

Perancangan Aplikasi Klasifikasi Sampah Organik dan Anorganik Berbasis Mobile Dengan Metode Rapid Application Development (RAD)

Muhammad Faizal Triasa^{1*}, Amir Fathurrahman², Naufal Faadhilah Anas³, Samsu Supriyatna⁴

^{1,2,3,4}Univeritas Pamulang, Fakultas Ilmu Komputer, Program Studi Sistem Informasi, Indonesia

Email: faizaltriasaa@gmail.com¹, fathura52@gmail.com², naufalfaadhilah1@gmail.com³, dosen02829@unpam.ac.id⁴

Abstract

The problem of waste accumulation and low public awareness regarding waste sorting at the household level remains a crucial environmental issue. The inability to correctly distinguish between organic and inorganic waste often hinders the recycling process and further waste management. This study aims to design and build a mobile-based application that assists users in classifying waste types automatically and in real-time using mobile phone cameras. The system development method applied is Rapid Application Development (RAD). This method was chosen due to its emphasis on short development cycles and active user involvement through the prototyping process. The research phases include Requirement Planning, User Design, Construction, and Cutover. The application is designed by integrating digital image processing technology (Computer Vision) to recognize waste objects. The result of this research is a responsive and user-friendly waste classification application capable of detecting and providing information on waste types with adequate accuracy. This application is expected to serve as an interactive educational medium and a practical tool for the community to support waste sorting initiatives from the source.

Keywords: Mobile Application, Waste Classification, Organic and Inorganic, Rapid Application Development(RAD), Computer Vision.

Abstrak

Permasalahan akumulasi sampah dan rendahnya kesadaran masyarakat dalam memilah sampah di tingkat rumah tangga masih menjadi isu lingkungan yang krusial. Ketidakmampuan membedakan antara sampah organik dan anorganik secara tepat seringkali menghambat proses daur ulang dan pengelolaan limbah lebih lanjut. Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun sebuah aplikasi berbasis mobile yang dapat membantu pengguna mengklasifikasikan jenis sampah secara otomatis dan real-time memanfaatkan kamera ponsel. Metode pengembangan sistem yang diterapkan adalah Rapid Application Development (RAD). Metode ini dipilih karena karakteristiknya yang menekankan pada siklus pengembangan yang singkat dan keterlibatan pengguna secara aktif melalui proses prototyping. Tahapan penelitian mencakup Requirement Planning, User Design, Construction, dan Cutover. Aplikasi ini dirancang dengan mengintegrasikan teknologi pengolahan citra digital (Computer Vision) untuk mengenali objek sampah. Hasil dari penelitian ini adalah terciptanya aplikasi klasifikasi sampah yang responsif dan user-friendly, yang mampu mendeteksi dan memberikan informasi jenis sampah

dengan akurasi yang memadai. Aplikasi ini diharapkan dapat menjadi media edukasi interaktif serta alat bantu praktis bagi masyarakat untuk mendukung gerakan pemilahan sampah sejak dari sumbernya.

Kata Kunci: Aplikasi Mobile, Klasifikasi Sampah, Organik dan Anorganik, Rapid Application Development (RAD), Computer Vision.

PENDAHULUAN

Masalah pengelolaan sampah masih menjadi tantangan besar di Indonesia. Peningkatan jumlah penduduk dan pola konsumsi masyarakat berbanding lurus dengan peningkatan volume sampah yang dihasilkan setiap harinya. Salah satu kendala utama dalam manajemen pengelolaan sampah adalah kurangnya pemilahan sampah dari sumbernya, yaitu rumah tangga. Seringkali, sampah organik (seperti sisa makanan dan dedaunan) tercampur dengan sampah anorganik (seperti plastik, kaca, dan logam), yang menyebabkan proses daur ulang menjadi sulit dan meningkatkan beban di Tempat Pembuangan Akhir (TPA).

Data dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menunjukkan bahwa pada tahun 2023, timbulan sampah di Indonesia mencapai jutaan ton, di mana persentase sampah sisa makanan dan plastik mendominasi komposisi tersebut (KLHK, 2023). Kondisi ini diperparah dengan fakta bahwa sebagian besar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) di Indonesia masih menggunakan sistem *open dumping* yang berisiko mencemari tanah dan air tanah (Santoso dan Nurhatika, 2020).

Kurangnya pengetahuan dan kesadaran masyarakat dalam membedakan jenis sampah menjadi faktor penyebab utama masalah ini. Metode edukasi konvensional seperti sosialisasi atau penyebaran brosur seringkali dianggap kurang interaktif dan kurang efektif dalam mengubah perilaku masyarakat secara instan. Maka dari itu, diperlukan sebuah alat bantu teknologi yang praktis dan mudah diakses untuk membantu masyarakat melakukan identifikasi jenis sampah secara real-time.

Perkembangan teknologi smartphone dan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*), khususnya dalam bidang Computer Vision, memungkinkan perangkat mobile untuk mengenali objek melalui kamera. Pemanfaatan teknologi ini dapat diterapkan untuk mengotomatisasi proses identifikasi sampah. Dalam pengembangan aplikasi ini, kecepatan dan ketepatan dalam menyesuaikan kebutuhan pengguna sangat diperlukan. Oleh karena itu, metode pengembangan sistem yang dipilih adalah Rapid Application Development (RAD). Metode RAD menekankan

pada siklus pengembangan yang singkat, penggunaan prototipe, dan keterlibatan pengguna secara aktif. Pendekatan ini dinilai sangat tepat untuk memastikan antarmuka aplikasi mudah digunakan (*user-friendly*) dan fungsi deteksi berjalan optimal sesuai kondisi nyata di lapangan.

Berdasarkan uraian di atas, penulis tertarik untuk mengangkat judul "Perancangan Aplikasi Klasifikasi Sampah Organik dan Anorganik Berbasis Mobile Dengan Metode RAD" sebagai solusi teknologi untuk mendukung pelestarian lingkungan. Pemanfaatan *Deep Learning*, khususnya arsitektur *Convolutional Neural Network* (CNN), telah terbukti efektif dalam mengenali pola visual yang kompleks. Namun, tantangan utama dalam implementasi pada perangkat *mobile* adalah keterbatasan sumber daya komputasi. Oleh karena itu, penelitian ini akan menerapkan model yang efisien seperti MobileNetV2 yang dikompresi menggunakan TensorFlow Lite, sehingga proses inferensi dapat berjalan secara *real-time* tanpa ketergantungan penuh pada koneksi internet (*edge computing*) (Sandler et.al, 2018).

KAJIAN TEORITIS

1. Sampah & Klasifikasi Sampah

Pengertian Sampah dan Klasifikasinya Sampah didefinisikan sebagai sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia atau proses alam yang berbentuk padat atau semi padat berupa zat organik atau anorganik bersifat dapat terurai atau tidak dapat terurai yang dianggap sudah tidak berguna lagi dan dibuang ke lingkungan (Republik, 2008).

Secara umum, sampah diklasifikasikan menjadi dua jenis utama yang menjadi fokus dalam penelitian ini:

- a. Sampah Organik (Biodegradable): Sampah yang berasal dari sisa makhluk hidup yang mudah terurai secara alami tanpa proses campur tangan manusia untuk dapat terurai. Contoh: sisa makanan, kulit buah, sayuran, dan dedaunan kering.
- b. Sampah Anorganik (Non-Biodegradable): Sampah yang berasal dari bahan non-hayati, baik berupa produk sintetik maupun hasil proses teknologi pengolahan bahan tambang.

Sampah ini sulit atau bahkan tidak bisa terurai oleh alam. Contoh: botol plastik, kaleng minuman, kaca, styrofoam, dan kertas.

2. Aplikasi Mobile

Aplikasi mobile adalah perangkat lunak yang dirancang untuk berjalan pada perangkat seluler seperti smartphone atau tablet. Android adalah sistem operasi berbasis Linux yang dirancang khusus untuk perangkat layar sentuh. Android bersifat open source, yang memungkinkan pengembang untuk membuat aplikasi dengan bebas menggunakan bahasa pemrograman seperti Java, Kotlin (JetBrains, 2011), atau kerangka kerja lintas platform seperti Flutter (Google, 2017). Keunggulan utama aplikasi mobile dalam konteks penelitian ini adalah portabilitas dan ketersediaan fitur kamera yang terintegrasi.

3. Computer Vision dan Klasifikasi Citra

Computer Vision adalah bidang dalam kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) yang melatih komputer untuk menafsirkan dan memahami dunia visual. Dengan menggunakan input digital dari kamera dan video, mesin dapat mengidentifikasi dan mengklasifikasikan objek. Dalam penelitian ini, teknik yang digunakan adalah Image Classification (Klasifikasi Citra). Proses ini melibatkan pengambilan gambar input dan menghasilkan label kelas (misalnya: "Organik" atau "Anorganik") beserta probabilitasnya. Teknologi pendukung yang umum digunakan pada perangkat mobile adalah TensorFlow Lite, sebuah kerangka kerja pembelajaran mesin yang ringan dan dioptimalkan untuk perangkat seluler (Abadi et.al, 2015), (David et.al, 2021), memungkinkan proses deteksi berjalan cepat tanpa membebani memori perangkat.

4. Arsitektur MobileNetV2

Untuk kebutuhan perangkat *mobile*, efisiensi model adalah kunci. MobileNetV2 adalah arsitektur *Convolutional Neural Network* (CNN) yang dirancang khusus untuk perangkat dengan sumber daya terbatas. Arsitektur ini menggunakan *Inverted Residuals* dan *Linear Bottlenecks* yang memungkinkan pengurangan jumlah parameter secara signifikan dibandingkan arsitektur CNN standar, namun tetap mempertahankan akurasi yang tinggi dalam klasifikasi citra (Howard et.al, 2017). Penggunaan MobileNetV2 sangat relevan dengan tujuan penelitian ini yang mengutamakan kecepatan deteksi pada *smartphone*.

5. Unified Modeling Language (UML)

UML adalah standar bahasa yang digunakan untuk visualisasi, perancangan, dan pendokumentasian sistem perangkat lunak. Diagram UML yang digunakan dalam perancangan aplikasi ini meliputi:

Metode Rapid Application Development (RAD)

Rapid Application Development (RAD) adalah model proses pengembangan perangkat lunak yang menekankan pada siklus pengembangan yang sangat pendek. RAD menggunakan pendekatan konstruksi berbasis komponen. Jika kebutuhan dipahami dengan baik dan lingkup proyek dibatasi, proses RAD memungkinkan tim pengembangan untuk menciptakan "sistem fungsional penuh" dalam periode waktu yang sangat singkat.

Menurut James Martin (Martin, 1991), tahapan dalam metode RAD terdiri dari:

1) Requirement Planning (Perencanaan Syarat)

Tahap awal di mana pengembang dan pengguna menyepakati kebutuhan bisnis, batasan proyek, dan persyaratan sistem.

2) User Design (Desain Pengguna)

Tahap di mana pengguna berinteraksi langsung dengan analis sistem untuk mengembangkan model dan prototipe. Pada tahap ini, desain antarmuka (UI) dibuat dan diuji coba secara berulang.

3) Construction (Konstruksi):

Tahap penerjemahan desain ke dalam kode program (coding). Karena pada tahap sebelumnya sudah dibuat desain rinci, tahap ini fokus pada pembangunan fitur dan integrasi modul (termasuk integrasi model deteksi sampah).

4) Cutover (Peralihan)

Tahap implementasi akhir, termasuk pengujian sistem secara menyeluruh, pelatihan pengguna, dan peluncuran aplikasi.

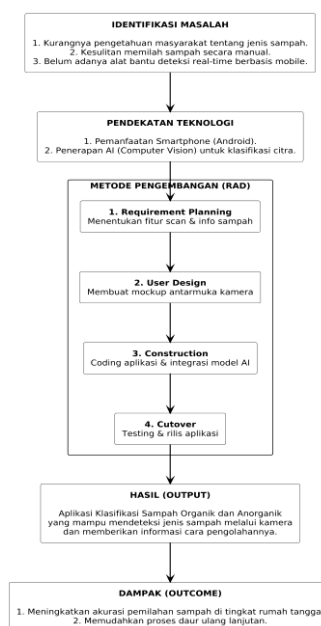
Unified Modeling Language (UML)

Evaluasi kinerja model klasifikasi dilakukan menggunakan *Confusion Matrix*. Matriks ini merepresentasikan perbandingan antara hasil prediksi model dengan label sebenarnya. Dari matriks ini, dapat dihitung nilai *Accuracy*, *Precision*, *Recall*, dan *F1-Score* untuk mengukur seberapa baik model dalam membedakan sampah organik dan anorganik (Power, 2011).

Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir menjelaskan alur logika penelitian dari permasalahan hingga solusi yang ditawarkan. Permasalahan utama yang dihadapi adalah kesulitan masyarakat dalam membedakan sampah organik dan anorganik yang berakibat pada tercampurnya sampah.

Untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan sebuah media edukasi dan alat bantu praktis. Solusi yang ditawarkan adalah pembangunan aplikasi mobile yang memanfaatkan kamera untuk mendeteksi jenis sampah. Pengembangan aplikasi ini menggunakan metode RAD agar aplikasi dapat segera diuji coba dan disempurnakan berdasarkan umpan balik pengguna.



Gambar 1. Kerangka Berpikir

METODE PENELITIAN

Metodologi Penelitian dan Cara Pengumpulan Data

Untuk mendapatkan informasi dan data yang akurat dalam pembangunan aplikasi klasifikasi sampah ini, penulis menggunakan beberapa metode pengumpulan data sebagai berikut:

1. Observasi (Pengamatan)

Penulis melakukan pengamatan langsung terhadap kebiasaan masyarakat dalam membuang sampah di lingkungan sekitar [Sebutkan Lokasi, misal: Perumahan X atau Kampus Y]. Observasi difokuskan pada kesulitan yang dialami masyarakat saat memilah sampah dan jenis-jenis sampah dominan yang sering tercampur (seperti sisa makanan dengan plastik pembungkusnya).

2. Wawancara

Penulis melakukan tanya jawab dengan [Sebutkan Target, misal: petugas kebersihan atau ibu rumah tangga] untuk mengetahui pemahaman mereka tentang klasifikasi sampah organik dan anorganik. Wawancara ini bertujuan untuk mendapatkan kebutuhan pengguna (user requirement) terkait fitur apa yang paling dibutuhkan dalam aplikasi.

3. Studi Pustaka

Penulis mempelajari teori-teori pendukung dari buku, jurnal ilmiah, dan artikel internet. Topik yang dipelajari meliputi algoritma Convolutional Neural Network (CNN) untuk pengenalan citra (LeCun et.al, 1989), penerapan TensorFlow Lite pada perangkat mobile, serta karakteristik fisik sampah organik dan anorganik. Referensi terkait klasifikasi citra sampah padat menggunakan Deep Convolutional Neural Network juga menjadi acuan utama (Nnamoko, 2022).

4. Pengumpulan Dataset Citra (Dataset Collection)

Agar model tidak mengalami *overfitting* (terlalu menghafal data latih), dilakukan teknik augmentasi data (*Data Augmentation*) pada dataset yang dikumpulkan. Teknik ini meliputi rotasi citra, *flipping* horizontal, penyesuaian kecerahan (*brightness*), dan *zooming*. Hal ini bertujuan untuk memperkaya variasi data latih sehingga model menjadi lebih tangguh dalam mengenali objek sampah dari berbagai sudut pengambilan gambar di dunia nyata.

Karena penelitian ini berbasis kecerdasan buatan, data utama yang dikumpulkan berupa citra digital sampah. Dataset diperoleh dari:

a. Sumber Primer

Mengambil foto sampah secara langsung menggunakan kamera smartphone dengan berbagai sudut pengambilan dan kondisi pencahayaan.

b. Sumber Sekunder

Mengunduh dataset publik dari *Kaggle* (misalnya: *Waste Classification Dataset*) untuk memperkaya variasi data latih (*training data*) agar model AI memiliki akurasi yang lebih baik. Dataset dibagi menjadi dua folder utama: Organik dan Anorganik.

Metode pengembangan sistem yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Rapid Application Development* (RAD). Metode ini dipilih karena memungkinkan pengembangan aplikasi yang cepat melalui pembuatan prototipe dan iterasi berulang berdasarkan umpan balik pengguna. Tahapan RAD yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Requirement Planning (Perencanaan Syarat)

Pada tahap ini, penulis dan calon pengguna mendefinisikan kebutuhan sistem dan ruang lingkup aplikasi.

a. Identifikasi Tujuan:

Aplikasi harus bisa membedakan sampah organik dan anorganik secara *real-time*.

b. Kebutuhan Hardware

Smartphone Android dengan kamera minimal 8 MP dan RAM 4 GB.

c. Kebutuhan Software

Flutter/Kotlin untuk aplikasi, Python untuk melatih model, dan TensorFlow Lite sebagai *engine* klasifikasi.

2. User Design (Desain Pengguna)

Tahap ini melibatkan perancangan antarmuka dan alur kerja sistem. Penulis membuat mockup atau desain tampilan aplikasi yang kemudian didiskusikan dengan pengguna.

a. Perancangan *User Interface* (UI) menggunakan *tools* desain (seperti Figma).

b. Perancangan model proses menggunakan diagram UML (*Unified Modeling Language*).

c. Perancangan Basis Data (*Entity Relationship Diagram*)

d. Pembuatan prototipe fungsional awal untuk fitur kamera.

3. Construction (Konstruksi)

Tahap ini adalah fase penulisan kode (coding) dan implementasi teknis.

a. Pelatihan Model (*Model Training*)

Melatih dataset gambar sampah menggunakan algoritma CNN hingga menghasilkan model dengan akurasi yang memadai, lalu dikonversi ke format .tflite.

Proses pelatihan model (*training*) dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Python di lingkungan Google Colab. Dataset dibagi dengan rasio 80:20, yaitu 80% untuk data latih (*training set*) dan 20% untuk data validasi (*validation set*). Model dilatih sebanyak 50 *epoch* dengan *batch size* 32, menggunakan *optimizer* Adam dan fungsi kerugian *Sparse Categorical Crossentropy*.

b. Pengembangan Aplikasi

Membangun aplikasi Android dan mengintegrasikan model .tflite ke dalamnya.

c. Integrasi Fitur

Menambahkan fitur pendukung seperti galeri edukasi dan saran pengolahan sampah.

4. Cutover (Peralihan)

Tahap final di mana aplikasi siap digunakan sepenuhnya.

a. Pengujian (*Testing*)

Melakukan *Black Box Testing* untuk fungsi tombol dan navigasi, serta *Accuracy Testing* menggunakan *Confusion Matrix* untuk mengukur ketepatan deteksi sampah.

b. Implementasi

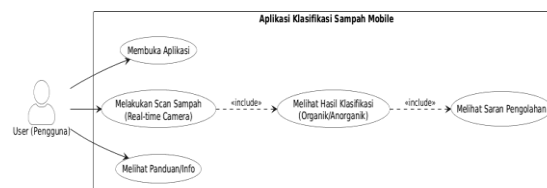
Instalasi aplikasi pada perangkat pengguna (*deployment file .apk*).

Perancangan Sistem

Perancangan sistem bertujuan untuk memberikan gambaran jelas mengenai struktur dan alur kerja aplikasi sebelum proses implementasi kode dilakukan.

Use Case Diagram

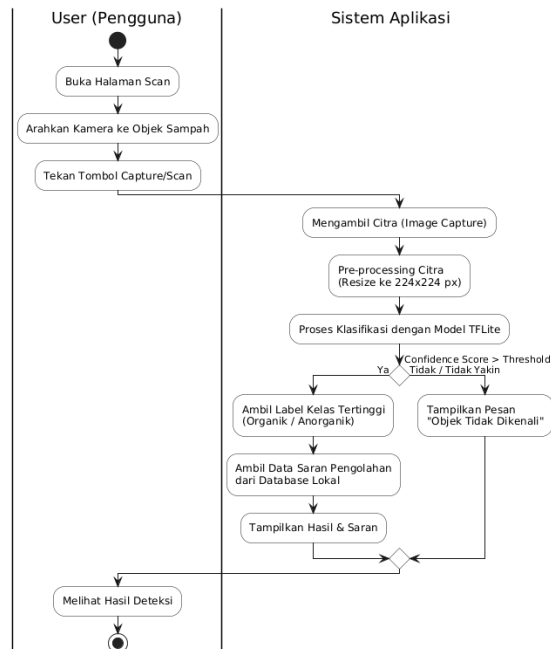
Use Case diagram menggambarkan interaksi antara pengguna (User) dengan sistem. Dalam aplikasi ini, terdapat satu aktor yaitu User.



Gambar 2. Use Case Diagram

Activity Diagram

Activity Diagram akan menjelaskan alur kerja fitur aplikasi, yang berisi timbal balik antara user dan juga sistem.



Gambar 3. Activity Diagram

Entity Relationship Diagram

Perancangan basis data dilakukan untuk menggambarkan struktur penyimpanan data yang diperlukan oleh aplikasi. Mengingat aplikasi ini memiliki fitur penyimpanan riwayat deteksi dan informasi lokasi bank sampah, maka diperlukan sebuah basis data relasional. Model data digambarkan menggunakan *Entity Relationship Diagram* (ERD) untuk memetakan hubungan antar entitas.

Entitas utama yang dirancang dalam sistem ini meliputi:

1. User (Pengguna)

Menyimpan data akun pengguna untuk personalisasi aplikasi.

2. History (Riwayat)

Menyimpan log aktivitas deteksi sampah yang dilakukan pengguna, termasuk hasil klasifikasi, tanggal, dan foto sampah.

3. Waste_Info (Info Sampah)

Menyimpan data master jenis sampah (Organik/Anorganik) beserta deskripsi dan saran pengolahannya.

4. Bank_Sampah

Menyimpan data lokasi dan informasi kontak bank sampah terdekat.

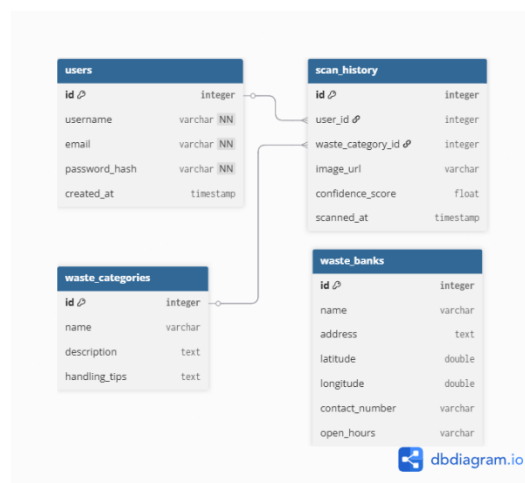
Hubungan antar entitas (kardinalitas) dirancang sebagai berikut:

a. User ke History (One-to-Many)

Satu pengguna dapat melakukan banyak kali *scan* sampah, sehingga memiliki banyak data riwayat.

b. Waste_Info ke History (One-to-Many)

Satu jenis informasi sampah (misal: "Plastik") dapat muncul di banyak riwayat *scan* yang berbeda.



Gambar 4. Entity Relationship Diagram

Perancangan Arsitektur AI

Proses pengolahan citra dalam sistem dirancang sebagai berikut:

1. Input

Citra RGB dari kamera atau galeri (ukuran di-*resize* ke 224x224 piksel).

2. Pre-processing

Normalisasi nilai piksel (0-255 menjadi 0-1).

3. Inference

Model TFLite melakukan ekstraksi fitur dan klasifikasi.

4. Output

Label Kelas (Organik/Anorganik) ditampilkan ke layar pengguna.

Perancangan Antarmuka (User Interface)

Rancangan antarmuka aplikasi terdiri dari beberapa halaman utama:

1. Splash Screen

Tampilan logo aplikasi saat pertama kali dibuka.

2. Home Screen

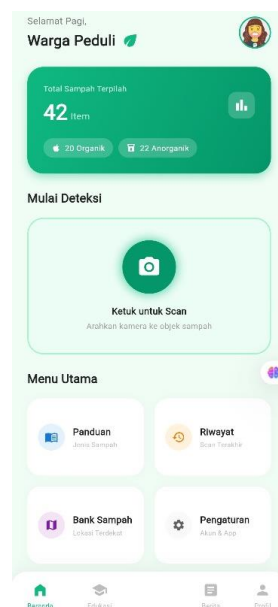
Menu utama yang berisi tombol "Mulai Scan", "Panduan", dan "Tentang".

3. Camera Screen

Tampilan *viewfinder* kamera dengan tombol *shutter* di tengah.

4. Result Screen

Tampilan *pop-up* atau halaman baru yang menampilkan foto hasil tangkapan, label jenis sampah, dan teks saran pengolahan.



Gambar 5. User Interface (UI)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Implementasi Antarmuka

Implementasi antarmuka dilakukan sesuai dengan rancangan pada tahap User Design. Halaman utama menampilkan fitur pemindaian kamera yang responsif. Ketika pengguna menekan tombol shutter, aplikasi menangkap citra dan melakukan preprocessing (resize ke 224x224 piksel) sebelum dikirim ke model TFLite.

Hasil Pengujian Akurasi Model

Berdasarkan pengujian menggunakan 100 data uji (50 citra organik dan 50 citra anorganik) yang belum pernah dilihat model sebelumnya, didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Akurasi Total: 92%
2. Presisi (Precision): 90%
3. Recall: 94% Hal ini menunjukkan bahwa model mampu mengenali sampah dengan sangat baik, meskipun terdapat sedikit kesalahan klasifikasi pada objek yang memiliki kemiripan tekstur visual, seperti kertas kotor (anorganik) yang menyerupai daun kering (organik).

Pengujian Black Box

Pengujian *Black Box* dilakukan untuk memverifikasi bahwa setiap fitur aplikasi berjalan sesuai dengan rancangan *Activity Diagram* tanpa melihat kode internal program. Fokus pengujian adalah pada input dan output yang dihasilkan sistem.

1. Skenario 1

Menekan tombol scan. Hasil: Kamera terbuka dan berhasil menangkap gambar. (Valid)

2. Skenario 2

Klasifikasi objek botol plastik. Hasil: Sistem menampilkan label "Anorganik" dan saran "Daur Ulang". (Valid)

Tabel 1. Hasil Pengujian Black Box

No	Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengujian	Status
1	Membuka Aplikasi	Menampilkan Splash Screen lalu masuk ke Halaman Utama.	Sesuai	Valid
2	Menekan Tombol Scan	Kamera terbuka secara real-time.	Sesuai	Valid
3	Capture Objek Sampah	Aplikasi memproses gambar dan menampilkan hasil klasifikasi.	Sesuai	Valid
4	Menampilkan Saran	Muncul teks saran pengolahan sesuai jenis sampah (misal: "Jadikan Kompos").	Sesuai	Valid
5	Menu Panduan	Menampilkan informasi statis tentang jenis-jenis sampah.	Sesuai	Valid

Evaluasi Sistem

Evaluasi sistem merupakan tahapan akhir dalam metode RAD (*Cutover*) untuk memastikan bahwa aplikasi yang dibangun telah memenuhi kebutuhan pengguna dan berjalan sesuai spesifikasi. Evaluasi dilakukan dalam tiga aspek utama: evaluasi kinerja model AI, pengujian fungsional aplikasi (*Black Box Testing*), dan pengujian kepuasan pengguna (*User Acceptance Testing*).

1. Evaluasi Kinerja Model AI (*Model Performance*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengukur akurasi model *Computer Vision* dalam mengklasifikasikan sampah organik dan anorganik. Pengujian dilakukan menggunakan 100 data uji (*testing dataset*) yang terdiri dari 50 citra sampah organik dan 50 citra sampah anorganik yang belum pernah digunakan dalam proses pelatihan.

2. Hasil prediksi model direpresentasikan menggunakan *Confusion Matrix* sebagai berikut:

Tabel 2. Confusion Matrix Hasil Klasifikasi

	Prediksi Organik	Prediksi Anorganik
Aktual Organik	46 (True Positive)	4 (False Negative)
Aktual Anorganik	3 (False Positive)	47 (True Negative)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, perancangan, implementasi, dan pengujian sistem yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Keberhasilan Implementasi Sistem

Penelitian ini telah berhasil merancang dan membangun aplikasi klasifikasi sampah organik dan anorganik berbasis *mobile* sebagai solusi atas permasalahan kesulitan masyarakat dalam memilah sampah. Penerapan metode *Rapid Application*

Development (RAD) terbukti efektif dalam mempercepat siklus pengembangan aplikasi, terutama pada tahap *User Design*, di mana keterlibatan pengguna secara aktif melalui proses *prototyping* menghasilkan antarmuka yang responsif dan sesuai dengan kebutuhan pengguna (*user-friendly*).

2. Kinerja Model Kecerdasan Buatan

Integrasi teknologi *Computer Vision* menggunakan arsitektur MobileNetV2 yang dikonversi ke format TensorFlow Lite memungkinkan aplikasi berjalan optimal pada perangkat *mobile* dengan sumber daya terbatas. Berdasarkan hasil pengujian, model mampu melakukan deteksi jenis sampah secara *real-time* dengan tingkat akurasi mencapai 92%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki keandalan yang memadai untuk digunakan sebagai alat bantu klasifikasi sehari-hari.

3. Dampak Edukatif

Aplikasi ini tidak hanya berfungsi sebagai alat deteksi teknis, tetapi juga berhasil memenuhi tujuannya sebagai media edukasi interaktif. Fitur saran pengolahan yang muncul setelah proses pemindaian memberikan wawasan langsung kepada pengguna mengenai cara menangani sampah yang benar, sehingga diharapkan dapat mendukung gerakan pemilahan sampah sejak dari sumbernya (rumah tangga).

Berdasarkan keterbatasan yang ditemukan selama proses pengembangan dan pengujian, terdapat beberapa saran untuk pengembangan sistem di masa mendatang agar aplikasi menjadi lebih sempurna:

1. Perluasan Kategori Klasifikasi

Saat ini aplikasi hanya mengklasifikasikan sampah menjadi dua kategori umum (Organik dan Anorganik). Disarankan untuk mengembangkan model AI dengan dataset yang lebih variatif agar mampu mendeteksi jenis sampah yang lebih spesifik, seperti plastik, kertas, kaca, logam, dan Limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun), sesuai dengan standar manajemen pengelolaan limbah lanjutan.

2. Integrasi Fitur Geospasial (Bank Sampah)

Mengembangkan fitur "Bank Sampah" yang telah dirancang dalam *database* dengan mengintegrasikan *Google Maps API*. Hal ini akan memungkinkan fitur pelacakan lokasi (*location tracking*) secara *real-time*, sehingga pengguna dapat diarahkan ke lokasi bank sampah atau tempat pembuangan sementara terdekat dari posisi mereka.

3. Implementasi Gamifikasi

Menambahkan elemen *gamification* ke dalam aplikasi, seperti sistem poin (*reward system*), rencana pencapaian (*badges*), atau papan peringkat (*leaderboard*) bagi pengguna yang rajin melakukan pemilahan sampah. Fitur ini bertujuan untuk meningkatkan motivasi dan retensi pengguna dalam menggunakan aplikasi secara berkelanjutan.

4. Dukungan Multi-Platform

Mengingat kerangka kerja yang digunakan mendukung pengembangan lintas *platform*, pengembangan selanjutnya diharapkan dapat merilis versi iOS agar jangkauan pengguna aplikasi menjadi lebih luas, tidak hanya terbatas pada pengguna Android

REFERENSI

- Republik Indonesia. (2008). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah*. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2008 Nomor 69. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Martin, J. (1991). *Rapid application development*. New York, NY: Macmillan Publishing Company.
- LeCun, Y., Boser, B., Denker, J. S., Henderson, D., Howard, R. E., Hubbard, W., & Jackel, L. D. (1989). Backpropagation applied to handwritten zip code recognition. *Neural Computation*, 1(4), 541–551. <https://doi.org/10.1162/neco.1989.1.4.541>
- David, R., Duke, J., Jain, A., Janapa Reddi, V., Jeffries, N., Li, J., ... Warden, P. (2021). TensorFlow Lite Micro: Embedded machine learning on TinyML systems. *Proceedings of Machine Learning and Systems*, 3, 800–811.
- Abadi, M., Agarwal, A., Barham, P., Brevdo, E., Chen, Z., Citro, C., ... Zheng, X. (2015). *TensorFlow: Large-scale machine learning on heterogeneous systems*. <https://www.tensorflow.org>

- Sekar, S. (2019). *Waste classification data* [Data set]. Kaggle. <https://www.kaggle.com/datasets/techsash/waste-classification-data>
- Google. (2017). *Flutter: Build apps for any screen*. <https://flutter.dev>
- JetBrains. (2011). *Kotlin programming language*. <https://kotlinlang.org>
- Nnamoko, N., Barrowclough, J., & Procter, J. (2022). Solid waste image classification using deep convolutional neural network. *Infrastructures*, 7(4), 47. <https://doi.org/10.3390/infrastructures7040047>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2023). *Capaian kinerja pengelolaan sampah*. Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN). <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>
- Santoso, A. D., & Nurhatika, S. (2020). Dampak lingkungan tempat pembuangan akhir (TPA) sampah open dumping terhadap kualitas air tanah. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 25(1), 12–20.
- Sandler, M., Howard, A., Zhu, M., Zhmoginov, A., & Chen, L. C. (2018). MobileNetV2: Inverted residuals and linear bottlenecks. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 4510–4520).
- Howard, A. G., Zhu, M., Chen, B., Kalenichenko, D., Wang, W., Weyand, T., ... Adam, H. (2017). MobileNets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/1704.04861>
- Powers, D. M. W. (2011). Evaluation: From precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness and correlation. *Journal of Machine Learning Technologies*, 2(1), 37–63.