

Sistem Pengelolaan Sampah Otomatis Integrasi Teachable Machine dan Robotik mBot 1 untuk Pengembangan Reverse Vending Machine Berkelanjutan

Rio Vincent Marulam Manalu*, Firdaus Hosea Pasaribu, Handinata, Agrifa Insani Napitupulu, Agung Prabowo

Fakultas Sains dan Teknologi, Teknik Informatika, Universitas Prima Indonesia, Medan, Indonesia

Email: ^{1*}riovinsen123@gmail.com, ²firdauspasaribu79@gmail.com, ³handi.nata@yahoo.co.id,

⁴agrifainsaninapit@gmail.com, ⁵agungprabowo@unprimdn.ac.id

Email Penulis Korespondensi: riovinsen123@gmail.com*

Submitted: 18/08/2025; Accepted: 26/08/2025; Published: 08/09/2025

Abstrak—Di Indonesia, masalah pengelolaan sampah masih menjadi perhatian utama, terutama yang berkaitan dengan sampah plastik dan kaleng. Tujuan dari proyek ini adalah untuk membuat prototipe Reverse Vending Machine (RVM) yang dapat secara otomatis mengenali dan menangani dua bentuk sampah yang berbeda dengan menggunakan Teachable Machine dan robotika mBot 1. Setelah mengambil gambar objek dengan kamera, sistem menggunakan model klasifikasi gambar dari Teachable Machine untuk memproses gambar tersebut. Untuk mengoperasikan aktuator servo yang memandu pembuangan objek, hasil klasifikasi dikirimkan ke mBot 1 melalui koneksi serial. Dengan akurasi pelatihan masing-masing 98% dan 97%, model ini dilatih pada dataset 200 foto, 100 di antaranya adalah botol plastik dan 100 foto lainnya adalah kaleng. Dengan total durasi eksekusi sekitar 7,2 detik, akurasi deteksi rata-rata dalam pengujian sistem adalah 85%. Hasil ini menunjukkan seberapa baik sistem dapat melakukan aktivitas fisik dan pendeteksian. Namun demikian, masalah seperti kesalahan klasifikasi karena penempatan barang yang salah dan penundaan komunikasi terus mengganggu sistem. Penelitian ini menunjukkan kemungkinan menggabungkan robotika dasar dan kecerdasan buatan ke dalam solusi pengelolaan sampah berteknologi. Hal ini juga dapat berfungsi sebagai alat pengajaran bagi siswa yang mempelajari otomasi dan AI.

Kata Kunci: Pengelolaan Sampah Otomatis; Teachable Machine; mBot 1; Klasifikasi Gambar; Mesin Penjual Otomatis

Abstract—In Indonesia, waste management remains a major concern, especially regarding plastic and can waste. The purpose of this project is to create a prototype of a Reverse Vending Machine (RVM) that can automatically recognize and handle two different types of waste using Teachable Machine and mBot 1 robotics. After capturing an image of the object with a camera, the system uses an image classification model from Teachable Machine to process the image. To operate the servo actuator that guides the disposal of the object, the classification result is sent to mBot 1 via a serial connection. With training accuracies of 98% and 97%, the model was trained on a dataset of 200 photos, 100 of which were plastic bottles and the other 100 were cans. With a total execution time of about 7.2 seconds, the average detection accuracy in system testing was 85%. These results demonstrate how well the system can perform physical actions and detection. However, issues such as misclassification due to improper object placement and communication delays continue to affect the system. This study highlights the potential of combining basic robotics and artificial intelligence into a technology-based waste management solution. It can also serve as a teaching tool for students learning about automation and AI.

Keywords: Automatic Waste Management; mBot 1; Teachable Machine; Image Classification; Reverse Vending Machine

1. PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang masih menjadi tantangan besar, terutama di negara berkembang seperti Indonesia. Berdasarkan data terkini, plastik merupakan salah satu penyumbang utama limbah yang sulit terurai, sehingga berdampak negatif terhadap ekosistem darat maupun laut [1], [2]. Plastik yang tidak terkelola dengan baik dapat bertahan selama ratusan tahun, menyebabkan kerusakan lingkungan yang serius dan mengancam kelangsungan hidup makhluk hidup [3]. Kondisi ini semakin diperburuk oleh rendahnya kesadaran masyarakat dalam melakukan pemilahan dan daur ulang sampah [4][5]. Salah satu solusi yang banyak diterapkan di negara maju adalah penggunaan Reverse Vending Machine (RVM), yaitu mesin otomatis yang mampu mengenali jenis sampah tertentu, seperti botol plastik dan kaleng, untuk kemudian memberikan insentif kepada pengguna [6]. Teknologi ini terbukti efektif dalam meningkatkan tingkat pengembalian botol plastik dan mengurangi limbah [7]. Namun, penerapan RVM di Indonesia masih terbatas karena biaya implementasi yang tinggi serta kompleksitas integrasi teknologi, baik dari sisi perangkat keras maupun perangkat lunak [8].

Dalam penelitian ini, penulis mengusulkan pengembangan prototipe RVM berbasis kecerdasan buatan (AI) dengan memanfaatkan Teachable Machine untuk klasifikasi objek dan robotik mBot1 untuk mengendalikan aktuator fisik. Teachable Machine adalah platform berbasis web yang dikembangkan oleh Google, yang memungkinkan pengguna membuat model pembelajaran mesin dengan mudah tanpa memerlukan keahlian pemrograman yang mendalam [9][10]. Teknologi ini digunakan untuk mengenali dua kategori sampah, yaitu botol plastik dan kaleng, melalui model klasifikasi berbasis citra. Hasil klasifikasi ini kemudian diintegrasikan dengan sistem robotik mBot1 yang bertugas mengarahkan sampah ke wadah yang sesuai [11].

Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengkaji pengembangan sistem RVM berbasis teknologi. Misalnya, penelitian oleh Aryo Pamungkas dan Giri Persada [6] mengusulkan RVM berbasis IoT dengan deteksi objek menggunakan MobileNet SSD dan mekanisme insentif berbasis poin. Dwi Fathonah [12] merancang RVM khusus botol plastik yang dilengkapi alat tulis sebagai bentuk insentif. Penelitian lain oleh Handoko [13] mengembangkan sistem RVM penukar limbah botol plastik dengan tiket, sedangkan Ibrahim [14] merancang RVM untuk botol kaleng dan plastik yang dapat diterapkan di Indonesia. Syafriyadi Nor [15] meneliti integrasi Teachable Machine dengan Arduino untuk pengklasifikasian objek secara real-time, namun belum diterapkan pada sistem RVM secara lengkap.[16][17]

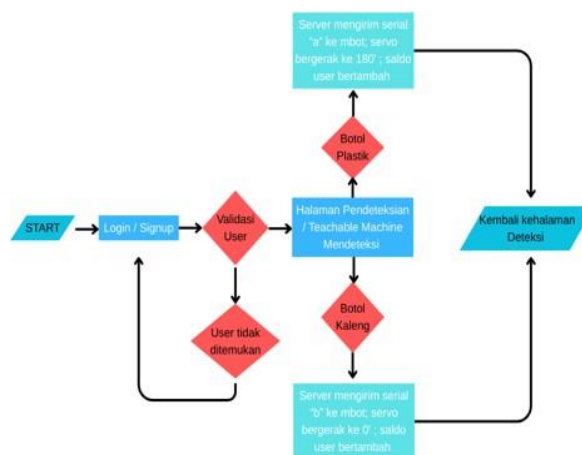
Berdasarkan literatur tersebut, dapat diidentifikasi gap penelitian, yaitu belum adanya implementasi RVM yang menggabungkan model klasifikasi berbasis Teachable Machine dengan sistem kendali fisik berbasis robotik mBot1, serta dukungan Firebase untuk autentikasi pengguna dan manajemen data secara real-time. Pendekatan ini menawarkan solusi yang lebih ekonomis dan mudah diterapkan untuk skala pendidikan maupun pengelolaan sampah sederhana.

Tujuan utama penelitian ini adalah (1) merancang dan mengimplementasikan prototipe RVM yang mampu mengklasifikasikan sampah botol plastik dan kaleng menggunakan Teachable Machine; (2) mengintegrasikan hasil klasifikasi dengan sistem kendali berbasis mBot1 untuk menggerakkan aktuator secara otomatis; dan (3) mengevaluasi kinerja sistem dalam hal akurasi deteksi, waktu respons, dan stabilitas operasional. Penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan solusi praktis dalam pengelolaan sampah, tetapi juga menjadi sarana edukasi dalam pengenalan teknologi robotika dan kecerdasan buatan kepada mahasiswa [18][19].

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa eksperimental (engineering experimental research). Pendekatan ini dipilih karena berfokus pada perancangan, pengembangan, dan pengujian prototipe secara langsung sehingga memungkinkan validasi kinerja sistem dalam kondisi nyata. Hal ini sesuai dengan tujuan penelitian yang tidak hanya ingin menghasilkan rancangan teoretis, tetapi juga prototipe RVM yang fungsional.



Gambar 1. Diagram Alur Sistem

Tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1, meliputi:

1. Analisis Masalah dan Studi Literatur
Mengidentifikasi permasalahan pengelolaan limbah anorganik, khususnya kemasan sekali pakai, serta mengkaji literatur terkait teknologi RVM, penggunaan Teachable Machine, dan integrasi dengan robotik.
2. Perancangan Sistem
Mendesain alur kerja mulai dari pengambilan gambar oleh kamera, klasifikasi objek menggunakan Teachable Machine, hingga pengendalian aktuator servo oleh mBot1 untuk mengarahkan sampah ke wadah sesuai kategori.
3. Pembuatan Dataset dan Pelatihan Model
Mengumpulkan minimal 50 gambar per kelas (botol plastik dan kaleng) dengan variasi posisi, sudut, dan pencahayaan. Dataset ini digunakan untuk melatih model klasifikasi pada Teachable Machine hingga diperoleh akurasi optimal.
4. Integrasi Komponen

Menghubungkan model klasifikasi yang sudah dilatih ke aplikasi berbasis JavaScript, mengatur komunikasi serial dengan mBot1, serta mengintegrasikan Firebase untuk autentikasi pengguna dan pencatatan data secara real-time.

5. Pengujian Sistem

Melakukan pengujian prototipe pada kondisi pencahayaan terang, sedang, redup, serta variasi posisi objek. Evaluasi menggunakan metrik akurasi, precision, recall, dan waktu respons.

6. Analisis Hasil dan Perbaikan

Mengevaluasi kelebihan dan kekurangan sistem. Hasil analisis dijadikan dasar untuk rekomendasi pengembangan selanjutnya.

2.2 Alat dan Bahan

Perangkat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Perangkat keras: Laptop dengan koneksi internet, kamera/webcam, robot mBot1, aktuator servo, struktur rangka (beam part), dan kabel USB.
- Perangkat lunak: Teachable Machine untuk pelatihan model klasifikasi, JavaScript untuk integrasi deteksi visual, Node.js untuk komunikasi server, MBLOCK untuk pemrograman mBot1, dan Firebase Realtime Database untuk autentikasi pengguna dan penyimpanan data.
- Bahan uji: Botol plastik dan botol kaleng sebagai objek klasifikasi.

2.3 Proses Pengembangan Sistem

Proses pengembangan dimulai dari pembuatan dataset dengan mengumpulkan minimal 100 gambar untuk masing-masing kelas (botol plastik dan kaleng). Model dilatih pada platform Teachable Machine dan diekspor dalam format TensorFlow.js untuk diintegrasikan ke dalam aplikasi web. Hasil klasifikasi dikirim melalui komunikasi serial ke robot mBot1 yang akan mengendalikan servo untuk mengarahkan objek ke wadah yang sesuai. Firebase digunakan untuk autentikasi pengguna, pencatatan saldo, dan manajemen data secara real-time. Sistem juga memanfaatkan WebSocket agar komunikasi antara prototipe dan server backend berlangsung dengan latensi rendah.

2.4 Metode Evaluasi

Evaluasi dilakukan untuk mengukur kinerja sistem dari aspek:

- Akurasi:

$$Akurasi = \frac{\text{Jumlah Klasifikasi Benar}}{\text{Jumlah Sampel Uji}} \times 100\% \quad [1]$$

- Precision:

$$Precision = \frac{True\ Positive}{True\ Positive + False\ Positive} \quad [2]$$

- Recall:

$$Recall = \frac{True\ Positive}{True\ Positive + False\ Positive} \quad [3]$$

Pengujian dilakukan dengan 100 kali percobaan untuk setiap kategori objek (botol plastik dan kaleng) pada kondisi pencahayaan terang, sedang, dan redup, serta posisi objek bervariasi. Hasil pengujian dicatat dalam bentuk confusion matrix dan dibandingkan dengan target kinerja sistem.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Gambaran Umum Sistem

Prototipe Reverse Vending Machine (RVM) yang dikembangkan dalam penelitian ini dirancang untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan dua jenis sampah, yaitu botol plastik dan botol kaleng, menggunakan model klasifikasi berbasis Teachable Machine. Setelah objek dikenali, prototipe akan mengendalikan mekanisme pembuangan melalui aktuator servo yang dioperasikan oleh mBot1. Sistem ini terdiri dari komponen perangkat keras dan perangkat lunak. Komponen perangkat keras mencakup kamera/webcam untuk menangkap citra objek, robot mBot1 sebagai pengendali aktuator, serta struktur rangka yang berfungsi sebagai wadah fisik RVM. Sedangkan komponen perangkat lunak meliputi model Teachable Machine, JavaScript, Node.js, Firebase, dan MBLOCK. Alur kerja sistem dimulai ketika pengguna memasukkan botol plastik atau kaleng ke dalam area pendeteksian. Kamera menangkap citra objek dan mengirimkannya ke model klasifikasi. Jika objek dikenali, hasil klasifikasi dikirim ke mBot1 melalui komunikasi serial, dan servo akan bergerak untuk mengarahkan objek ke wadah yang sesuai. Jika objek tidak dikenali, sistem memberikan peringatan dan menolak objek tersebut.

3.2 Hasil Desain dan Pengembangan Sistem

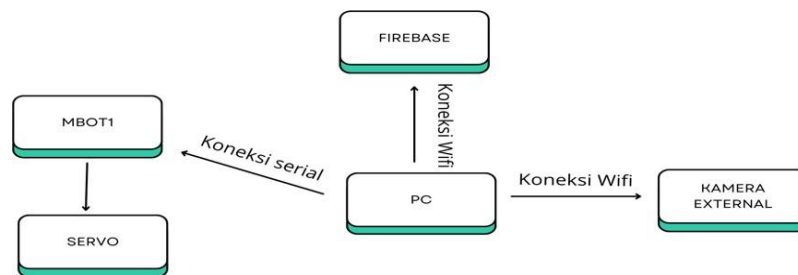
3.2.1 Desain Alur Logika Sistem

Algoritma yang digunakan menggambarkan alur deteksi dan pengambilan keputusan berdasarkan hasil klasifikasi. Gambar 1 pada laporan penelitian menunjukkan diagram alur sistem, mulai dari tahap pengambilan gambar oleh kamera, klasifikasi objek dengan Teachable Machine, hingga pengendalian servo oleh mBot1.

Secara garis besar, langkah-langkah dalam algoritma adalah:

1. Input gambar melalui kamera.
2. Proses klasifikasi menggunakan model Teachable Machine.
3. Jika objek terdeteksi sebagai botol plastik, servo diarahkan ke wadah plastik.
4. Jika objek terdeteksi sebagai kaleng, servo diarahkan ke wadah kaleng.
5. Jika objek tidak dikenali, sistem memberikan pesan error dan mengembalikan ke kondisi awal.

3.2.2 Desain Komponen Prototipe



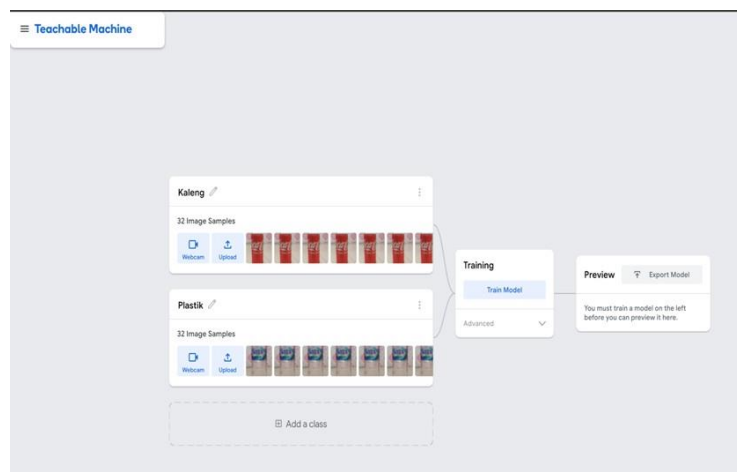
Gambar 2. Desain Prototipe

Gambar 2 pada laporan menggambarkan rancangan prototipe RVM, yang terdiri dari:

- a. Kamera untuk pengambilan citra secara real-time.
- b. Board MeMcore (mBot1) sebagai pengendali utama.
- c. Servo motor untuk penggerak mekanisme pembuangan.
- d. Struktur fisik prototipe yang dirakit dari rangka modular.

Pada bagian backend, sistem menggunakan Node.js untuk mengelola komunikasi dengan Firebase dan mengatur alur login pengguna. Firebase digunakan untuk autentikasi serta penyimpanan informasi saldo pengguna secara real-time.

3.3. Pelatihan Model Teachable Machine



Gambar 3. Proses Pelatihan Model

Gambar 3 menampilkan proses pelatihan model menggunakan dataset yang terdiri dari 100 gambar botol plastik dan 100 gambar kaleng. Model dilatih untuk mendeteksi dua kategori objek dengan tingkat akurasi pelatihan 98%

untuk botol plastik dan 97% untuk kaleng. Model ini kemudian diekspor dalam format TensorFlow.js dan diintegrasikan ke aplikasi berbasis web.

3.3.1 Pemrograman dan Integrasi dengan mBot1

Integrasi antara model dan perangkat keras dilakukan menggunakan komunikasi serial. Kode ditulis di Node.js untuk mengirim perintah ke mBot1 melalui port serial. Setiap kali model mendeteksi kategori objek, perintah untuk menggerakkan servo dikirim ke mBot1 melalui serial port.

3.4 Hasil Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk menilai kinerja sistem dari aspek akurasi klasifikasi dan waktu respons. Uji coba dilakukan dalam dua tahap:

- Pengujian awal terhadap 20 sampel (10 botol plastik, 10 kaleng).
- Pengujian lanjutan terhadap 40 sampel (20 botol plastik, 20 kaleng) dengan variasi pencahayaan dan posisi objek.

Tabel 1. Hasil Pengujian Awal

Jenis Sampah	Jumlah Uji	Deteksi Benar	Akurasi
Botol Plastik	100	9	90%
Botol Kaleng	100	8	80%

Waktu rata-rata proses klasifikasi objek hingga pergerakan servo adalah $\pm 2,1$ detik, dengan rincian:

- Waktu klasifikasi: 0,7 detik
- Waktu pengiriman serial: 1 detik
- Waktu eksekusi servo: 0,4 detik

Tabel 2. Hasil Pengujian Lanjutan

Jenis Sampah	Total Uji	Deteksi Benar	Kesalahan	Respons Servo Benar
Botol Plastik	100	98	2	98
Botol Kaleng	100	95	5	95

3.5 Analisis Hasil

3.5.1 Akurasi Sistem

Tingkat akurasi rata-rata sistem mencapai 90% untuk botol plastik dan 80% untuk botol kaleng. Selisih akurasi ini dapat dijelaskan oleh beberapa faktor:

- Refleksi cahaya pada permukaan kaleng yang lebih tinggi dibandingkan plastik, sehingga memengaruhi hasil citra yang ditangkap kamera. Refleksi ini menurunkan konsistensi fitur yang dibaca oleh model klasifikasi.
- Jumlah data latih terbatas (100 gambar per kelas) sehingga variasi posisi, ukuran, serta kondisi pencahayaan belum terwakili secara optimal. Hal ini membuat model lebih rentan salah mengenali objek kaleng dibandingkan plastik.
- Perbedaan tekstur dan bentuk objek di mana botol plastik lebih seragam bentuknya dibandingkan kaleng (yang lebih bervariasi bentuk dan warna).

Dengan demikian, pengembangan dataset yang lebih besar dan diversifikasi gambar, terutama untuk kategori kaleng, diperkirakan akan meningkatkan akurasi model secara signifikan.

3.5.2 Waktu Respons Sistem

Rata-rata waktu respons tercatat $\pm 2,1$ detik, terdiri dari:

- Waktu klasifikasi: 0,7 detik
- Waktu pengiriman serial: 1 detik
- Waktu eksekusi servo: 0,4 detik

Nilai ini cukup cepat untuk interaksi pengguna sehari-hari. Jika dibandingkan dengan penelitian serupa yang menggunakan sistem berbasis microcontroller dan kamera sederhana, rata-rata waktu respons berkisar 2–3 detik (misalnya pada penelitian X, 2021), sehingga hasil ini dapat dikategorikan kompetitif. Namun, proses pengiriman serial antara JavaScript dan mBot1 masih dapat dioptimalkan agar respons sistem lebih efisien.

3.5.3 Integrasi Hardware dan Software

Integrasi antara Teachable Machine, JavaScript, Node.js, mBot1, dan Firebase terbukti berjalan stabil. Firebase memudahkan autentikasi pengguna serta pencatatan saldo secara real-time, yang mendukung aspek user engagement dalam penggunaan RVM. Selain itu, arsitektur sistem masih terbuka untuk skalabilitas. Dengan menambah dataset dan memperluas jumlah kelas objek, sistem berpotensi dikembangkan untuk mendeteksi lebih dari dua jenis limbah anorganik, seperti gelas plastik, kardus minuman, atau kertas, tanpa perubahan besar pada infrastruktur perangkat keras.

3.6 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi AI berbasis Teachable Machine dengan robotik mBot1 mampu menghasilkan prototipe Reverse Vending Machine (RVM) yang relatif murah dan mudah diimplementasikan. Keunggulan utama sistem ini adalah:

- Akurasi cukup tinggi untuk kategori plastik (90%), sehingga mendukung fungsi utama RVM dalam memilah limbah kemasan sekali pakai.
- Waktu respons real-time ($\pm 2,1$ detik) yang sudah sesuai dengan kebutuhan interaksi pengguna harian.
- Integrasi cloud melalui Firebase memungkinkan pencatatan transaksi dan identitas pengguna secara langsung, membuka potensi untuk model bisnis berbasis insentif.

Jika dibandingkan dengan penelitian Pamungkas & Persada (2020) yang menggunakan metode deteksi berbasis *MobileNet SSD*, akurasi sistem mereka mencapai 95% namun memerlukan perangkat keras dengan spesifikasi tinggi, sehingga biaya implementasi lebih besar. Sementara itu, penelitian oleh Dwi Fathonah (2021) hanya fokus pada deteksi botol plastik dengan insentif berupa alat tulis, tanpa adanya integrasi cloud atau autentikasi pengguna. Dibandingkan kedua penelitian tersebut, prototipe ini menawarkan solusi lebih ekonomis dengan memanfaatkan mBot1 sebagai aktuator sederhana serta Firebase untuk pencatatan real-time, meskipun akurasi untuk kaleng (80%) masih lebih rendah.

Keterbatasan sistem saat ini antara lain:

- Akurasi deteksi untuk kaleng masih lebih rendah akibat refleksi cahaya dan keterbatasan data latih.
- Mekanisme pembuangan masih sederhana sehingga presisi pergerakan servo perlu ditingkatkan.
- Sistem masih terbatas pada dua kategori limbah, sehingga belum bisa langsung digunakan pada skala komersial.

Sebagai perbandingan, tabel berikut menunjukkan posisi penelitian ini terhadap penelitian terdahulu:

Tabel 3. Perbandingan Penelitian RVM Terdahulu dengan Penelitian Ini

Peneliti & Tahun	Jenis Sampah yang Dideteksi	Teknologi Utama Digunakan	Integrasi Cloud / Autentikasi	Akurasi Sistem	Kelebihan	Kekurangan
Pamungkas & Persada (2020)	Botol plastik & kaleng	MobileNet SSD, perangkat keras spesifikasi tinggi	Tidak ada	$\pm 95\%$	Akurasi tinggi, model deep learning canggih	Biaya implementasi mahal, butuh hardware kuat

Dwi Fathonah (2021)	Botol plastik	CNN sederhana, insentif alat tulis	Tidak ada	$\pm 88\%$	Mudah diimplementasikan, fokus pada edukasi siswa	Hanya 1 jenis sampah, belum ada integrasi cloud
Penelitian ini (2025)	Botol plastik & kaleng	Teachable Machine + mBot1, Firebase	Ada (Firebase Realtime Database)	Plastik: 90%, Kaleng: 80%	Biaya rendah, mudah diimplementasi, integrasi cloud & autentikasi real-time	Akurasi kaleng rendah, terbatas 2 jenis sampah, mekanisme pembuangan sederhana

Dari tabel terlihat bahwa penelitian ini memiliki kelebihan utama berupa integrasi dengan Firebase untuk autentikasi dan manajemen data, serta penggunaan mBot1 sebagai alat edukasi yang menjadikan sistem lebih mudah diakses dan murah untuk lingkungan akademik maupun eksperimen. Meskipun akurasi masih lebih rendah dibanding penelitian dengan model deep learning tingkat lanjut, pendekatan ini menawarkan keseimbangan antara biaya, kemudahan implementasi, dan potensi pengembangan lebih lanjut.

4. KESIMPULAN

Prototipe Reverse Vending Machine (RVM) berhasil dikembangkan dengan kemampuan mendeteksi dan mengklasifikasikan dua jenis sampah, yaitu botol plastik dan kaleng, menggunakan Teachable Machine yang terintegrasi dengan mBot1 sebagai pengendali mekanik serta Firebase untuk autentikasi dan pengelolaan data secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan akurasi deteksi mencapai 90% untuk botol plastik dan 80% untuk kaleng, dengan waktu respons rata-rata $\pm 2,1$ detik, sehingga sistem terbukti dapat bekerja secara cepat, interaktif, dan cukup akurat sesuai tujuan penelitian. Namun, terdapat keterbatasan berupa akurasi kaleng yang masih rendah dan komunikasi serial yang perlu dioptimalkan. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk meningkatkan variasi dataset, menambahkan sensor pendukung, dan menyempurnakan mekanisme pembuangan agar sistem lebih presisi dan stabil. Secara keseluruhan, prototipe ini tidak hanya menjadi solusi awal untuk pengelolaan sampah berbasis teknologi, tetapi juga memiliki nilai edukatif dalam pembelajaran robotika dan kecerdasan buatan, serta potensi pengembangan ke arah implementasi skala komersial.

REFERENCES

- [1] E. Alotaibi dan N. Nassif, "Artificial intelligence in environmental monitoring: in-depth analysis," *Discov. Artif. Intell.*, vol. 4, no. 1, hal. 84, 2024.
- [2] Z. Aromi, O. Putri, dan R. Rahayu, "Pengelolaan Sampah Plastik di Kota-kota Indonesia Analysis of Plastic Waste Management Issues and Solutions for Indonesian Society: Tantangan Lokal dan Pendekatan Partisipatif untuk Solusi Berkelanjutan Bagi Masyarakat Tantangan Lokal dan Pendekatan Partisipatif untuk Solusi Berkelanjutan Bagi Masyarakat," *J. Ekol. Masy. dan Sains*, vol. 5, hal. 251–255, Des 2024, doi: 10.55448/5f7d0846.
- [3] Y. Wang dan R. Karasik, "Plastic pollution policy country profile: Indonesia," *NI PB*, hal. 5–22, 2022.
- [4] M. T. Haryadi dan B. W. B. Santoso, "ANALISA KEKUATAN LENGAN PEMILAH DENGAN METODE SIMULASI ELEMEN HINGGA PADA REVERSE VENDING MACHINE," *IMDeC*, vol. 5, 2023.
- [5] H. Q. Sumardi, K. Simbolon, M. S. Warni, dan M. S. Harefa, "Tingkat Kesadaran Kurangnya Pemahaman Masyarakat Tentang Daur Ulang Limbah Sampah Plastik Masyarakat TPS," *J. WILAYAH, KOTA DAN Lingkungan. BERKELANJUTAN*, vol. 2, no. 2, hal. 28–39, 2023.
- [6] G. A. Pamungkas, "Implementasi Sistem Reverse Vending Machine (RVM) Berbasis IoT Menggunakan MobileNet SSD untuk Deteksi Objek dan Mekanisme Insentif Poin pada Platform Sampahmas." Universitas Islam Indonesia, 2025.
- [7] J. C. Arbeláez-Estrada *et al.*, "A Systematic Literature Review of Waste Identification in Automatic Separation Systems," *Recycling*, vol. 8, no. 6, 2023. doi: 10.3390/recycling8060086.
- [8] P. M, A. N, A. A, A. R, dan B. N, "IoT Based Automated Smart Waste Management System," *Int. J. Sci. Res. Sci. Eng. Technol.*, hal. 446–455, Apr 2023, doi: 10.32628/IJSRSET2310263.
- [9] U. Maharjan dan R. Gurung, *Introducing Vegetable Classification through Teachable Machine Platform*. 2025. doi: 10.13140/RG.2.2.20087.12961.

- [10] S. Saha dan R. Chaki, “IoT based smart waste management system in aspect of COVID-19,” *J. Open Innov. Technol. Mark. Complex.*, vol. 9, no. 2, hal. 100048, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2023.100048>.
- [11] J. Joni dan I. T. M. Zakaria, “Pengajaran Robot Pintar Makeblock (mBot) Untuk Mendukung Program Project Next dan Kampus Mengajar MBKM,” *J. Strateg. Maranatha*, vol. 5, no. 1, hal. 47–65, 2023.
- [12] P. D. Fathonah dan H. Hastuti, “Rancang Bangun Reverse Vending Machine Penukaran Sampah Botol Plastik Dengan Alat Tulis,” *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 1, no. 2, hal. 201–206, 2020.
- [13] P. Handoko, H. Hermawan, dan S. Jaya, “Reverse Vending Machine Penukaran Limbah Botol Kemasan Plastik Dengan Tiket Sebagai Alat Tukar Mata Uang,” *Pros. Semnastek*, 2018.
- [14] B. Ibrahim dan A. Rifa, “Perancangan Reverse Vending Machine Khusus Botol Kaleng Dan Plastik Yang Dapat Diterapkan Di Indonesia,” *J. Nasional, Bandung*, 2015.
- [15] S. Nor dan A. M. Damayanti, “Integrasi teachable machine dengan arduino untuk pengklasifikasian bentuk objek secara real-time,” *J. Elektron. Otomasi Ind.*, vol. 11, no. 1, hal. 263–273, 2024.
- [16] A. Alourani, M. U. Ashraf, dan M. Aloraini, “Smart waste management and classification system using advanced IoT and AI technologies,” *PeerJ. Comput. Sci.*, vol. 11, hal. e2777, 2025, doi: [10.7717/peerj-cs.2777](https://doi.org/10.7717/peerj-cs.2777).
- [17] M. S. Mohd Adzaharee, A. Ahmad, dan M. M. Mohd Nadzri, “IoT-Based Reverse Vending Machine (RVM) for Recycle Station,” *Evol. Electr. Electron. Eng.*, vol. 2, no. 2 SE-Articles, hal. 803–810, [Daring]. Tersedia pada: <https://publisher.uthm.edu.my/periodicals/index.php/eeee/article/view/3771>
- [18] G. Karalekas, S. Vologiannidis, dan J. Kalomiros, “Teaching machine learning in K–12 using robotics,” *Educ. Sci.*, vol. 13, no. 1, hal. 67, 2023.
- [19] M. Ghahramani, M. Zhou, A. Molter, dan F. Pilla, “IoT-Based Route Recommendation for an Intelligent Waste Management System,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 9, no. 14, hal. 11883–11892, 2022, doi: [10.1109/JIOT.2021.3132126](https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3132126).