TRANSMISI: JURNAL ILMIAH TEKNIK ELEKTRO, 28, (4), OKTOBER 2026
p-ISSN 1411-0814 e-ISSN 2407-6422

RANCANG BANGUN SISTEM TEMPAT SAMPAH CERDAS BERBASIS ORANGE PI 4A DAN ESP32 SEBAGAI MEDIA EDUKASI

Dian Budhi Santoso[1*)], Khotimatul Fauziah[2], Arnisa Stefanie[3], Dendy Satria Nugraha[4], Andrias Fadillah[5], Alam Akbar Alfatah[6], dan Dwi Andhika[7]

[1, 3, 4, 5, 6, 7]Program Studi Teknik Elektro, Universitas Singaperbangsa Karawang, Karawang, Indonesia
[2]Pusat Riset Konversi dan Konservasi Energi, Badan Riset dan Inovasi Nasional

[*)] *Penulis korespondensi, E-mail: dian.budhi@ft.unsika.ac.id*

Abstrak

Sampah masih menjadi permasalahan lingkungan yang memerlukan solusi berbasis teknologi sekaligus edukasi. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem tempat sampah cerdas menggunakan Orange Pi 4A dan ESP32 yang dilengkapi LCD *touchscreen* sebagai media interaksi pengguna. Metode penelitian meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, implementasi sistem, serta pengujian kinerja sensor dan aktuator. Sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk mendeteksi keberadaan objek, sedangkan motor servo berfungsi sebagai penggerak mekanisme buka dan tutup tempat sampah. Pengambilan data dilakukan melalui pengujian jarak sensor ultrasonik dan pengujian sudut motor servo untuk mengetahui tingkat akurasi sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketiga sensor ultrasonik HC-SR04 memiliki nilai rata-rata error yang sangat rendah, yaitu masing-masing sebesar 0,05%, 0,125%, dan 0,05%, sedangkan ketiga motor servo mencapai tingkat akurasi rata-rata sebesar 99,79%, 99,43%, dan 99,13%. Sistem yang dirancang dapat beroperasi secara stabil serta memberikan tampilan informasi interaktif melalui LCD *touchscreen*. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa tempat sampah cerdas yang dirancang mampu berfungsi sesuai perancangan dan berpotensi digunakan sebagai media pendukung edukasi berbasis teknologi.

Kata kunci: Tempat Sampah Cerdas, Permainan Edukasi, Pengelolaan Sampah

Abstract

Waste remains an environmental problem that requires technology-based solutions as well as education. This study aims to design and build a smart waste bin system using Orange Pi 4A and ESP32 equipped with an LCD touchscreen as a user interaction medium. The research methods include hardware and software design, system implementation, and sensor and actuator performance testing. The HC-SR04 ultrasonic sensor is used to detect the presence of objects, while the servo motor functions as the drive for the trash bin's open and close mechanism. Data collection was carried out through testing the distance of the ultrasonic sensor and testing the angle of the servo motor to determine the accuracy level of the system. The test results show that the three HC-SR04 ultrasonic sensors achieved very low average error values of 0.05%, 0.125%, and 0.05%, respectively, while the three servo motors demonstrated average accuracy levels of 99.79%, 99.43%, and 99.13%. The designed system can operate stably and provide interactive information display through an LCD touchscreen. The conclusion of this study shows that the designed smart trash can functions as intended and has the potential to be used as a technology-based educational support medium.

Keywords: Smart Trash Bins, Educational Games, Waste Management

1. Pendahuluan

Wilayah perkotaan merupakan salah satu penyumbang utama peningkatan timbunan sampah karena masih banyak kawasan urban yang belum menerapkan sistem pengelolaan sampah secara optimal. Kondisi ini menjadi permasalahan serius mengingat sampah perkotaan cenderung menumpuk akibat volume yang dihasilkan sangat besar. Peningkatan volume sampah di lingkungan perkotaan terjadi seiring dengan pertumbuhan penduduk dan percepatan urbanisasi. Bank Dunia memperkirakan bahwa produksi sampah padat di kawasan urban akan meningkat dari sekitar 3,5 juta ton per hari menjadi 6,1 juta ton per hari pada tahun 2025 [1]. Kondisi tersebut berimplikasi pada meningkatnya timbulan sampah, seperti plastik, kertas, serta limbah kemasan yang mengandung B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Kuantitas dan karakteristik sampah sangat dipengaruhi oleh pola konsumsi dan gaya hidup masyarakat, di mana peningkatan tingkat ekonomi rumah tangga mendorong semakin beragamnya jenis sampah yang dihasilkan. Selain itu, praktik pembuangan sampah ke badan sungai masih

kerap dijumpai dan menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, yang pada akhirnya berpotensi mengganggu kesehatan manusia [2]. Secara umum sampah dibedakan menjadi dua jenis yaitu sampah organik dan sampah anorganik. Kedua jenis sampah tersebut memiliki manfaat namun juga dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Sampah organik merupakan limbah yang berasal dari sisa makhluk hidup seperti hewan, manusia, dan tumbuhan yang mengalami pembusukan atau pelapukan [3]. Jenis sampah ini tergolong ramah lingkungan karena dapat terurai secara alami oleh bakteri dalam waktu relatif singkat. Sementara itu sampah anorganik merupakan limbah yang berasal dari aktivitas manusia dan sulit terurai secara alami sehingga membutuhkan waktu yang sangat lama bahkan hingga ratusan tahun untuk terurai [4].

Sampah yang tidak terurai dengan baik dapat menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan, seperti pencemaran tanah, air, dan udara [5]. Kesadaran siswa dan orang tua di lingkungan masyarakat terhadap pentingnya pemilahan sampah organik dan anorganik masih tergolong rendah. Padahal, pemilahan sampah merupakan tahap awal dalam pengelolaan sampah yang efektif untuk mengurangi dampak negatif. Kondisi tersebut menyebabkan banyak sampah terbuang tanpa melalui proses pemilahan dan pengelolaan yang tepat sehingga potensi sampah yang dapat didaur ulang atau diolah kembali menjadi bahan berguna terbuang dan menimbulkan pemborosan sumber daya alam. Selain itu, sampah yang tidak dikelola dengan baik berpotensi menjadi sumber penyakit karena tumpukan sampah organik yang membusuk dapat memicu berkembangnya nyamuk, tikus, dan hama pembawa penyakit lainnya [6]. Kurangnya pemahaman masyarakat mengenai pemilahan sampah berdampak pada sampah yang dibuang ke TPS3R sehingga tidak terpilah dengan baik. Perubahan pola pikir untuk menerapkan prinsip *zero waste* dalam kehidupan sehari-hari memang tidak mudah, sehingga diperlukan upaya edukasi yang berkelanjutan. Salah satu langkah yang dapat dilakukan adalah melalui penanaman kebiasaan sejak tahap awal pendidikan. Anak cenderung meniru perilaku orang dewasa di sekitarnya sehingga pembiasaan yang baik perlu diberikan secara konsisten. Pendekatan ini menitikberatkan pada pembentukan karakter anak terutama dalam menanamkan budaya bersih dan kebiasaan membuang sampah pada tempatnya. Anak sekolah dasar relatif mudah menerima pembelajaran sehingga kesadaran mereka menjadi faktor penting dalam membangun pemahaman mengenai lingkungan yang bersih dan sehat [7].

Metode edukasi konvensional yang mengandalkan penjelasan lisan atau buku teks sering kali kurang menarik bagi siswa sehingga penyampaian pesan mengenai pentingnya pemilahan sampah tidak berjalan secara optimal [8][9]. Oleh karena itu diperlukan solusi inovatif berbasis teknologi yang mampu menghadirkan pengalaman pembelajaran yang lebih interaktif, menyenangkan, dan mudah diterapkan oleh siswa. Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas pengembangan media edukasi dan sistem klasifikasi sampah dengan berbagai pendekatan. Sejumlah studi memanfaatkan aplikasi berbasis Android dan metode *convolutional neural network* untuk melakukan klasifikasi sampah secara otomatis, baik untuk masyarakat umum maupun skala rumah tangga [10]. Selain itu, arsitektur MobileNetV2 banyak digunakan pada perangkat mobile karena ringan dan memiliki tingkat akurasi yang cukup baik [11]. Penelitian lain juga menekankan aspek edukatif melalui penerapan elemen gamifikasi yang terbukti mampu meningkatkan keterlibatan dan motivasi belajar siswa sekolah dasar [12]. Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada fungsi tertentu seperti klasifikasi atau edukasi saja, dan belum mengintegrasikan sistem pembelajaran yang terstruktur, manajemen pengguna, serta dukungan operasional secara offline dalam satu platform yang utuh [13].

Berdasarkan permasalahan dan keterbatasan penelitian sebelumnya yang umumnya masih bersifat pasif dan memisahkan antara edukasi serta praktik pemilahan sampah, penelitian ini mengusulkan pengembangan tempat sampah cerdas sebagai media edukasi interaktif bagi siswa. Berbeda dengan pendekatan terdahulu yang lebih menekankan penyampaian materi secara satu arah, konsep alat ini mengintegrasikan fungsi pembelajaran dan penerapan langsung dalam proses pemilahan sampah melalui pendekatan yang lebih menarik dan partisipatif. Media interaktif yang disediakan dirancang untuk membantu siswa memahami jenis sampah, cara pengolahan, serta perbedaan warna tempat sampah sesuai kategorinya. Integrasi antara pembelajaran dan praktik ini diharapkan mampu meningkatkan pemahaman serta keterlibatan siswa, sekaligus menjawab keterbatasan solusi sebelumnya yang belum terhubung secara langsung dengan aktivitas sehari-hari.

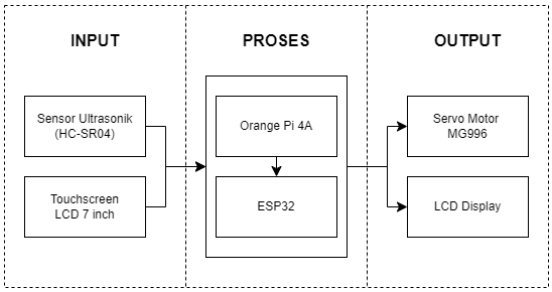
2. Metode

2.1. Blok Diagram

Tempat Sampah Cerdas dirancang dengan konsep Input–Proses–Output seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pada bagian input, sistem menerima data dari sensor ultrasonik (HC-SR04) yang berfungsi mendeteksi keberadaan tangan atau objek di depan tempat sampah [14]. LCD *touchscreen* 7 inci yang digunakan berfungsi sebagai media penampil dan interaksi pengguna [15]. Input dari sensor dan layar sentuh ini menjadi dasar bagi sistem untuk menentukan kondisi kerja, seperti membuka, mempertahankan, atau menutup kembali tutup tempat sampah.

Data dari input selanjutnya diolah pada bagian proses yang terdiri dari Orange Pi 4A dan ESP32, di mana Orange Pi 4A berfungsi sebagai pengolah utama yang menjalankan aplikasi dan antarmuka pada LCD *touchscreen*, sedangkan

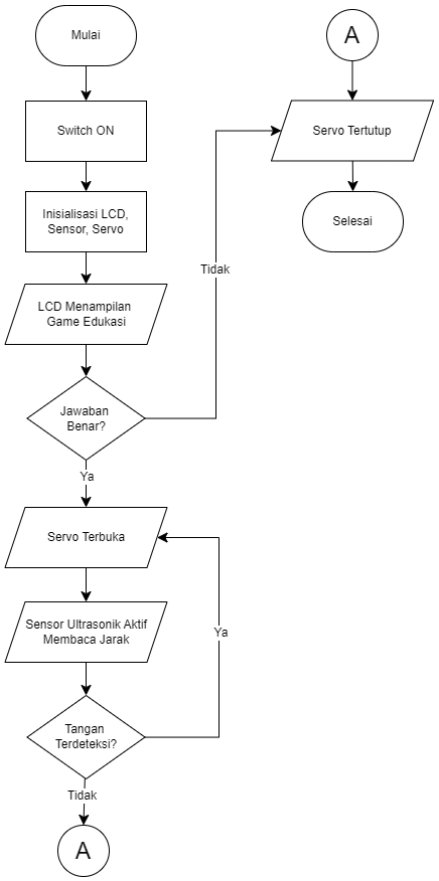
ESP32 berfungsi sebagai pengendali perangkat keras yang membaca data sensor serta mengontrol kerja servo. Hasil pemrosesan tersebut menghasilkan output berupa pergerakan motor servo MG996 yang membuka dan menutup tutup tempat sampah secara otomatis, serta tampilan informasi pada LCD display sebagai umpan balik kepada pengguna.



Gambar 1. Blok Diagram Sistem Tempat Sampah Cerdas

2.2. Flowchart

Berikut ini disajikan gambaran proses kerja alat edukasi yang ditampilkan dalam bentuk *flowchart* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. *Flowchart* Sistem Tempat Sampah Cerdas

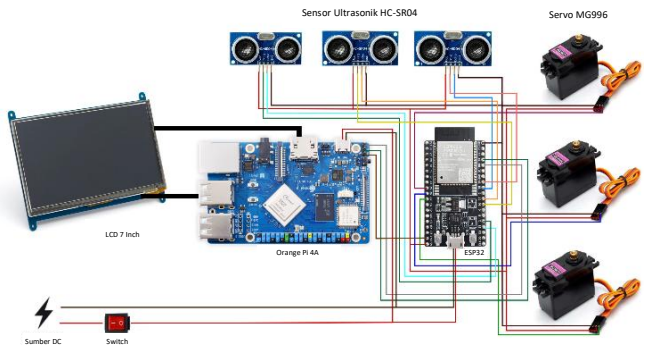
Berdasarkan *flowchart* yang ditunjukkan pada Gambar 2, dapat diketahui alur kerja alat edukasi tempat sampah cerdas yang dimulai dari proses Mulai, kemudian sistem diaktifkan melalui *switch* ON. Setelah itu, sistem melakukan inisialisasi LCD, sensor ultrasonik, dan servo untuk memastikan seluruh komponen siap digunakan. Selanjutnya, LCD menampilkan game edukasi sebagai media interaksi dengan pengguna. Sistem kemudian melakukan pengecekan pada tahap jawaban benar atau tidak. Apabila jawaban tidak benar, maka servo tetap dalam kondisi tertutup dan proses berakhir.

Apabila jawaban benar, servo akan terbuka sehingga pengguna dapat memasukkan sampah. Pada kondisi ini, sensor ultrasonik aktif untuk membaca jarak guna mendeteksi keberadaan tangan di depan tempat sampah. Jika tangan masih terdeteksi, servo akan tetap terbuka sebagai mekanisme keamanan untuk mencegah terjadinya kejepit. Sebaliknya, apabila tangan sudah tidak terdeteksi, proses akan dilanjutkan ke konektor A, kemudian servo akan menutup kembali, dan sistem mengakhiri proses. Alur ini memastikan alat bekerja secara interaktif, aman, dan sesuai dengan tujuan edukasi yang dirancang.

2.3. Perancangan *Wiring* Komponen

Perancangan *wiring* komponen pada sistem ini ditunjukkan pada Gambar 3, yang menggambarkan hubungan antar perangkat keras secara keseluruhan. Orange Pi 4A terhubung dengan LCD 7 inci sebagai media tampilan antarmuka pengguna, sementara ESP32 berperan sebagai pengendali utama sensor dan aktuator.

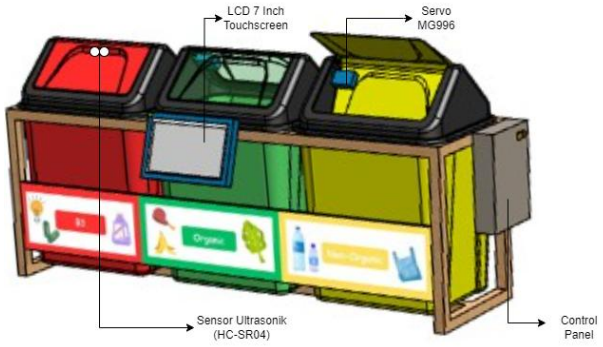
Beberapa sensor ultrasonik HC-SR04 dihubungkan ke pin input ESP32 untuk mendeteksi keberadaan tangan pengguna, dan hasil pembacaan sensor tersebut digunakan sebagai dasar pengendalian motor servo MG996 yang berfungsi membuka dan menutup tutup tempat sampah secara otomatis. Seluruh komponen memperoleh catu daya dari sumber DC yang dikendalikan melalui saklar, sehingga sistem dapat diaktifkan dan dinonaktifkan dengan mudah.



Gambar 3. Skematik Wiring Komponen

2.4. Perancangan *Hardware*

Desain sistem tempat sampah cerdas ini ditunjukkan pada Gambar 4, yang memperlihatkan susunan fisik komponen utama dalam satu kesatuan alat. Setiap kompartemen tempat sampah dilengkapi dengan sensor ultrasonik HC-SR04 yang berfungsi mendeteksi keberadaan tangan pengguna sebagai pemicu pembukaan tutup. Pada bagian tengah rangka dipasang LCD 7 inci *touchscreen* sebagai media interaksi dan penyampaian informasi kepada pengguna. Seluruh komponen elektronik dihubungkan dan dikendalikan melalui panel kontrol yang terpasang di sisi alat, sehingga tata letak *hardware* dirancang rapi dan mudah diakses.



Gambar 4. Desain 3D Keseluruhan Alat

2.5. Perancangan *Software*

Perencanaan perangkat lunak pada alat Tempat Sampah Cerdas difokuskan pada pengembangan sistem interaktif yang mampu mengintegrasikan game edukasi dengan mekanisme kontrol perangkat keras. Perangkat lunak dirancang berbasis web menggunakan HTML, CSS, dan JavaScript, sehingga dapat dijalankan melalui browser pada Orange Pi yang terhubung dengan LCD touchscreen. Proses pengembangan perangkat lunak dilakukan menggunakan Visual Studio Code sebagai editor kode untuk memudahkan penulisan, pengelolaan, dan pengujian program.

Dalam perancangannya, perangkat lunak dibagi ke dalam beberapa modul utama, yaitu modul antarmuka pengguna, modul logika permainan, dan modul komunikasi sistem. Modul antarmuka pengguna berfungsi menampilkan materi dan permainan edukasi mengenai pengelolaan sampah serta menerima input dari pengguna melalui layar sentuh. Modul logika permainan bertugas memproses jawaban pengguna dan menentukan hasil interaksi, sedangkan modul komunikasi sistem digunakan untuk mengirimkan perintah ke sistem kontrol sehingga perangkat keluaran dapat bekerja sesuai dengan kondisi yang ditentukan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Perancangan Alat Tempat Sampah Cerdas

Hasil perancangan alat tempat sampah cerdas ditunjukkan pada Gambar 5, berupa *smart interactive bin* dengan tiga kompartemen pemilahan sampah yang masing-masing dilengkapi tutup otomatis berbasis servo dan sensor ultrasonik. Pada bagian tengah alat terdapat LCD touchscreen sebagai media interaksi yang menampilkan permainan edukasi dan informasi penggunaan, sehingga pengguna dapat belajar sambil berinteraksi langsung dengan alat. Desain fisik dibuat kokoh dan informatif dengan tampilan visual kategori sampah pada bagian depan, sehingga alat ini mampu meningkatkan ketertarikan pengguna dalam membuang sampah dengan cara yang benar.



Gambar 5. Hasil Perancangan Alat

3.2. Hasil Perancangan Permainan Edukasi

Permainan ini dirancang sebagai media pembelajaran berbasis visual dan interaksi sentuh yang ditampilkan pada layar LCD untuk meningkatkan pemahaman siswa mengenai pengelolaan sampah. Gambar 6 menunjukkan tampilan menu awal yang berfungsi sebagai halaman utama, di mana pengguna dapat memilih permainan.



Gambar 6. Tampilan Utama

Game pertama yaitu "Tebak Gambar" yang ditunjukkan pada Gambar 7, dirancang untuk melatih kemampuan siswa dalam mengenali jenis-jenis sampah melalui ilustrasi visual. Pada permainan ini, siswa diminta menebak kategori sampah berdasarkan gambar yang ditampilkan sehingga dapat membantu membedakan sampah organik, anorganik, dan B3.



Gambar 7. Tampilan Game Ke-1

Selanjutnya, Gambar 8 menampilkan *game* "Pilah Yuk!", yang berfokus pada pemilahan sampah berdasarkan warna tempat sampah. Permainan ini mengajak siswa mencocokkan jenis sampah dengan warna tempat sampah yang sesuai agar siswa memahami sistem klasifikasi sampah secara benar.



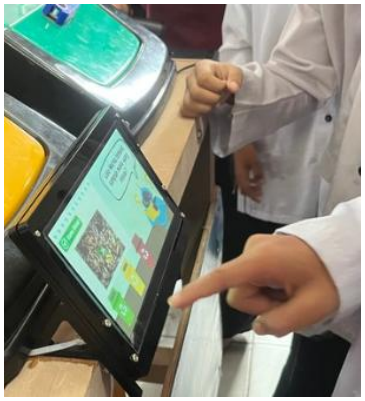
Gambar 8. Tampilan Game Ke-2

Game ketiga yaitu "*Eco Hero*" yang ditunjukkan pada Gambar 9, mengangkat konsep 3R (*Reduce*, *Reuse*, *Recycle*) sebagai dasar utama dalam pengelolaan sampah yang berkelanjutan. Konsep tersebut diperkenalkan kepada pemain melalui alur permainan yang sederhana dan mudah dipahami. *Game* ini bertujuan untuk menanamkan kesadaran dan kepedulian terhadap lingkungan kepada siswa dengan memanfaatkan pendekatan edukatif yang menarik dan interaktif.



Gambar 9. Tampilan Game Ke-3

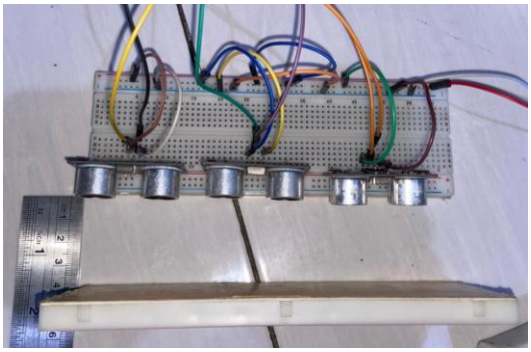
Selanjutnya, Gambar 10 memperlihatkan implementasi game yang diterapkan secara langsung pada alat tempat sampah cerdas, di mana siswa dapat berinteraksi dengan layar LCD yang berfungsi sebagai media edukasi.



Gambar 10. Implementasi Game

3.3. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik

Pengujian sensor ultrasonik HC-SR04 dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi pembacaan jarak yang digunakan pada sistem tempat sampah cerdas, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 11.



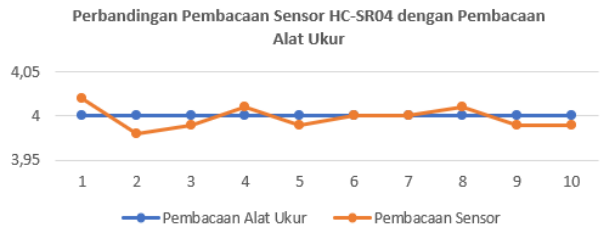
Gambar 11. Pengujian Sensor Ultrasonik (HC-SR04)

Pada pengujian ini, sensor diuji dengan membandingkan hasil pembacaan jarak sensor terhadap alat ukur berupa penggaris pada jarak tetap 4,00 cm. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 1, yang menunjukkan bahwa pembacaan sensor berada sangat dekat dengan nilai referensi alat ukur. Selisih pembacaan yang terjadi relatif kecil, dengan nilai error berkisar antara 0,25% hingga 0,5%.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik 1 (HC-SR04)

No	Pembacaan Alat Ukur (cm)	Pembacaan Sensor HC-SR04 (cm)	Nilai Error (%)
1	4,00	4,02	0,5
2	4,00	3,98	0,5
3	4,00	3,99	0,25
4	4,00	4,01	0,25
5	4,00	3,99	0,25
6	4,00	4,00	0
7	4,00	4,00	0
8	4,00	4,01	0,25
9	4,00	3,99	0,25
10	4,00	3,99	0,25
Total Rata-Rata			0,05

Berdasarkan data pada Tabel 1, diperoleh nilai rata-rata error sebesar 0,05%, yang menandakan bahwa sensor ultrasonik HC-SR04 memiliki tingkat akurasi yang baik dan stabil. Hal ini menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi jarak dengan cukup akurat untuk kebutuhan sistem. Grafik pada Gambar 12 memperlihatkan bahwa fluktuasi pembacaan sensor sangat kecil dan cenderung konsisten terhadap nilai referensi alat ukur.



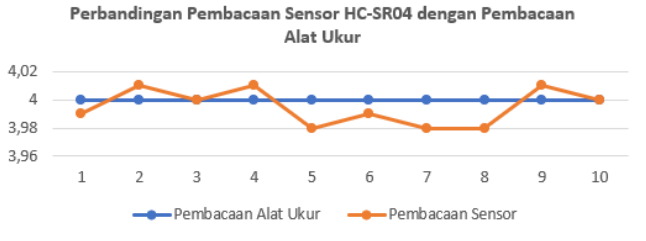
Gambar 12. Perbandingan Pengujian Sensor Ultrasonik (HC-SR04) Ke-1

Pengujian selanjutnya dilakukan pada sensor ultrasonik HC-SR04 kedua dengan tujuan untuk memastikan konsistensi dan keseragaman kinerja antar sensor yang digunakan dalam sistem secara keseluruhan. Hasil dari pengujian ini disajikan pada Tabel 2 sebagai bahan analisis lebih lanjut. Prosedur pengujian yang diterapkan pada sensor kedua dilakukan dengan metode yang sama seperti pada sensor pertama, yaitu dengan membandingkan hasil pembacaan jarak oleh sensor terhadap alat ukur standar pada jarak tetap sebesar 4,00 cm. Pendekatan ini digunakan untuk menjaga keseragaman kondisi pengujian sehingga hasil yang diperoleh dapat dibandingkan secara objektif. Berdasarkan data yang ditunjukkan pada Tabel 2, hasil pembacaan jarak oleh sensor ultrasonik HC-SR04 kedua menunjukkan nilai yang masih sangat mendekati nilai referensi. Meskipun demikian, terdapat sedikit variasi pada hasil pengukuran yang menyebabkan nilai error berada pada rentang 0,25% hingga 0,5%.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik 2 (HC-SR04)

No	Pembacaan Alat Ukur (cm)	Pembacaan Sensor HC-SR04 (cm)	Nilai Error (%)
1	4,00	3,99	0,25
2	4,00	4,01	0,25
3	4,00	4,00	0
4	4,00	4,01	0,25
5	4,00	3,98	0,5
6	4,00	3,99	0,25
7	4,00	3,98	0,5
8	4,00	3,98	0,5
9	4,00	4,01	0,25
10	4,00	4,00	0
Total Rata-Rata			0,125

Berdasarkan data hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 2, diperoleh nilai rata-rata error sebesar 0,125%. Nilai error tersebut menunjukkan bahwa tingkat penyimpangan hasil pembacaan sensor ultrasonik HC-SR04 kedua terhadap nilai referensi tergolong sangat kecil. Dengan demikian, sensor ini masih dapat dikategorikan memiliki tingkat akurasi yang baik dan layak untuk digunakan dalam sistem yang dirancang. Nilai rata-rata error yang rendah juga mengindikasikan bahwa sensor mampu memberikan hasil pengukuran yang cukup konsisten pada jarak pengujian yang telah ditentukan. Untuk mempermudah proses analisis dan memberikan gambaran visual yang lebih jelas mengenai kinerja sensor, perbandingan antara hasil pembacaan sensor dan alat ukur turut disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 13. Grafik tersebut memperlihatkan bahwa fluktuasi nilai pembacaan sensor relatif kecil serta tidak menunjukkan adanya penyimpangan yang signifikan. Seluruh variasi pengukuran yang terjadi masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima.



Gambar 13. Perbandingan Pengujian Sensor Ultrasonik (HC-SR04) Ke-2

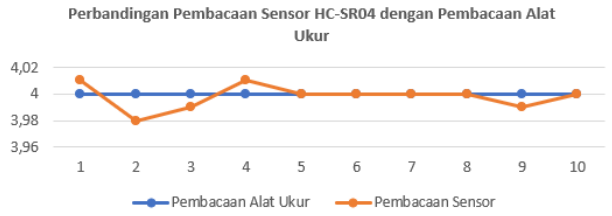
Pengujian berikutnya dilakukan pada sensor ultrasonik HC-SR04 ketiga dengan prosedur yang sama seperti pengujian sensor pertama dan kedua, yaitu membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur pada jarak referensi 4,00 cm. Hasil pengujian sensor ketiga disajikan pada Tabel 3, yang menunjukkan bahwa

sebagian besar pembacaan sensor sangat mendekati nilai alat ukur, bahkan beberapa pengukuran menghasilkan nilai yang sama persis dengan jarak referensi.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik 3 (HC-SR04)

No	Pembacaan Alat Ukur (cm)	Pembacaan Sensor HC-SR04 (cm)	Nilai Error (%)
1	4,00	4,01	0,25
2	4,00	3,98	0,5
3	4,00	3,99	0,25
4	4,00	4,01	0,25
5	4,00	4,00	0
6	4,00	4,00	0
7	4,00	4,00	0
8	4,00	4,00	0
9	4,00	3,99	0,25
10	4,00	4,00	0
Total Rata-Rata			0,05

Berdasarkan data pada Tabel 3, diperoleh nilai rata-rata error sebesar 0,05%, yang menandakan bahwa sensor ultrasonik HC-SR04 ketiga memiliki tingkat akurasi yang sangat baik dan stabil. Perbandingan antara pembacaan sensor dan alat ukur juga ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 14, yang memperlihatkan bahwa fluktuasi nilai pembacaan sensor sangat kecil dan cenderung konsisten.



Gambar 14. Perbandingan Pengujian Sensor Ultrasonik (HC-SR04) Ke-3

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada tiga sensor ultrasonik HC-SR04, diperoleh nilai rata-rata error yang relatif kecil pada masing-masing sensor. Sensor pertama menghasilkan nilai rata-rata error sebesar 0,05%, sensor kedua sebesar 0,125%, dan sensor ketiga kembali menunjukkan nilai rata-rata error sebesar 0,05%. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa perbedaan antara hasil pembacaan jarak oleh sensor dan alat ukur standar masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Hal ini mengindikasikan bahwa ketiga sensor memiliki tingkat akurasi yang baik dan konsisten ketika digunakan dalam sistem.

3.4. Hasil Pengujian Sudut Motor Servo

Pengujian sudut motor servo dilakukan untuk mengevaluasi tingkat ketepatan pergerakan tiga motor servo yang digunakan pada sistem tempat sampah cerdas. Hasil dari pengujian ini disajikan pada Tabel 4 sebagai dasar analisis kinerja motor servo. Setiap motor servo diuji pada beberapa sudut referensi, yaitu 5°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, dan 180°. Proses pengujian dilakukan dengan cara membandingkan sudut aktual yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan sudut yang dibaca atau ditunjukkan oleh motor servo. Metode ini digunakan untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara sudut yang diperintahkan dan sudut yang dihasilkan oleh motor servo selama proses pengujian.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sudut Motor Servo

Motor Servo	Pengukuran Aktual	Pembacaan Motor Servo	Nilai Error (%)	Akurasi (%)
1	5°	5°	0	100
	30°	30°	0	100
	60°	60°	0	100
	90°	90°	0	100
	120°	121°	0,83	99,17
	150°	149°	0,67	99,33
	180°	180°	0	100
Total Rata-Rata			0,21	99,79
2	5°	5°	0	100
	30°	31°	3,33	96,67
	60°	60°	0	100
	90°	90°	0	100
	120°	120°	0	100
	150°	149°	0,67	99,33
	180°	180°	0	100
Total Rata-Rata			0,57	99,43
3	5°	5°	0	100
	30°	30°	0	100
	60°	61°	1,67	98,33
	90°	89°	1,11	98,89
	120°	121°	0,83	99,17
	150°	152°	1,3	98,67
	180°	178°	1,11	98,89
Total Rata-Rata			0,87	99,13

Berdasarkan data hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 4, motor servo pertama menunjukkan performa yang sangat stabil dengan nilai rata-rata error sebesar 0,21% dan tingkat akurasi sebesar 99,79%. Motor servo kedua juga menunjukkan kinerja yang baik dengan nilai rata-rata error sebesar 0,57% dan akurasi 99,43%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kedua motor servo mampu mengikuti perintah sudut dengan tingkat ketelitian yang tinggi dan konsisten pada berbagai sudut pengujian. Motor servo ketiga memiliki nilai rata-rata error yang sedikit lebih besar dibandingkan dua motor servo lainnya, yaitu sebesar 0,87% dengan tingkat akurasi 99,13%. Perbedaan ini terlihat pada beberapa sudut tertentu, di mana terjadi selisih kecil antara sudut referensi dan sudut aktual hasil pengukuran.

Meskipun demikian, selisih sudut yang terjadi masih tergolong kecil secara absolut dan berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Variasi tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti keterbatasan resolusi mekanik motor servo, ketidaktepatan posisi awal servo, serta potensi kesalahan pembacaan sudut secara manual. Analisis lebih lanjut pada motor servo kedua menunjukkan adanya nilai error yang relatif lebih besar pada sudut 30°, yaitu sebesar 3,33% dengan selisih absolut

sebesar 1°. Meskipun nilai persentase error pada sudut ini lebih tinggi dibandingkan sudut lainnya, selisih absolut sebesar 1° tersebut tidak berdampak signifikan terhadap mekanisme fisik pembukaan tutup tempat sampah. Hal ini dikarenakan sistem dirancang hanya menggunakan dua posisi utama servo, yaitu posisi terbuka penuh (90°) dan posisi tertutup (5°), di mana posisi 5° ditetapkan berdasarkan hasil kalibrasi mekanik sebagai titik di mana tutup tempat sampah berada dalam kondisi tertutup rapat secara fisik sesuai dengan posisi pemasangan servo pada rangka alat. Dengan demikian, pergerakan pada sudut transisi seperti 30° tidak menjadi posisi kritis yang memengaruhi fungsi utama alat, dan variasi error yang terjadi masih dapat ditoleransi dan tidak mengganggu kinerja sistem secara keseluruhan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, sistem tempat sampah cerdas berbasis Orange Pi 4A dan ESP32 berhasil direalisasikan sebagai media edukasi interaktif yang mengintegrasikan pembelajaran dengan praktik pemilahan sampah secara langsung. Sistem bekerja dengan baik melalui dukungan sensor ultrasonik HC-SR04 dan motor servo yang menunjukkan tingkat akurasi tinggi serta stabilitas yang dapat diterima. Penerapan *game* edukasi pada LCD *touchscreen* memberikan sarana interaksi yang menarik bagi pengguna serta membantu menyampaikan informasi mengenai jenis sampah dan pemilahan yang benar secara visual dan interaktif. Demikian, alat ini berpotensi menjadi sarana pembelajaran yang mendukung peningkatan pemahaman dan kesadaran pengguna terhadap pengelolaan sampah di lingkungan pendidikan.

Referensi

[1]. M. Idris, M. Setyawan, and Z. Mufrodi, "Teknologi Insinerasi Sebagai Solusi Pengolahan Sampah Perkotaan dan Pemulihan Energi : A Review," no. April, 2024.

[2]. M. Ramdhan and E. Hermawan, "PERMASALAHAN SAMPAH DI KOTA BOGOR SEBAGAI WILAYAH PENYANGGA DKI JAKARTA," *J. Ris. JAKARTA*, vol. 15, no. 2, 2022.

[3]. E. Utari, W. P. Pramudita, and Z. Pratiwi, "Analisis Hubungan Kebiasaan Konsumsi Dengan Kuantitas Sampah Domestik," vol. 4, 2023.

[4]. S. Wahyuningsih, B. Widiati, T. Melinda, and T. Abdullah, "Sosialisasi Pemilahan Sampah Organik dan Non-Organik Serta Pengadaan Tempat Sampah Organik dan Non-Organik," vol. 2, no. 1, pp. 7–15, 2023.

[5]. R. F. Silolongan and T. Apriyono, "ANALISIS FAKTOR PENGHAMBAT EFEKTIVITAS PENGELOLAAN SAMPAH DI KABUPATEN MIMIKA," vol. 3, pp. 17–39, 2019.

[6]. Y. DS Nur, T. Suparman, and A. Fitri, "Edukasi Pemilahan Sampah Organik dan Anorganik di Sekolah Dasar," pp. 55–61, 2023.

[7]. K. J. A. Sudharma and N. L. M. Juniari, "PENINGKATAN PARTISIPASI SISWA DALAM PEMILAHAN SAMPAH MELALUI PENERAPAN ZERO WASTE Kadek," vol. 7, no. 2, pp. 532–540, 2023.

[8]. S. Z. Ningtyas and S. Pradikto, "Pengaruh Metode Pembelajaran Konvensional dan Game terhadap Pembelajaran KWU dalam Meningkatkan Minat Belajar SMAN 4 Pasuruan," *J. Kaji. dan Penelit. Umum*, vol. 3, pp. 115–124, 2025.

[9]. N. Fitria and M. Darwis, "Pengaruh Metode Pembelajaran Konvensional dan Pembelajaran Berbasis Teknologi Terhadap Pemahaman Materi PAI di SMPN 1 Randuagung," vol. 1, 2024.

[10]. A. P. Alphita and P. O. N. Saian, "PENGEMBANGAN APLIKASI EDUKASI PENGELOLAAN SAMPAH UNTUK ANAK SEKOLAH DASAR BERBASIS MOBILE DENGAN TEKNOLOGI MACHINE LEARNING," vol. 02, pp. 1–16, 2023.

[11]. A. T. Nur wahid, F. G. Affifudin, M. Aditya, and D. Muriyatmoko, "Implementasi Arsitektur MobileNetV2 untuk Klasifikasi Sampah Organik dan Anorganik Berbasis Android," vol. 5, pp. 907–913, 2026.

[12]. D. Juhandi, Taufiqurrahman, A. W. Pasaribu, Riyadi Muhammad, R. R. Fajar, and A. Kamila, "Meningkatkan Kesadaran Keberlanjutan Lingkungan Melalui Pendekatan Gamifikasi Pada Anak Sekolah Dasar," vol. 7, no. 2, 2025.

[13]. R. Albana and H. Siregar, "Rancang Bangun Aplikasi Edukasi Pemilahan Sampah ' Pilahin ' Berbasis Android Menggunakan Kotlin," vol. 4, no. 2, pp. 2038–2048, 2026.

[14]. I. N. Khalifah, T. A. Prihatini, and A. R. Sapala, "Tempat Sampah Pintar berbasis IOT Menggunkan Sensor Ultrasonic dan Motor Servo," vol. 8, 2023.

[15]. S. Nirwan and H. Ms, "KONSUMSI ENERGI LISTRIK PADA PERALATAN ELEKTRONIK BERBASIS PZEM-004T," vol. 12, no. 2, pp. 22–28, 2020.