi mobile bisa terganggu, sehingga sistem tidak dapat berfungsi secara optimal. Oleh karena itu, untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk meningkatkan akurasi sensor dengan menambahkan algoritma pemrosesan data yang lebih canggih atau menggunakan sensor yang lebih sensitif terhadap berbagai jenis dan densitas sampah. Pengujian lebih lanjut dalam berbagai kondisi lingkungan juga akan sangat bermanfaat untuk memberikan gambaran yang lebih menyeluruh mengenai kinerja sistem ini dalam situasi yang lebih realistis.

Selain itu, pengembangan aplikasi mobile dapat diperluas untuk mencakup fitur-fitur tambahan yang lebih canggih. Misalnya, integrasi dengan platform manajemen kota yang lebih luas atau kemampuan untuk beroperasi dalam jaringan IoT yang terdesentralisasi akan sangat meningkatkan nilai praktis sistem ini. Penambahan mekanisme penghematan energi dalam sistem juga penting, mengingat kebutuhan akan keberlanjutan dalam pengembangan teknologi IoT. Dengan berbagai peningkatan dan pengembangan lebih lanjut, sistem tong sampah otomatis ini bisa menjadi solusi yang efektif dan efisien untuk pengelolaan limbah di berbagai lingkungan, termasuk rumah tangga, area publik, dan skala kota secara keseluruhan. Sistem ini tidak hanya bermanfaat untuk pengelolaan sampah secara umum, tetapi juga dapat berfungsi sebagai komponen penting dalam infrastruktur kota pintar. Dengan implementasi yang lebih luas dan peningkatan fitur, sistem ini berpotensi diadopsi di berbagai kota di seluruh dunia, terutama di kota-kota yang sedang berkembang yang membutuhkan solusi inovatif untuk mengatasi masalah limbah dan kebersihan lingkungan. Pada akhirnya, penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi IoT, jika dikembangkan dan diimplementasikan dengan baik, dapat menawarkan solusi yang signifikan untuk tantangan sehari-hari yang dihadapi masyarakat, terutama dalam hal pengelolaan limbah dan pemeliharaan kebersihan lingkungan.

Untuk mencapai hal ini, diperlukan kerjasama antara pemerintah, perusahaan teknologi, dan masyarakat umum. Investasi dalam teknologi seperti ini memerlukan komitmen jangka panjang, karena implementasi dan

pengembangan berkelanjutan dari teknologi IoT memerlukan waktu, sumber daya, dan dukungan kebijakan yang kuat. Namun, dengan komitmen yang tepat, potensi manfaat dari sistem ini sangat besar dan dapat membawa perubahan positif yang signifikan dalam cara kita mengelola lingkungan kita.

Penelitian ini juga memberikan wawasan penting tentang bagaimana teknologi yang relatif sederhana, seperti NodeMCU ESP8266 dan sensor ultrasonik, dapat digabungkan dengan aplikasi mobile untuk menciptakan solusi inovatif dan praktis. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi yang tidak harus mahal atau sangat canggih pun dapat memberikan dampak besar; yang diperlukan adalah pemahaman mendalam tentang kebutuhan pengguna, desain sistem yang tepat, dan integrasi yang efisien dari berbagai komponen teknologi. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada literatur yang ada dan membuka jalan bagi inovasi lebih lanjut dalam bidang teknologi IoT dan pengelolaan lingkungan.

Sebagai penutup, kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa sistem tong sampah otomatis berbasis IoT yang dikembangkan ini memiliki potensi besar untuk diimplementasikan dalam skala yang lebih luas, baik dalam konteks rumah tangga, area publik, maupun dalam skala kota. Dengan pengembangan lebih lanjut dan pengujian yang lebih luas, sistem ini dapat menjadi solusi yang andal dan efisien untuk masalah pengelolaan sampah, yang merupakan salah satu tantangan terbesar yang dihadapi oleh masyarakat modern saat ini. Penelitian ini juga menekankan pentingnya pendekatan interdisipliner dalam mengembangkan solusi teknologi yang efektif dan relevan dengan kebutuhan masyarakat.

Daftar Pustaka

- [1] SISPSN, “Capaian Kinerja Pengelolaan Sampah,” Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Direktorat Jenderal Pengelolaan Sampah, Limbah dan B3 Direktorat Penanganan Sampah. Accessed: Aug. 11, 2024. [Online]. Available: <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>
- [2] A. Nur Alam, A. Irma Purnamasari, and I. Ali, “ANALISIS TINGKAT PENANGANAN SAMPAH DI JAWA BARAT MENGGUNAKAN REGRESI LINIER,” *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 8, no. 1, pp. 95–102, Feb. 2024, doi: 10.36040/jati.v8i1.8307.
- [3] A. Mesjasz-Lech, “Municipal Urban Waste Management—Challenges for Polish Cities in an Era of Circular Resource Management,” *Resources*, vol. 10, no. 6, p. 55, May 2021, doi: 10.3390/resources10060055.
- [4] A. Mesjasz-Lech, “Municipal Urban Waste Management—Challenges for Polish Cities in an Era of Circular Resource Management,” *Resources*, vol. 10, no. 6, p. 55, May 2021, doi: 10.3390/resources10060055.
- [5] R. PERLINDUNGAN and P. L. HIDUP, “NASKAH AKADEMIK DAN RANCANGAN PERATURAN DAERAH”.
- [6] P. Pernando, M. R. Muttaqin, and Y. R. Ramadhan, “Deteksi Jenis Sampah Secara Realtime Menggunakan Metode Single Shot Multibox Detector (SSD),” *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 7, no. 3, pp. 1890–1895, 2023.
- [7] Pemerintah Kota Surabaya, “Volume Sampah Harian di Surabaya 60 Persen Didominasi Organik,” Pemerintah Kota Surabaya. Accessed: Aug. 11, 2024. [Online]. Available: <https://www.surabaya.go.id/id/berita/74939/volume-sampah-harian-di-surabaya-60-persen-didominasi-organik>
- [8] J. K. Wirjawan and M. Choandi, “IMPLEMENTASI ARSITEKTUR BERKELANJUTAN DENGAN PENGELOLAAN SAMPAH MELALUI SISTEM TEKNOLOGI WASTE TO ENERGY (WTE),” *Jurnal Sains, Teknologi, Urban, Perancangan, Arsitektur (Stupa)*, vol. 6, no. 1, pp. 295–310, 2024.
- [9] C. N. Sari, L. H. Al-illahiyah, L. B. Kaban, M. R. Hasibuan, R. H. Nasution, and W. F. Sari, “Keterbatasan Fasilitas Tempat Pembuangan Sampah Dan Tantangan Kesadaran Masyarakat Dalam Pengelolaan Sampah (Studi Kasus Di Desa Jandi Meriah Kec. Tiganderket Kab. Karo),” *Journal Of Human And Education (JAHE)*, vol. 3, no. 2, pp. 268–276, 2023.

- [10] A. Komarudin, A. Rosmajudi, and A. Hilman, "Implementasi kebijakan dalam pengelolaan sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga di Kecamatan Indihiang Kota Tasikmalaya," *Indonesian Journal Of Education and Humanity*, vol. 3, no. 4, pp. 41–49, 2023.
- [11] mahar prastiwi, "Yogya Darurat Sampah, Ahli UGM: Kesadaran Masyarakat Masih Minim," *kompas.com*. Accessed: Aug. 11, 2024. [Online]. Available: <https://kompas.com/edu/read/2023/08/14/081538571/yogya-darurat-sampah-ahli-ugm-kesadaran-masyarakat-masih-minim?page=all>
- [12] M. P. Arthur, S. Shoba, and A. Pandey, "A survey of smart dustbin systems using the IoT and deep learning," *Artif Intell Rev*, vol. 57, no. 3, p. 56, Feb. 2024, doi: 10.1007/s10462-023-10646-6.
- [13] Y. Y. N. Y. Alkautsar and C. N. Arbaatun, "Matrash: Pemanfaatan Machine Learning Pada Smart Trash Bin Berbasis Iot Yang Terintegrasi Dengan Bank Sampah," *eProceedings of Applied Science*, vol. 6, no. 3, 2020.
- [14] F. G. D. Putra, M. Fadhil, A. A. Rahman, M. A. A. DS, B. M. Rahmanto, and A. Hidayat, "Inovasi Tempat Sampah Pintar Berbasis ESP32: Integrasi Sensor Infra Merah dan Bot Telegram untuk Notifikasi Sampah Penuh," *TEKTONIK: Jurnal Ilmu Teknik*, vol. 1, no. 4, pp. 96–104, 2024.
- [15] S. Sukarjadi, A. Arifiyanto, D. T. Setiawan, and M. Hatta, "Perancangan dan Pembuatan Smart Trash Bin di Universitas Maarif Hasyim Latif," *Teknika: Engineering and Sains Journal*, vol. 1, no. 2, pp. 101–110, 2017.
- [16] L. Muntasiroh and R. N. Sumarno, "Rancang Bangun Smart Trash Can Dengan NodeMCU ESP8266 Menggunakan Sistem Monitoring Berbasis Komunikasi Telegram Messenger," *Fidelity: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 4, no. 3, pp. 49–56, 2022.
- [17] J. P. Perdana and T. Wellem, "Perancangan Dan Implementasi Sistem Kontrol Untuk Tempat Sampah Otomatis Menggunakan Arduino Dan Sensor Ultrasonik," *IT-Explore: Jurnal Penerapan Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 2, no. 2, pp. 104–117, 2023.
- [18] M. Dandy, "KOTAK SAMPAH OTOMATIS MENGGUNAKAN SENSOR ULTRASONIK BERBASIS ARDUINO," *Jurnal Teknologi Terkini*, vol. 3, no. 1, 2023.
- [19] K. Pardini, J. J. P. C. Rodrigues, S. A. Kozlov, N. Kumar, and V. Furtado, "IoT-based solid waste management solutions: a survey," *Journal of Sensor and Actuator Networks*, vol. 8, no. 1, p. 5, 2019.
- [20] Nabila Zahra Nur Aminah, "Pengelolaan Sampah dalam Konteks Pembangunan Berkelanjutan (Waste Management in the Context of Waste Management)," *hmgp.geo*. Accessed: Aug. 11, 2024. [Online]. Available: <https://hmgp.geo.ugm.ac.id/2021/08/27/pengelolaan-sampah-dalam-konteks-pembangunan-berkelanjutan-waste-management-in-the-context-of-waste-management/>
- [21] A. Anggrawan, S. Hadi, and C. Satria, "IoT-Based garbage container system using NodeMCU ESP32 microcontroller," *Journal of Advances in Information Technology Vol*, vol. 13, no. 6, 2022.
- [22] W. Czekala, J. Drozdowski, and P. Łabiak, "Modern technologies for waste management: A review," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 15, p. 8847, 2023.