KAMPUS AKADEMIK PUBLISING
Jurnal Sains Student Research (JSSR)
Vol.5, No.1 Februari 2027
e-ISSN: 3025-9851, p-ISSN : 3025-986X, Hal 202-211
DOI : https://doi.org/10.61722/jssr.v5i1.13516

Rancang Bangun Tempat Sampah Otomatis Berbasis Sensor Inframerah Tanpa Mikrokontroler

Sujono[1], Nur Aini[2], Naila Afiatus Syukriah[3], Noviatin Sholeha[4]
[1,2,3,4] Program Studi Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas KH. A. Wahab Hasbullah, Jl. Garuda No.09, Tambak Rejo, Kec. Jombang, Kabupaten Jombang, Jawa Timur 61451, Indonesia
*Penulis Korespondensi: aini29742@gmail.com

Abstract. *Conventional trash cans require users to touch the lid, whereas most automatic trash cans use microcontrollers that require programming and additional components. This study aimed to design an infrared-sensor-based automatic trash can with a relay-based electromechanical control system without a microcontroller, evaluate its performance, and compare its cost with microcontroller-based designs. The system consisted of a main switch, an infrared sensor, a two-channel relay module, a DC gearmotor, two microswitches, and an 18650 battery, the relays reversed the motor polarity, while the microswitches limited the lid position. Experiments included detection distance tests (3 and 7 cm, 20 trials each) under three lighting conditions, current, voltage, and power measurements, 50 open-close cycles, and a 580-cycle battery endurance test. Detection success ranged from 75% to 100%, highest in a dark room (100% at 3 cm and 90% at 7 cm). Of 50 cycles, 47 succeeded (94%), the failures were two motor jams and one lid that did not close by itself. With an initial battery voltage of 4.3 V, malfunctions increased near 3.5 V and the lid stopped moving near 3 V, so recharging at 3.5 V is recommended. The component cost of Rp50,000 was lower than the costs reported in two Arduino-based studies with different features. The sensor malfunctioned in a bright room with many windows. A control system without a microcontroller can perform the open-close function at low cost, but sensor reliability under bright light and the cause of the motor jams require further investigation.*

Keywords: *automatic trash bin; infrared sensor; relay-based control; DC motor; microcontroller-free*
Abstrak. Tempat sampah konvensional mengharuskan pengguna menyentuh penutup secara langsung, sedangkan sebagian besar tempat sampah otomatis memakai mikrokontroler yang memerlukan pemrograman dan perangkat tambahan. Penelitian ini bertujuan merancang tempat sampah otomatis berbasis sensor inframerah dengan kendali elektromekanik berbasis relay tanpa mikrokontroler, mengevaluasi kinerjanya, dan membandingkan biayanya dengan penelitian berbasis mikrokontroler. Sistem terdiri atas sakelar utama, sensor inframerah, relay dua kanal, motor DC gearbox, dua micro switch, dan baterai 18650, relay membalik polaritas motor, sedangkan micro switch membatasi posisi tutup. Pengujian eksperimental meliputi jarak deteksi (3 dan 7 cm, masing-masing 20 percobaan) pada tiga kondisi cahaya, pengukuran arus, tegangan, dan daya, 50 siklus buka-tutup, serta ketahanan baterai 580 siklus. Keberhasilan deteksi berkisar 75–100%, tertinggi pada ruang gelap (100% pada 3 cm dan 90% pada 7 cm). Dari 50 siklus, 47 berhasil (94%), kegagalan berupa dua motor macet dan satu tutup yang tidak menutup sendiri. Pada baterai dengan tegangan awal 4,3 V, gangguan meningkat di sekitar 3,5 V dan tutup tidak bergerak di sekitar 3 V, sehingga baterai disarankan diisi ulang pada 3,5 V. Biaya komponen Rp50.000, lebih rendah daripada dua penelitian berbasis Arduino yang fiturnya berbeda. Sensor terganggu pada ruang terang dengan banyak jendela. Kendali tanpa mikrokontroler dapat menjalankan fungsi buka-tutup dengan biaya rendah, tetapi keandalan sensor pada cahaya terang dan penyebab motor macet perlu diteliti lebih lanjut.

Kata kunci: tempat sampah otomatis; sensor inframerah; kendali berbasis relay; motor DC; tanpa mikrokontroler

1. LATAR BELAKANG

Tempat sampah konvensional mengharuskan pengguna menyentuh penutup, padahal kontaminasi mikroba pada gagang pintu dilaporkan sebesar 9,96% dan 23,04% pada gagang pintu toilet (Appiah et al., 2025), walaupun risiko infeksi SARS-CoV-2 melalui permukaan dinilai rendah pada sebagian besar artikel yang ditelaah (Mohamadi et al.,

Naskah Masuk:01 November 2026; Revisi: 02 November 2026; Diterima: 03 November 2026; Terbit: 25 November 2026

2021). Keengganan menyentuh penutup juga melatarbelakangi pengembangan tempat sampah pintar (Abidin et al., 2022), dan perangkat nirsentuh berbiaya rendah berbasis sensor inframerah telah dikembangkan untuk ruang publik (Abuzairi et al., 2021; Das et al., 2021; Mnati et al., 2021).

Tempat sampah pintar umumnya memadukan sensor, mikrokontroler, dan aktuator, dengan fokus pada pemantauan tingkat isi dan pengumpulan sampah (Czekała et al., 2023; Huh et al., 2021; Mousavi et al., 2023; Sung et al., 2022; Vishnu et al., 2021, 2022). Prototipe otomatis umumnya memakai Arduino (Abidin et al., 2022; Ahmed et al., 2022), yang membutuhkan pemrograman dan perangkat tambahan, dengan biaya prototipe RM 100 (Ng & Lee, 2020) dan US$15,51 (Sohag & Podder, 2020). Pada dispenser pembersih tangan inframerah, versi tanpa mikrokontroler sekitar 30% lebih murah (Jongchanachavawat et al., 2023), dan saklar otomatis berbasis sensor, transistor, dan relay juga dilaporkan berbiaya rendah (Mishra et al., 2023).

Sensor inframerah sederhana dan murah, tetapi cahaya sekitar yang kaya inframerah dapat mengganggunya (Caroleo et al., 2026) dan ketahanannya bergantung pada rancangan sensor (Cavedo et al., 2021), sedangkan motor DC dapat macet akibat beban berlebih, keausan, atau kerusakan mekanis (Hanuš & Šmíd, 2022). Oleh karena itu, kinerja dan biaya rancangan berbasis relay tanpa mikrokontroler perlu dievaluasi. Penelitian ini bertujuan merancang tempat sampah otomatis berbasis sensor inframerah tanpa mikrokontroler, mengevaluasi kinerjanya (jarak deteksi pada beberapa kondisi cahaya, arus, tegangan, daya, siklus buka-tutup, dan ketahanan baterai), serta membandingkan biayanya dengan penelitian berbasis mikrokontroler.

2. KAJIAN TEORITIS

A. Tempat Sampah Otomatis dan Penelitian Terkait

Tempat sampah otomatis membuka dan menutup penutup tanpa sentuhan ketika sensor mendeteksi objek. Penelitian terkait umumnya memakai mikrokontroler sebagai pusat kendali dan menambahkan fitur pemantauan atau pemilahan (Abidin et al., 2022; Ahmed et al., 2022; Jongchanachavawat et al., 2023), sedangkan penelitian ini memusatkan perhatian pada mekanisme buka-tutup tanpa mikrokontroler.

B. Komponen

Sensor Inframerah, Relay, dan Micro Switch

Pada modul sensor inframerah pemantul, penerima membaca cahaya pemancar yang kembali dari objek sehingga keluaran bergantung pada intensitas pantulan dan sifat optik permukaan (Cavedo et al., 2021), papan modul umumnya memiliki pembanding yang memberi keluaran LOW dan menyalakan LED indikator saat pantulan diterima (Mnati et al., 2021). Pada sensor inframerah dekat, penerangan kantor biasa tidak banyak memengaruhi pengukuran, tetapi lampu halogen 500 W membuat sekitar 45% pengukuran ditolak dan sinar matahari langsung diperkirakan juga mengganggu (Caroleo et al., 2026), meskipun sensor itu berbeda dari modul penelitian ini, kelemahan di area bersinar matahari juga dicatat pada dispenser inframerah (Jongchanachavawat et al., 2023). Relay adalah sakelar elektromagnetik dengan kontak NO dan NC, modul dua kanal dipakai membalik polaritas motor, dan relay dapat menghubungkan pemicu sensor ke beban (Mishra et al., 2023). Micro switch membatasi gerak tutup pada posisi terbuka dan tertutup.

Motor DC dan Baterai 18650

Motor DC dengan gearbox menggerakkan tutup. Pada aktuator bermotor DC sikat, kemacetan dapat berasal dari beban berlebih, keausan, pelumasan yang kurang, kerusakan

mekanis, atau tekanan termal, deteksi gangguan berbasis pengukuran arus telah digunakan untuk aktuator semacam ini (Hanuš & Šmíd, 2022). Pada baterai 18650 (sel lithium-ion silinder), tegangan terminal lebih rendah daripada tegangan rangkaian terbuka ketika arus dialirkan akibat rugi ohmik dan polarisasi (Szürke et al., 2026), sebagaimana dinyatakan pada Persamaan (1).

$$V_t = V_{oc} - I.R \quad (1)$$

di mana Vt adalah tegangan terminal (V), Voc tegangan rangkaian terbuka (V), I arus beban (A), dan R_i resistansi dalam sel (Ω).

C. METODE PENELITIAN

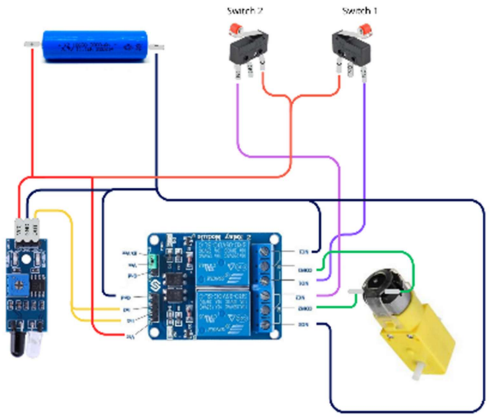
Penelitian ini bersifat eksperimental: merancang prototipe, lalu menguji jarak deteksi sensor pada tiga kondisi cahaya, arus, tegangan, dan daya pada setiap komponen, 50 siklus buka-tutup, ketahanan baterai, dan biaya komponen.

A. Komponen Sistem

Komponen terdiri atas sakelar utama (on/off), sensor inframerah, modul relay dua kanal 5 V untuk membalik polaritas motor, motor DC gearbox, dua micro switch, dan baterai 18650 dengan dudukan. Spesifikasi komponen ditunjukkan pada Tabel 1. Keluaran sensor memicu modul relay yang aktif LOW. Terminal common (C) kedua micro switch dihubungkan ke kutub positif baterai, terminal normally closed (NC) micro switch 1 ke terminal normally open (NO) relay 1, dan NC micro switch 2 ke NC relay 2, sehingga micro switch yang tertekan memutus jalur suplai motor melalui relay yang bersangkutan (Gambar 1).

Tabel 1. Spesifikasi komponen menurut keterangan penjual

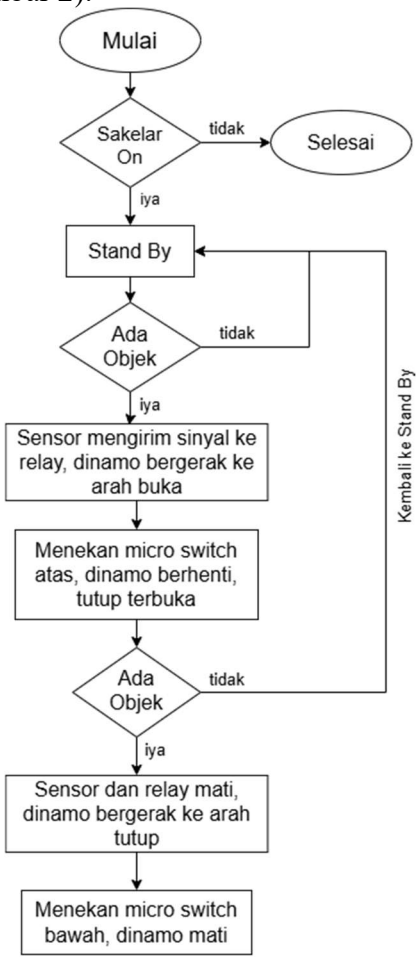
Komponen	Spesifikasi
Sensor inframerah	Modul penghalang dengan komparator LM393, tegangan kerja 3–5 V, keluaran digital (HIGH/LOW), jarak deteksi ±2–30 cm, diatur dengan trimpot (bergantung permukaan objek), LED indikator
Modul relay	2 kanal 5 V, aktif LOW, arus pemicu 15–20 mA per kanal, kontak 10 A pada DC 30 V atau AC 250 V, LED indikator
Motor DC gearbox	Tegangan masukan 3–5 V DC, torsi 0,8 kg ukuran 70 × 22 × 18 mm
Micro switch	Tipe 3 pin dengan roda (*roller*), panjang 2 cm, lebar 1 cm
Baterai 18650	Li-ion, kapasitas 1.200–1.500 mAh, tegangan nominal 3,6 V, tegangan maksimum (penuh) 4,2 V, ukuran 6,5 × 1,6 cm, siklus pengisian ulang rata-rata 300–500



Gambar 1. Skema rangkaian sistem tempat sampah otomatis

B. Alur Kerja Sistem

Saat sakelar ON, sistem siaga. Ketika sensor mendeteksi objek, relay aktif dan motor membuka tutup hingga micro switch atas menghentikan motor, tutup tertahan terbuka selama objek terdeteksi. Setelah objek tidak terdeteksi, relay mati dan motor bergerak ke arah sebaliknya hingga micro switch bawah menghentikan motor, lalu sistem kembali siaga (Gambar 2).



Gambar 2. Flowchart sistem tempat sampah otomatis

D. Parameter dan Prosedur Pengujian

Jarak deteksi diuji pada 3 dan 7 cm (dalam rentang sensor ±2–30 cm, Tabel 1) dengan 20 percobaan per jarak, memakai tangan yang jaraknya diukur dengan penggaris, pada ruang terang, redup, dan gelap. Intensitas cahaya tidak diukur. Percobaan berhasil bila tutup terbuka saat mendeteksi tangan mendekat. Keberhasilan dihitung dengan Persamaan (2).

$$K = \frac{n_{berhasil}}{n_{total}} \times 100\% \quad (2)$$

Di mana K adalah persentase keberhasilan (%), $n_{berhasil}$ adalah jumlah percobaan yang berhasil, dan n_{total} adalah jumlah seluruh percobaan.

Arus, tegangan, dan daya diukur dengan avometer digital ISKU (rentang arus 10 A) pada posisi akhir tutup terbuka dan tertutup, kondisi siaga sama dengan tertutup. Daya dihitung dari hasil kali tegangan dan arus. Mekanisme diuji 50 siklus buka-tutup dengan mencatat jenis kegagalan, dan ketahanan baterai diuji 580 siklus dari tegangan awal 4,3 V. Biaya dihitung dari harga pembelian komponen dan dibandingkan dengan biaya yang dilaporkan penelitian berbasis mikrokontroler.

E. HASIL DAN PEMBAHASAN

Prototipe ditunjukkan pada Gambar 3.

(a) (b)



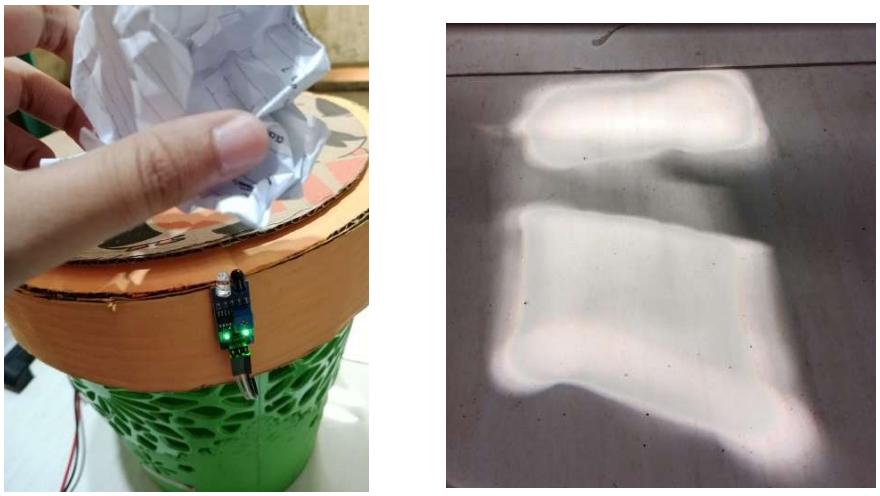
Gambar 3. Prototipe tempat sampah (a) bagian depan, (b) bagian belakang

A. Hasil Pengujian Jarak Deteksi

Keberhasilan deteksi berkisar 75–100% (Tabel 2): tertinggi pada ruang gelap (rata-rata 95%), diikuti ruang terang (87,5%) dan ruang redup (80%), secara keseluruhan 105 dari 120 percobaan berhasil (87,5%). Pengujian ditunjukkan pada Gambar 4. Pada ruang terang dengan banyak jendela, keluaran sensor aktif terus-menerus sehingga tutup selalu terbuka, dan menurunkan sensitivitas membuat tangan tidak terdeteksi, sensor tetap bekerja pada kamar dengan lampu 18 W dan saat lampu dimatikan. Pengamatan ini kualitatif karena intensitas cahaya tidak diukur.

Tabel 2. Hasil pengujian jarak deteksi sensor pada tiga kondisi cahaya (20 percobaan per jarak)

Kondisi cahaya	Jarak (cm)	Berhasil / total	*K* (%)
Redup	3	15 / 20	75
Redup	7	17 / 20	85
Terang	3	17 / 20	85
Terang	7	18 / 20	90
Gelap	3	20 / 20	100
Gelap	7	18 / 20	90



(a) (b)

Gambar 4. (a) Pengujian deteksi sensor inframerah dengan objek berupa tangan dan kertas, (b) Cahaya matahari langsung dari jendela pada permukaan lantai ruang uji saat siang hari

B. Hasil Pengukuran Arus, Tegangan, dan Daya

Hasil pengukuran diambil pada kondisi akhir, bukan saat tutup membuka atau menutup. Baterai mencatat 2,8 A dan 3,9 V (10,92 W) saat terbuka, serta 3 A dan 3,7 V (11,1 W) saat tertutup. Relay mencatat 2 A pada kedua kondisi (7,2–7,6 W) dan sensor 0,8 A (2,88 W). Arus motor 0 A karena micro switch yang tertekan memutus jalur suplai motor, sedangkan micro switch yang tidak tertekan mencatat 0,4 A. Jumlah arus komponen (3,2 A) berbeda 0,2–0,4 A dari arus baterai.

Tabel 3. Hasil Pengukuran

Komponen	Terbuka	Tertutup (siaga)
Baterai	2,8 A 3,9 V 10,92 W	3 A 3,7 V 11,1 W
Motor DC	0 A 0 V	0 A 0 V
Relay	2 A 3,8 V 7,6 W	2 A 3,6 V 7,2 W
Micro switch 1	0,4 A 3,9 V 1,56 W	0 A 0 V
Micro switch 2	0 A 0 V	0,4 A 3,7 V 1,48 W
Sensor inframerah	0,8 A 3,6 V 2,88 W	0,8 A 3,6 V 2,88 W

C. Hasil Pengujian Siklus dan Ketahanan Baterai

Dari 50 siklus buka-tutup, 47 berhasil (94%), tiga kegagalan terdiri atas dua motor macet (4%) dan satu tutup yang tidak menutup sendiri sehingga perlu didorong (2%). Pada pengujian ketahanan 580 siklus dari tegangan awal 4,3 V, gangguan makin sering di sekitar 3,5 V (tutup tidak terbuka sempurna, tidak menutup otomatis, atau tidak membuka walau sensor mendeteksi), dan tutup tidak bergerak di sekitar 3 V, sehingga baterai disarankan diisi ulang pada 3,5 V.

D. Biaya Komponen

Total biaya komponen Rp50.000, terdiri atas baterai 18650 Rp8.000, relay 2 kanal Rp13.000, sakelar Rp1.000, sensor inframerah Rp6.000, dua micro switch Rp8.000, motor gearbox Rp10.000, dan dudukan baterai Rp4.000. Biaya ini sekitar 18% dan 12% dari biaya yang dilaporkan Sohag dan Podder (2020) US$15,51, sekitar Rp281.000 dan Ng dan Lee (2020) RM 100, sekitar Rp405.000, dengan asumsi US$1 = Rp18.089 dan RM1 = Rp4.047 (kurs indikatif yang perlu disesuaikan dengan kurs resmi).

E. Pembahasan

Keberhasilan deteksi tertinggi terjadi pada ruang gelap dan terendah pada ruang redup, sedangkan ruang terang justru lebih baik daripada ruang redup. Dengan 20 percobaan per titik, selisih satu sampai tiga percobaan (5–15 poin persentase) belum cukup untuk menyimpulkan perbedaan antarkondisi. Penerangan kantor biasa tidak banyak memengaruhi sensor inframerah dekat, sedangkan sumber cahaya kaya inframerah seperti lampu halogen dan, menurut penulisnya, sinar matahari langsung dapat mengganggunya (Caroleo et al., 2026), hal ini sejalan dengan gangguan di ruang berjendela dan catatan serupa pada dispenser inframerah (Jongchanachavawat et al., 2023). Jenis lampu dan pengaruh sinar matahari belum diukur sehingga masih berupa dugaan.

Keberhasilan mekanisme 94% menunjukkan mekanisme cukup andal ketika tegangan baterai memadai. Kemacetan motor dapat berasal dari beban berlebih, keausan, pelumasan yang kurang, kerusakan mekanis, atau tekanan termal, dan penyebabnya belum diketahui, pengukuran arus motor saat bergerak dapat membantu menentukannya (Hanuš & Šmíd, 2022). Satu kegagalan menutup menunjukkan bahwa gesekan atau keseimbangan beban tutup juga perlu diperhatikan.

Penurunan tegangan baterai dari 3,9 V (terbuka) ke 3,7 V (tertutup) sejalan dengan Persamaan (1) (Szürke et al., 2026), tetapi tegangan tanpa beban tidak dicatat. Arus relay (2 A) jauh melebihi arus pemicu 15–20 mA pada spesifikasinya (Tabel 1), arus motor saat bergerak belum diukur, dan arus baterai sekitar 3 A saat siaga terlalu besar untuk kapasitas nominal 2.400–3.000 mAh, sehingga nilai arus perlu diverifikasi. Gangguan di sekitar 3,5 V dan tutup diam di sekitar 3 V bertepatan dengan batas bawah tegangan masukan motor (3 V) dan tegangan kerja relay 5 V, sehingga relay kemungkinan lebih dahulu terpengaruh (belum diuji). Tegangan awal 4,3 V melebihi tegangan maksimum sel 4,2 V (Tabel 1), sehingga alat ukur dan pengisi daya perlu dikonfirmasi.

Biaya Rp50.000 lebih rendah daripada dua penelitian berbasis Arduino, dan versi tanpa mikrokontroler pada dispenser inframerah juga sekitar 30% lebih murah (Jongchanachavawat et al., 2023). Namun perbandingan ini terbatas karena fitur, tahun harga (2020), dan cakupan komponen berbeda, sehingga hanya menunjukkan bahwa kendali tanpa mikrokontroler lebih murah untuk fungsi buka-tutup saja. Manfaat higienis mekanisme tanpa sentuhan masih berupa potensi yang belum diuji secara mikrobiologis (Appiah et al., 2025; Mohamadi et al., 2021).

F. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menghasilkan prototipe tempat sampah otomatis berbasis sensor inframerah dengan sistem kendali elektromekanik berbasis relay tanpa mikrokontroler, yang memakai sakelar utama, modul relay dua kanal, motor DC gearbox, dua micro switch, dan baterai 18650. Keberhasilan deteksi berkisar 75–100%, tertinggi pada ruang gelap, dan sensor mengalami gangguan pada ruang terang dengan banyak jendela. Dari 50 siklus buka-tutup, 47 berhasil (94%), dengan kegagalan berupa dua motor macet dan satu tutup yang tidak menutup sendiri. Pada pengujian 580 siklus, gangguan meningkat ketika tegangan baterai mencapai sekitar 3,5 V sehingga baterai disarankan diisi ulang pada tegangan tersebut. Total biaya komponen Rp50.000, lebih rendah daripada biaya yang dilaporkan dua penelitian berbasis Arduino, tetapi dengan fitur yang lebih sederhana.

Hasil ini menunjukkan bahwa mekanisme buka-tutup otomatis dapat dijalankan tanpa mikrokontroler dan tanpa pemrograman dengan biaya rendah, sehingga rancangan ini dapat menjadi alternatif sederhana untuk prototipe tempat sampah tanpa sentuhan di ruang dengan cahaya terkendali. Keterbatasan penelitian ini adalah belum diukurnya intensitas cahaya, belum diketahuinya penyebab motor macet, belum diukurnya arus motor saat bergerak, serta belum dicatatnya durasi pengujian baterai. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan sensor yang lebih tahan cahaya sekitar atau penghalang cahaya pada sensor, mengukur intensitas cahaya (lux), mengukur arus motor saat bergerak, mencatat durasi dan energi yang dipakai selama pengujian baterai, menguji baterai dengan siklus lebih banyak, serta menguji manfaat higienis secara mikrobiologis.

DAFTAR REFERENSI

Abidin, A. R., Irawan, Y., & Devis, Y. (2022). Smart trash bin for management of garbage problem in society. *Journal of Applied Engineering and Technological Science*, *4*(1), 202–208. https://doi.org/10.37385/jaets.v4i1.1015

Abuzairi, T., Sumantri, N. I., Irfan, A., & Mohamad, R. M. (2021). Infrared thermometer on the wall (iThermowall): An open source and 3-D print infrared thermometer for fever screening. *HardwareX*, *9*, e00168. https://doi.org/10.1016/j.ohx.2021.e00168

Ahmed, M., Shaha, R., Sarker, K., Mahi, R. B., & Kashem, M. A. (2022). Design and implementation of intelligent dustbin with garbage gas detection for hygienic environment based on IoT. In *2022 International Conference on Advancement in Electrical and Electronic Engineering (ICAEEE)* (pp. 1–7). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICAEEE54957.2022.9836479

Appiah, P. O., Odoom, A., Tetteh-Quarcoo, P. B., Kotey, F. C. N., & Donkor, E. S. (2025). Microbial contamination of door handles: A global systematic review and meta-analysis of public and healthcare settings. *Environmental Health Insights*, *19*, 1–13. https://doi.org/10.1177/11786302251328550

Caroleo, G., Albini, A., & Maiolino, P. (2026). On the characterisation of the time-of-flight VL53L5CX sensor by STMicroelectronics for indoor robotics applications. *Sensors*, *26*(5), 1639. https://doi.org/10.3390/s26051639

Cavedo, F., Esmaili, P., & Norgia, M. (2021). Remote reflectivity sensor for industrial applications. *Sensors*, *21*(4), 1301. https://doi.org/10.3390/s21041301

Czekała, W., Drozdowski, J., & Łabiak, P. (2023). Modern technologies for waste management: A review. *Applied Sciences*, *13*(15), 8847. https://doi.org/10.3390/app13158847

Das, A., Barua, A., Mohimin, M. A., Abedin, J., Khandaker, M. U., & Al-mugren, K. S. (2021). Development of a novel design and subsequent fabrication of an automated touchless hand sanitizer dispenser to reduce the spread of contagious diseases. *Healthcare*, *9*(4), 445. https://doi.org/10.3390/healthcare9040445

Hanuš, O., & Šmíd, R. (2022). Non-intrusive current-based fault detection of electro-mechanical actuators with brushed DC motors. *Metrology and Measurement Systems*, *29*(3), 505–523. https://doi.org/10.24425/mms.2022.140040

Huh, J.-H., Choi, J.-H., & Seo, K. (2021). Smart trash bin model design and future for smart city. *Applied Sciences*, *11*(11), 4810. https://doi.org/10.3390/app11114810

Jongchanachavawat, W., Sungkongmueng, B., Roopkom, I., Mingmuang, N., Inyasri, C., Thanaittipat, N., Chinowan, V., Khiaokhli, C., & Piatuapoo, C. (2023). Automatic alcohol hand sanitizer dispensers with & without microcontroller. *ECTI Transactions on Electrical Engineering, Electronics, and Communications*, *21*(3). https://doi.org/10.37936/ecti-eec.2023213.251463

Mishra, R. V., Gupta, T., Patel, A., Kumar, R., Kaur, I., & Batra, V. (2023). Transforming conventional switching systems to cost-effective, adaptable, energy-efficient smart switching systems. *Journal of Scientific Research*, *15*(1), 85–93. https://doi.org/10.3329/jsr.v15i1.60070

Mnati, M. J., Chisab, R. F., Al-Rawi, A. M., Ali, A. H., & Van den Bossche, A. (2021). An open-source non-contact thermometer using low-cost electronic components. *HardwareX*, *9*, e00183. https://doi.org/10.1016/j.ohx.2021.e00183

Mohamadi, M., Babington-Ashaye, A., Lefort, A., & Flahault, A. (2021). Risks of infection with SARS-CoV-2 due to contaminated surfaces: A scoping review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(21), 11019. https://doi.org/10.3390/ijerph182111019

Mousavi, S., Hosseinzadeh, A., & Golzary, A. (2023). Challenges, recent development, and opportunities of smart waste collection: A review. *Science of the Total Environment*, *886*, 163925. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163925

Ng, C. P., & Lee, T. C. (2020). Prototyping smart dustbin using Arduino Uno devices. *Research in Management of Technology and Business*, *1*(1), 205–218. https://doi.org/10.30880/rmtb.2020.01.01.017

Sohag, M. U., & Podder, A. K. (2020). Smart garbage management system for a sustainable urban life: An IoT based application. *Internet of Things*, *11*, 100255. https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100255

Sung, W.-T., Devi, I. V., Hsiao, S.-J., & Fadillah, F. N. (2022). Smart garbage bin based on AIoT. *Intelligent Automation and Soft Computing*, *32*(3), 1387–1401. https://doi.org/10.32604/IASC.2022.022828

Szürke, S. K., Gladics, G. Á., & Lőrincz, I. (2026). Analysis of the relationship between discharge cutoff voltage and thermal behavior in different lithium-ion cell types. *Applied Sciences*, *16*(1), 79. https://doi.org/10.3390/app16010079

Vishnu, S., Ramson, S. R. J., Senith, S., Anagnostopoulos, T., Abu-Mahfouz, A. M., Fan, X., Srinivasan, S., & Kirubaraj, A. A. (2021). IoT-enabled solid waste management in smart cities. *Smart Cities*, *4*(3), 1004–1017. https://doi.org/10.3390/smartcities4030053

Vishnu, S., Ramson, S. R. J., Rukmini, M. S. S., & Abu-Mahfouz, A. M. (2022). Sensor-based solid waste handling systems: A survey. *Sensors*, *22*(6), 2340. https://doi.org/10.3390/s22062340