



IMPLEMENTASI *COMPUTER VISION* AI PADA *SMART TRASH CLASSIFICATION* MENGGUNAKAN *RAILWAY CLOUD DEPLOYMENT*

Vania Ardelia Zahra¹⁾, Shafa Aulia Nadhira²⁾, Roma Ulina³⁾,
Yuyun Umaidah⁴⁾, Arip Solehudin⁵⁾

^{1,2,3,4,5} Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Singaperbangsa Karawang, Indonesia

Corresponding Author: ¹ 2310631250037@student.unsika.ac.id

Article Info

Article history:

Received: Mei 19, 2026

Revised: Mei 21, 2026

Accepted: Mei 30, 2026

Published: Jun 01, 2026

Keywords:

Artificial Intelligence

Computer Vision

EfficientNet-B0

Smart Trash Classification

Cloud Computing

ABSTRACT

Waste sorting remains a major challenge in environmental management because the process is still largely carried out manually, which can lead to errors in classifying waste types. Therefore, this study aims to develop a web-based waste classification system using deep learning and computer vision technology to improve the efficiency and accuracy of waste sorting. The benefit of this research is expected to assist communities and environmental management sectors in recognizing waste types automatically and more effectively. The dataset used in this study was collected from Kaggle and Google Images, consisting of five categories of waste, namely plastic, glass, metal, paper, and organic waste. The proposed method includes data collection, preprocessing, model development using the EfficientNet-B0 architecture with a transfer learning approach, model training, and system implementation into a web-based application using the Flask framework. In addition, the system was deployed using Railway cloud computing services to enable online accessibility across various devices. The experimental results show that the developed system is capable of automatically classifying waste images with good performance and stable accuracy. Therefore, the proposed system is expected to improve the effectiveness and efficiency of waste sorting processes in real-world applications.



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY SA 4.0)

1. INTRODUCTION

Permasalahan sampah hingga saat ini masih menjadi salah satu tantangan yang dihadapi di berbagai negara, termasuk Indonesia. Meningkatnya aktivitas manusia menyebabkan volume sampah terus bertambah setiap tahunnya sehingga diperlukan pengelolaan sampah yang lebih baik agar tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan [1]. Salah satu tahapan penting dalam pengelolaan sampah adalah proses pemilahan berdasarkan jenisnya, karena pemilahan yang tepat dapat membantu proses daur ulang dan pengolahan sampah menjadi lebih efektif. Namun, pada praktiknya proses pemilahan sampah masih sering dilakukan secara manual sehingga kurang berjalan secara optimal [2]. Selain membutuhkan waktu yang lebih lama, masih banyak masyarakat yang mengalami kesulitan dalam membedakan jenis sampah sesuai kategorinya. Akibatnya, kesalahan dalam pembuangan sampah masih sering terjadi meskipun tempat sampah telah dipisahkan berdasarkan jenisnya.

Perkembangan teknologi *Artificial Intelligence* saat ini mulai dimanfaatkan dalam berbagai bidang untuk membantu menyelesaikan permasalahan secara lebih efektif dan efisien. Salah satu teknologi yang banyak digunakan adalah *Computer vision*, yaitu teknologi yang memungkinkan sistem komputer mengenali objek melalui citra digital. Dalam bidang pengelolaan sampah, penerapan *Computer vision* dapat digunakan untuk membantu proses identifikasi dan klasifikasi sampah secara otomatis. Teknologi tersebut dinilai mampu mengurangi kesalahan dalam proses pemilahan sampah sekaligus meningkatkan efektivitas pengelolaan sampah di lingkungan masyarakat [3]. Selain aspek akurasi model, perkembangan teknologi *cloud computing* juga mulai dimanfaatkan dalam implementasi sistem berbasis *Artificial Intelligence*. Teknologi *cloud computing* memungkinkan proses penyimpanan, pengelolaan, dan akses sistem dilakukan secara *online* tanpa bergantung pada perangkat lokal pengguna. Dengan adanya teknologi tersebut, sistem klasifikasi sampah dapat diakses

secara lebih fleksibel melalui berbagai perangkat yang terhubung ke internet sehingga meningkatkan kemudahan penggunaan dalam kehidupan sehari-hari.

Pemanfaatan teknologi *Computer vision* dalam klasifikasi sampah telah banyak diterapkan pada berbagai penelitian sebelumnya. Salah satu penelitian yang dilakukan oleh [4] menggunakan metode *YOLOv5* untuk mendeteksi jenis sampah secara *real-time* melalui kamera *smartphone*. Pendekatan tersebut mampu mengenali objek sekaligus menentukan posisi objek yang terdeteksi. Namun, metode *YOLO* memerlukan proses komputasi yang lebih besar serta implementasi yang lebih kompleks karena sistem tidak hanya melakukan klasifikasi, tetapi juga pendeteksian lokasi objek menggunakan *bounding box*. Sistem yang dikembangkan masih berfokus pada platform *mobile* sehingga fleksibilitas akses sistem masih terbatas [5].

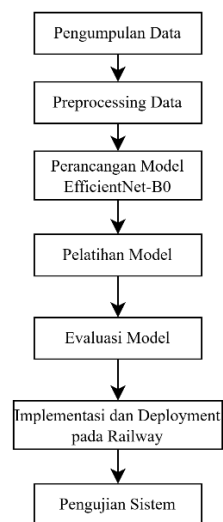
Penelitian lain oleh [6] menggunakan metode *Convolutional Neural Network (CNN)* untuk mengklasifikasikan sampah organik dan anorganik. Hasil penelitian menunjukkan performa yang cukup baik pada klasifikasi sampah anorganik, namun akurasi pada sampah organik masih tergolong rendah karena bentuk dan karakteristik visual sampah yang sangat beragam. Penelitian tersebut juga masih menggunakan arsitektur *CNN* secara umum sehingga belum memanfaatkan model *lightweight* modern yang lebih efisien untuk implementasi berbasis *web* maupun *cloud computing*. Sistem yang dikembangkan juga hanya berfokus pada dua kategori sampah sehingga penerapannya masih terbatas pada klasifikasi sederhana.

Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh [7] berfokus pada pengembangan sistem klasifikasi sampah otomatis menggunakan algoritma *Convolutional Neural Network (CNN)* dengan arsitektur *EfficientNet-B0* dan *ResNet-50* untuk membedakan sampah organik dan *recyclable*. Penelitian tersebut berhasil memperoleh akurasi yang tinggi melalui penerapan *transfer learning*, *data augmentation*, dan optimasi *hyperparameter*. Namun, penelitian tersebut masih terbatas pada klasifikasi biner serta lebih menitikberatkan pada perbandingan performa model, sehingga belum membahas klasifikasi sampah yang lebih spesifik dan implementasi sistem yang dapat digunakan secara langsung oleh masyarakat dalam proses pemilahan sampah sehari-hari.

Berdasarkan permasalahan dan penelitian sebelumnya, penelitian ini menggunakan pendekatan *image classification* berbasis *deep learning* dengan model *EfficientNet-B0* untuk melakukan klasifikasi jenis sampah dari gambar yang diunggah pengguna. Model *EfficientNet-B0* dipilih karena memiliki performa klasifikasi yang baik dengan efisiensi komputasi yang tinggi sehingga sesuai untuk implementasi sistem berbasis *web* [8]. Sistem juga dikembangkan berbasis *web* dan diimplementasikan menggunakan *cloud computing Railway* agar dapat

diakses secara lebih fleksibel melalui berbagai perangkat. Novelty pada penelitian ini terletak pada penggabungan model *EfficientNet-B0* dengan implementasi sistem berbasis *web* dan *cloud computing* menggunakan *Railway*. Melalui implementasi tersebut, sistem tidak hanya mampu melakukan klasifikasi sampah secara otomatis, tetapi juga dapat diakses secara *online* oleh pengguna. Pemanfaatan *cloud computing* dalam pengembangan sistem berbasis *Artificial Intelligence* memberikan berbagai keuntungan, seperti kemudahan akses sistem, efisiensi penggunaan sumber daya perangkat, serta kemampuan menjalankan proses komputasi secara *online* melalui *server cloud*. Dengan pendekatan tersebut, pengguna tidak perlu memiliki perangkat dengan spesifikasi tinggi untuk menjalankan model *deep learning* karena proses *inferensi* dilakukan pada *server* [9]. Oleh karena itu, implementasi sistem klasifikasi sampah berbasis *web* dan *cloud computing* diharapkan dapat lebih fleksibel serta berpotensi meningkatkan aksesibilitas penggunaan sistem dalam kehidupan sehari-hari.

2. MATERIALS AND METHODS



Gambar 1. Metode Penelitian

Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem klasifikasi sampah berbasis *deep learning* yang didukung oleh penerapan *cloud computing* untuk meningkatkan aksesibilitas dan efisiensi sistem. Pendekatan yang digunakan diarahkan untuk menghasilkan sistem yang mampu melakukan klasifikasi secara otomatis melalui pemrosesan citra dan dapat diakses secara *online* melalui *cloud*.

2.1 Pengumpulan Data

Dataset merupakan kumpulan data yang digunakan sebagai sumber pembelajaran model dalam proses klasifikasi citra [10]. Pada penelitian ini, data diperoleh dari platform *Kaggle* dan ditambah beberapa gambar hasil pencarian *Google* untuk meningkatkan variasi *dataset*. *Dataset* terdiri dari lima kategori

sampah, yaitu plastik, kaca, besi, kertas, dan organik dengan format gambar *.jpg* dan *.png*. Setelah data terkumpul, seluruh gambar dikelompokkan sesuai kategorinya dan dilakukan pengecekan label untuk memastikan kesesuaian data sebelum memasuki tahap *Preprocessing*.

2.2 Preprocessing Data

Preprocessing merupakan tahap persiapan data sebelum digunakan pada proses pelatihan model agar kualitas data menjadi lebih baik dan sesuai dengan kebutuhan sistem [11]. Pada penelitian ini, seluruh gambar diubah ukurannya menjadi 224×224 piksel agar sesuai dengan ukuran *input* model *EfficientNet-B0*. Selanjutnya dilakukan *normalisasi* nilai piksel ke rentang 0–1 dengan membagi nilai piksel menggunakan 255. Penelitian ini juga menerapkan teknik *data augmentation* seperti rotasi, *zoom*, pergeseran gambar, dan *horizontal flip* untuk meningkatkan variasi data latih serta mengurangi risiko *overfitting*.

2.3 Perancangan Model

EfficientNet-B0 merupakan salah satu arsitektur *Convolutional Neural Network (CNN)* yang dirancang untuk menghasilkan performa klasifikasi tinggi dengan efisiensi komputasi yang baik [12]. Pada penelitian ini, *EfficientNet-B0* digunakan dengan pendekatan *transfer learning* menggunakan bobot awal dari *ImageNet*. Lapisan klasifikasi bawaan model kemudian diganti dengan beberapa lapisan tambahan seperti *GlobalAveragePooling2D*, *Dropout*, dan *Dense layer* dengan fungsi aktivasi *softmax* untuk mendukung klasifikasi lima kategori sampah. Model dikompilasi menggunakan *optimizer Adam* dan fungsi *loss categorical_crossentropy*.

2.4 Pelatihan Model

Pelatihan model merupakan proses pembelajaran model untuk mengenali pola berdasarkan data latih yang diberikan. Pada penelitian ini, *dataset* dibagi menjadi data *training* dan *validation* [13]. Proses pelatihan dilakukan menggunakan beberapa parameter seperti *epoch*, *batch size*, dan *learning rate* yang telah disesuaikan. Selama pelatihan berlangsung, model menghasilkan nilai *training accuracy*, *validation accuracy*, *training loss*, dan *validation loss* untuk memantau performa model dan mendeteksi kemungkinan *overfitting* [14]. Model terbaik kemudian disimpan dalam file *trash_model.keras* untuk digunakan pada tahap implementasi sistem.

2.5 Evaluasi Model

Evaluasi model dilakukan untuk mengukur kemampuan model dalam melakukan klasifikasi terhadap data baru yang tidak digunakan selama pelatihan. Pada penelitian ini, evaluasi dilakukan menggunakan metrik *accuracy*, *precision*, *recall*, dan *F1-score*. Selain itu, digunakan juga *confusion matrix* untuk melihat detail hasil prediksi pada masing-masing kategori sampah, yaitu plastik, kaca, besi, kertas, dan organik [15]. Hasil evaluasi digunakan

untuk mengetahui tingkat ketepatan model serta menganalisis kategori yang masih sering mengalami kesalahan klasifikasi.

2.6 Implementasi dan Deployment

Implementasi sistem dilakukan dengan mengintegrasikan model *EfficientNet-B0* ke dalam aplikasi berbasis *web* menggunakan *framework Flask* [16]. Sistem dirancang agar pengguna dapat mengunggah gambar sampah dan memperoleh hasil klasifikasi secara otomatis melalui halaman *web*.

Setelah implementasi selesai, aplikasi kemudian dihosting menggunakan platform *cloud computing Railway* agar sistem dapat diakses secara *online* melalui berbagai perangkat. *Railway* merupakan layanan *Platform as a Service (PaaS)*, yaitu jenis *cloud computing* yang menyediakan lingkungan siap pakai untuk menjalankan aplikasi tanpa perlu melakukan konfigurasi *server* secara manual [17]. Penggunaan *Railway* memberikan beberapa kelebihan, seperti proses *deployment* yang lebih mudah, *skalabilitas* sistem, kemudahan integrasi dengan *GitHub*, serta kemampuan menjalankan aplikasi secara *online* melalui *server cloud* [18].

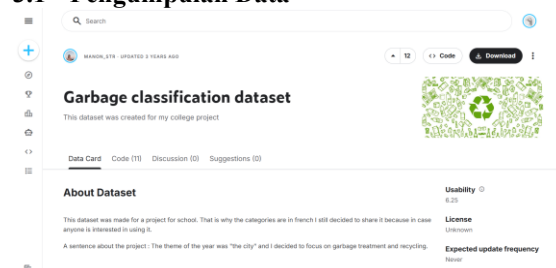
Dengan pendekatan ini, proses *inferensi* model dilakukan pada *server cloud* sehingga pengguna tidak memerlukan perangkat dengan spesifikasi tinggi untuk menjalankan sistem. Selain itu, aplikasi dapat diakses secara fleksibel melalui *browser* menggunakan *URL* publik yang disediakan *Railway*, sehingga mendukung implementasi sistem klasifikasi sampah berbasis *web* yang lebih praktis dan mudah digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

2.7 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan seluruh fitur aplikasi berjalan dengan baik. Pada penelitian ini, pengujian dilakukan pada proses *upload* gambar, prediksi klasifikasi, dan tampilan hasil prediksi menggunakan beberapa sampel gambar dari setiap kategori sampah. Selain itu, pengujian akses sistem juga dilakukan melalui berbagai perangkat dan *browser* untuk memastikan aplikasi berbasis *cloud Railway* dapat berjalan secara stabil dan responsif.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Pengumpulan Data



Gambar 2. Dataset dari Platform Kaggle

Penelitian ini memanfaatkan *dataset* citra sampah yang diperoleh dari platform Kaggle melalui

Garbage Classification Dataset. *Dataset* tersebut dipilih karena menyediakan berbagai jenis gambar sampah yang sesuai dengan kebutuhan sistem klasifikasi yang dikembangkan. Keberadaan *dataset* yang beragam sangat penting dalam pengembangan model berbasis *deep learning* karena kualitas dan variasi data dapat mempengaruhi kemampuan model dalam mengenali objek secara akurat. Semakin bervariasi data yang digunakan, maka semakin baik pula kemampuan model dalam beradaptasi terhadap kondisi nyata [19].

Selain menggunakan *dataset* dari Kaggle, penelitian ini juga menambahkan sejumlah gambar yang diperoleh melalui pencarian di Google Foto. Penambahan data dilakukan untuk memperkaya variasi objek, baik dari segi bentuk, pencahayaan, latar belakang, maupun sudut pengambilan gambar [20]. Langkah ini dilakukan agar model tidak hanya mengenali objek berdasarkan kondisi tertentu saja, tetapi juga mampu melakukan klasifikasi pada gambar dengan kondisi yang berbeda-beda. Dalam pengembangan sistem klasifikasi citra, variasi data menjadi salah satu faktor penting untuk meningkatkan performa model dan mengurangi kemungkinan terjadinya *overfitting* selama proses pelatihan.

Tabel 1. Persebaran Jumlah *Dataset*

Kelas	Jumlah <i>Dataset</i>
Plastik	400
Kaca	402
Logam	411
Kertas	436
Organik	419
Total	2068

Data yang telah dikumpulkan kemudian dikelompokkan sesuai kategori sampah, seperti plastik, kaca, kertas, logam, dan organik. Setelah proses seleksi dilakukan, seluruh citra digunakan sebagai *dataset* utama dalam tahapan pelatihan dan validasi model *Artificial Intelligence*. Total data yang berhasil dikumpulkan pada penelitian ini mencapai 2.068 gambar yang berasal dari kombinasi *dataset* Kaggle dan tambahan gambar dari internet. *Dataset* tersebut menjadi dasar utama dalam proses pengembangan sistem *Smart Trash Classification* agar mampu melakukan identifikasi jenis sampah secara otomatis dengan tingkat akurasi yang baik.

3.2 Preprocessing Data

Setelah *dataset* berhasil dikumpulkan, tahap berikutnya yang dilakukan adalah *Preprocessing* data. Tahap ini merupakan proses persiapan data citra sebelum digunakan dalam pelatihan model *Artificial Intelligence*. Pada tahap ini, data diklasifikasikan ke dalam lima kelas, yaitu plastik, kaca, logam, kertas, dan organik. *Preprocessing* bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh gambar memiliki ukuran, format, dan kualitas yang seragam sehingga dapat diproses secara optimal oleh model *deep learning*.

Pada penelitian ini, seluruh gambar diubah menjadi ukuran 224×224 piksel menggunakan *library TensorFlow* agar sesuai dengan kebutuhan model *EfficientNet-B0* yang digunakan dalam penelitian.

Dataset kemudian dibagi menjadi 80% data pelatihan dan 20% data validasi. Data pelatihan digunakan untuk melatih model, dan data validasi digunakan untuk mengamati bagaimana model bekerja selama proses validasi. Dengan adanya data validasi, proses pelatihan model dapat dipantau untuk mengetahui tingkat akurasi dan menghindari terjadinya penurunan performa model.

Selanjutnya, dilakukan optimalisasi proses pembacaan *dataset* agar proses pelatihan dapat berjalan lebih efisien. Teknik ini memungkinkan data dipersiapkan secara otomatis sebelum proses pelatihan pada *batch* sebelumnya selesai sehingga waktu komputasi dapat menjadi lebih cepat dan penggunaan sumber daya sistem menjadi lebih optimal.

Pada tahap *Preprocessing* juga diterapkan teknik *data augmentation* untuk meningkatkan variasi data citra. Teknik ini dilakukan dengan memberikan beberapa transformasi secara acak pada gambar, seperti membalik gambar secara horizontal dan vertikal, rotasi gambar, pembesaran atau pengecilan gambar, serta perubahan kontras. Penerapan teknik ini bertujuan agar model mampu mengenali objek sampah dalam berbagai kondisi pencahayaan, posisi, dan sudut pengambilan gambar. Diharapkan dengan diberlakukannya teknik *data augmentation*, dapat membantu mengurangi risiko *overfitting* sehingga model dapat melakukan generalisasi data dengan lebih baik [21].

Saat pengguna mengunggah foto melalui *web*, *Preprocessing* juga dilakukan pada tahap implementasi sistem. Gambar yang diunggah dimuat kembali dalam ukuran 224×224 piksel. Kemudian, gambar diubah menjadi *array* numerik dan dimensi *batch* ditambahkan untuk menyesuaikan format *input* model. Proses ini memastikan format *input* saat penggunaan sistem sesuai dengan format *input* yang digunakan oleh model, sehingga proses klasifikasi dapat dilakukan dengan baik. Setelah seluruh tahapan *Preprocessing* selesai dilakukan, *dataset* siap digunakan dalam proses pelatihan model.

3.3 Perancangan Model

Perancangan model pada penelitian ini mengacu pada penelitian sebelumnya yang menggunakan arsitektur *EfficientNet-B0* dengan pendekatan *transfer learning* [22]. Model *EfficientNet-B0* berfungsi sebagai model dasar yang digunakan untuk membantu proses klasifikasi citra. Untuk menghasilkan klasifikasi ke dalam lima kelas sampah, ditambahkan beberapa lapisan seperti *GlobalAveragePooling2D*, *Dropout 0.4*, dan Lapisan *Dense* dengan aktivasi *softmax*.

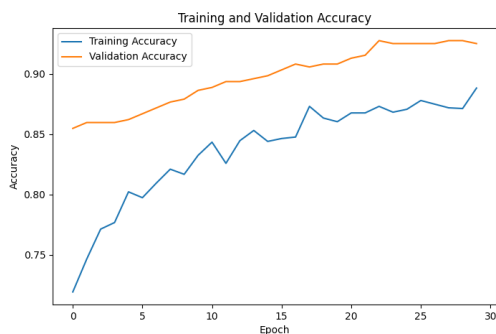
Proses pelatihan dilakukan secara bertahap, kemudian dilanjutkan dengan proses *fine-tuning* untuk meningkatkan kemampuan model dalam mengenali

pola citra sampah secara lebih optimal. Setelah proses pelatihan selesai dilakukan, model disimpan dalam format *.keras* sehingga dapat digunakan pada tahap implementasi sistem.

3.4 Pelatihan Model

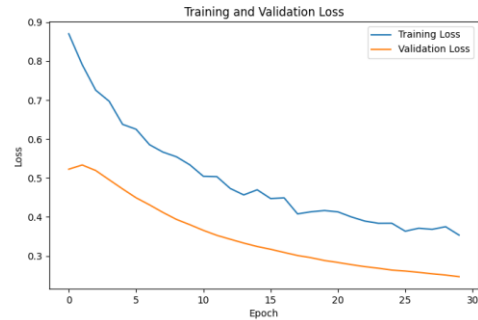
Pada tahap pelatihan model, proses *training* dilakukan menggunakan *dataset* yang telah melalui tahap *Preprocessing* sebelumnya. Pelatihan dilakukan untuk membantu model mempelajari pola dan karakteristik dari setiap kategori sampah sehingga sistem dapat melakukan klasifikasi gambar secara otomatis dengan lebih akurat. Selama proses pelatihan, sistem melakukan pengukuran terhadap nilai *accuracy* dan *loss* untuk mengetahui perkembangan performa model pada data pelatihan maupun data validasi.

Hasil pelatihan menunjukkan bahwa nilai *training accuracy* mengalami peningkatan secara bertahap selama proses *training* berlangsung. Pada awal *epoch*, akurasi *training* berada di sekitar 0.72 dan terus meningkat hingga mendekati 0.89 pada *epoch* terakhir. Sementara itu, *validation accuracy* dimulai dari sekitar 0.85 dan meningkat hingga mencapai sekitar 0.92. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa model mampu mempelajari pola data dengan baik seiring bertambahnya *epoch* pelatihan. Selain itu, nilai *validation accuracy* yang tetap stabil dan lebih tinggi dibandingkan *training accuracy* menandakan bahwa model memiliki kemampuan generalisasi yang baik terhadap data validasi dan belum menunjukkan gejala *overfitting* yang signifikan.



Gambar 3. Grafik *Training* and *Validation accuracy*

Selain peningkatan akurasi, nilai *loss* pada proses pelatihan juga mengalami penurunan yang cukup konsisten. Nilai *training loss* turun dari sekitar 0.87 menjadi sekitar 0.35, sedangkan *validation loss* menurun dari sekitar 0.53 menjadi sekitar 0.25. Penurunan nilai *loss* tersebut menunjukkan bahwa model semakin baik dalam meminimalkan kesalahan prediksi selama proses *training* berlangsung. Stabilitasnya nilai *validation loss* pada akhir pelatihan juga menunjukkan bahwa model tetap bekerja dengan baik tanpa mengalami penurunan performa pada data validasi.



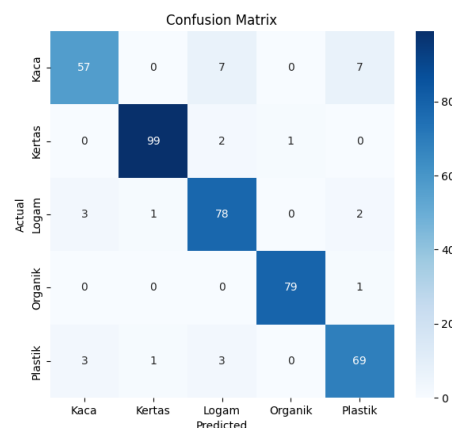
Gambar 4. Grafik *Training* and *Validation loss*

Berdasarkan hasil pelatihan yang diperoleh, model mampu menunjukkan performa yang cukup baik dalam melakukan klasifikasi sampah. Hal ini dapat dilihat dari meningkatnya nilai akurasi serta menurunnya nilai *loss* selama proses pelatihan berlangsung sehingga model dapat digunakan untuk melakukan klasifikasi sampah secara otomatis dengan hasil prediksi yang cukup optimal.

3.5 Evaluasi Model

Evaluasi model dilakukan untuk mengetahui tingkat performa sistem dalam melakukan klasifikasi jenis sampah berdasarkan data yang telah diuji. Pada penelitian ini, evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil prediksi model terhadap label asli pada *dataset* sehingga dapat diketahui kemampuan model dalam mengenali setiap kategori sampah secara tepat. Proses evaluasi menggunakan *confusion matrix* untuk melihat tingkat ketepatan klasifikasi pada masing-masing kelas sampah.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model mampu melakukan klasifikasi dengan cukup baik pada lima kategori sampah, yaitu kaca, kertas, logam, organik, dan plastik. Pada kelas kaca, model berhasil memprediksi 57 data dengan benar, namun masih terdapat beberapa kesalahan prediksi ke kelas logam sebanyak 10 data dan plastik sebanyak 13 data. Kelas kertas menunjukkan performa terbaik dengan 99 data berhasil diprediksi secara benar dan hanya sedikit kesalahan pada kelas lainnya.



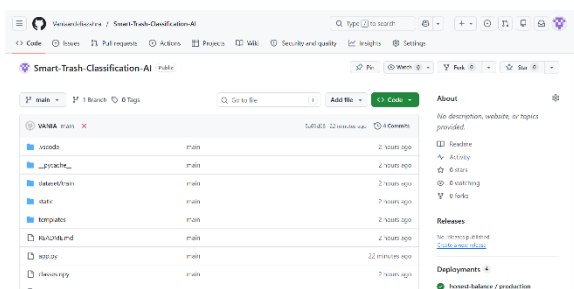
Gambar 5. *Confusion matrix*

Pada kelas logam, model berhasil memprediksi 78 data dengan benar, meskipun masih terdapat beberapa kesalahan klasifikasi ke kelas kaca, kertas, dan plastik. Sementara itu, kelas organik menunjukkan hasil yang sangat baik dengan 79 prediksi benar dan hanya 1 data yang salah diprediksi sebagai plastik. Pada kelas plastik, model mampu memprediksi 69 data dengan benar, namun masih terdapat beberapa kesalahan prediksi ke kelas kaca, kertas, dan logam. Kesalahan tersebut kemungkinan terjadi karena adanya kemiripan karakteristik visual antar beberapa jenis sampah, seperti bentuk, warna, maupun tekstur objek pada gambar.

Secara keseluruhan, hasil evaluasi menunjukkan bahwa model memiliki performa klasifikasi yang cukup baik karena sebagian besar data berhasil diprediksi dengan benar pada setiap kategori sampah. Dominasi nilai pada diagonal utama *confusion matrix* menunjukkan bahwa sistem *Smart Trash Classification* mampu bekerja dengan cukup optimal dalam melakukan klasifikasi sampah berbasis *Artificial Intelligence*.

3.6 Implementasi dan Deployment

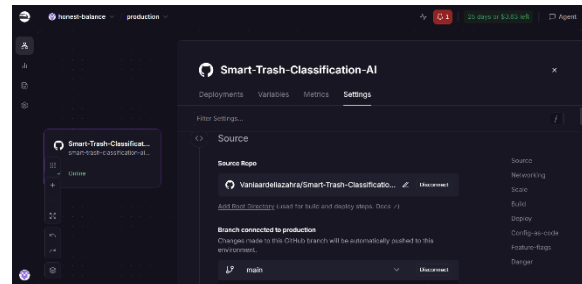
Implementasi sistem dilakukan setelah proses pelatihan dan evaluasi model selesai dilakukan. Pada tahap ini, model *Smart Trash Classification* diintegrasikan ke dalam aplikasi berbasis *web* menggunakan *framework Flask* sehingga sistem dapat digunakan untuk melakukan klasifikasi sampah secara langsung oleh pengguna. Seluruh *source code*, model hasil pelatihan, serta file pendukung aplikasi kemudian diunggah ke platform *GitHub* sebagai media penyimpanan dan integrasi proyek. Penggunaan *GitHub* memudahkan proses pengelolaan kode program serta mendukung implementasi sistem berbasis *cloud computing*.



Gambar 6. Repository *GitHub*

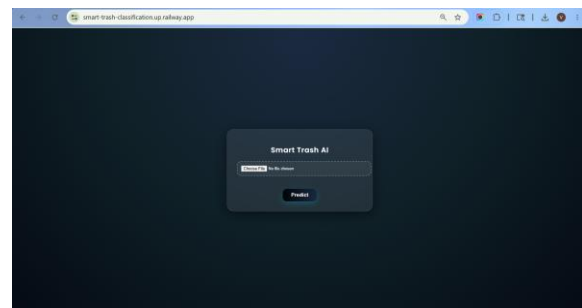
Setelah proses integrasi selesai, aplikasi kemudian dilakukan proses *deployment* menggunakan layanan *cloud platform Railway*. *Deployment* dilakukan agar sistem dapat diakses secara online tanpa harus dijalankan secara lokal pada perangkat pengguna. Pendapat ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh [23] yang menyatakan bahwa penggunaan *cloud computing* dapat mendukung pengembangan sistem digital yang lebih efektif, fleksibel, dan mudah diakses. Penerapan *cloud computing* pada penelitian ini memungkinkan sistem

memiliki aksesibilitas yang lebih baik, fleksibilitas penggunaan, serta mempermudah proses pengelolaan aplikasi dan model *Artificial Intelligence* secara terpusat. Selain itu, teknologi ini juga mendukung proses penyimpanan data dan layanan prediksi secara *online* sehingga sistem dapat digunakan secara lebih efisien dan *real-time*.



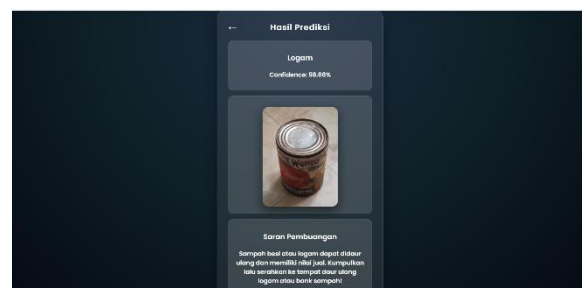
Gambar 7. *Railway Deployment*

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem berhasil dijalankan pada platform *web* dan mampu melakukan proses klasifikasi sampah dengan baik. Pada halaman utama, pengguna dapat mengunggah gambar sampah melalui fitur *upload* yang telah disediakan, kemudian menekan tombol *predict* untuk memulai proses klasifikasi oleh sistem.

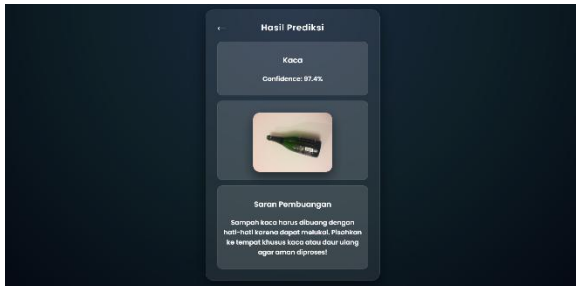


Gambar 8. Tampilan *Web Smart Trash Classification*

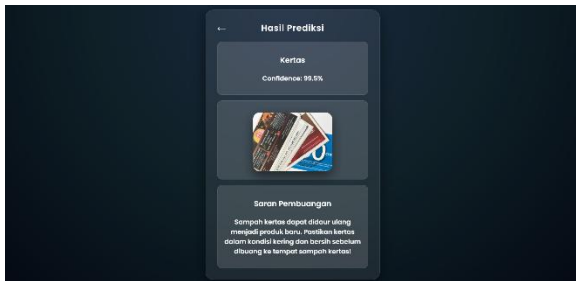
Setelah proses prediksi selesai dilakukan, sistem akan menampilkan hasil klasifikasi berupa kategori sampah beserta tingkat kepercayaan (*confidence*) dari hasil prediksi tersebut. Selain itu, sistem juga menampilkan saran penanganan sampah sesuai dengan jenis sampah yang berhasil dikenali sehingga pengguna dapat mengetahui cara pengelolaan sampah yang tepat berdasarkan hasil klasifikasi.



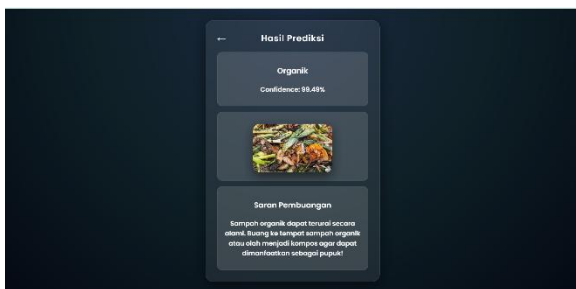
Gambar 9. Hasil Prediksi Sampah Jenis Logam



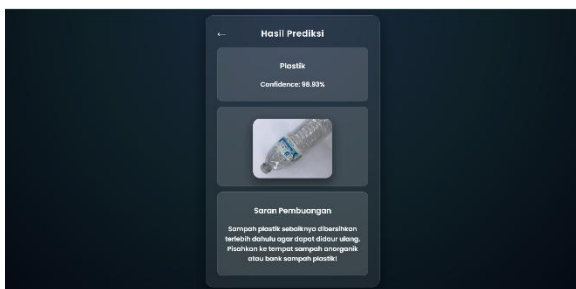
Gambar 10. Hasil Prediksi Sampah Jenis Kaca



Gambar 11. Hasil Prediksi Sampah Jenis Kertas



Gambar 12. Hasil Prediksi Sampah Jenis Organik



Gambar 13. Hasil Prediksi Sampah Jenis Plastik

Berdasarkan hasil implementasi yang telah dilakukan, sistem *Smart Trash Classification* mampu berjalan dengan baik pada platform berbasis *web* dan dapat diakses secara online melalui teknologi *cloud computing*. Seluruh fitur utama, mulai dari proses *upload* gambar hingga penampilan hasil prediksi, dapat berjalan sesuai dengan fungsi yang telah dirancang. Hal ini menunjukkan bahwa model *Artificial Intelligence* yang telah dikembangkan berhasil diterapkan ke dalam aplikasi dan mampu digunakan sebagai media klasifikasi sampah secara otomatis.

3.7 Pengujian Sistem

Pengujian sistem pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode *Black Box Testing*.

Metode *Black Box Testing* merupakan metode pengujian perangkat lunak yang dilakukan dengan cara mengamati fungsi sistem berdasarkan masukan (*input*) dan keluaran (*output*) tanpa melihat atau menganalisis struktur kode program yang digunakan [24]. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah sistem telah berjalan sesuai dengan kebutuhan fungsional yang telah dirancang serta memastikan setiap fitur dapat digunakan dengan baik oleh pengguna [25].

Pada penelitian ini, pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh fungsi pada sistem *Smart Trash Classification* dapat berjalan dengan baik pada platform *web* maupun *mobile*. Proses pengujian dilakukan terhadap beberapa fitur utama sistem, seperti proses *upload* gambar, klasifikasi sampah, validasi *input*, serta tampilan hasil prediksi pada kedua platform. Melalui pengujian ini, sistem dapat dievaluasi berdasarkan kesesuaian hasil yang diberikan dengan fungsi yang diharapkan sehingga kualitas dan kinerja aplikasi dapat diketahui secara lebih optimal.

Tabel 2. Pengujian Sistem pada *Web*

Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengujian	Status
<i>Upload</i> gambar sampah	Sistem berhasil menerima dan menampilkan gambar	Gambar berhasil ditampilkan pada sistem	✓
Proses klasifikasi sampah	Sistem menampilkan hasil klasifikasi sampah	Hasil prediksi AI berhasil ditampilkan	✓
Validasi tanpa gambar	Sistem menampilkan pesan error	Pesan error berhasil ditampilkan	✓
<i>Upload</i> file tidak sesuai format	Sistem menampilkan pesan error	Sistem berhasil menampilkan pesan error	✓
Menampilkan hasil prediksi	Sistem menampilkan label kategori dan tingkat akurasi	Label kategori dan <i>confidence</i> berhasil ditampilkan	✓

Tabel 3. Pengujian Sistem pada *Mobile Web*

Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengujian	Status
<i>Upload</i> gambar sampah	Sistem berhasil menerima dan menampilkan gambar	Gambar berhasil ditampilkan pada sistem	✓

Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengujian	Status
Proses klasifikasi sampah	Sistem menampilkan hasil klasifikasi sampah	Hasil prediksi AI berhasil ditampilkan	✓
Validasi tanpa gambar	Sistem menampilkan pesan error	Pesan error berhasil ditampilkan	✓
Upload file tidak sesuai format	Sistem menampilkan pesan error	Sistem berhasil menampilkan pesan error	✓
Menampilkan hasil prediksi	Sistem menampilkan label kategori dan tingkat akurasi	Label kategori dan <i>confidence</i> berhasil ditampilkan	✓

4. CONCLUSION

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, sistem *Smart Trash Classification* berbasis *Artificial Intelligence* mampu melakukan klasifikasi sampah dengan cukup baik. Proses pelatihan menunjukkan peningkatan nilai *accuracy* dan penurunan nilai *loss* secara bertahap, yang menandakan bahwa model mampu mempelajari pola dari setiap kategori sampah dengan optimal serta memiliki kemampuan generalisasi yang baik tanpa mengalami *overfitting* yang signifikan. Hasil evaluasi menggunakan *confusion matrix* juga menunjukkan bahwa sistem mampu mengklasifikasikan lima kategori sampah, yaitu kaca, kertas, logam, organik, dan plastik dengan tingkat ketepatan yang baik meskipun masih terdapat beberapa kesalahan prediksi akibat kemiripan karakteristik visual antar objek sampah. Pada tahap implementasi, model berhasil diterapkan ke dalam aplikasi berbasis *web* menggunakan framework *Flask* dan didukung teknologi *cloud computing* menggunakan *Railway* sehingga sistem dapat diakses secara online. Seluruh fitur utama sistem, mulai dari upload gambar hingga tampilan hasil prediksi dan rekomendasi penanganan sampah, dapat berjalan dengan baik. Dengan demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan *deep learning* menggunakan arsitektur *EfficientNet-B0* dapat dimanfaatkan secara efektif dalam pengembangan sistem klasifikasi sampah pintar yang modern, efisien, dan mudah digunakan.

ACKNOWLEDGEMENTS

Penulis mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis juga menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu Yuyun Umaidah, M.Kom serta Bapak Arip Solehudin selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan dukungan

selama proses penyusunan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada keluarga serta seluruh pihak yang telah membantu dan memberikan motivasi selama penelitian berlangsung. Selain itu, penulis menyampaikan apresiasi kepada penyedia *dataset* dan teknologi pendukung yang digunakan dalam pengembangan sistem klasifikasi sampah berbasis *deep learning* ini. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan teknologi dan pengelolaan sampah di masa mendatang.

REFERENCES

- [1] A. W. Nurohmah, A. C. Putri, A. Nurrohmah, B. A. D. Jayanti, O. O. Putri, and T. S. Mahanani, "Edukasi Pengelolaan dan Pengolahan Sampah Rumah Tangga di Desa Doplang, Kecamatan Karangpandan, Kabupaten Karanganyar, Jawa Tengah," *Jurnal Pengabdian Masyarakat Inovasi Indonesia*, vol. 2, no. 2, pp. 291–300, 2024.
- [2] A. Pratiwi, H. Febriawati, Afriyanto, N. Wati, and W. Angraini, "Manajemen Pengelolaan Sampah di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Air Sebakul Kota Bengkulu," *Journal of Nursing and Public Health (JNPH)*, vol. 13, no. 1, pp. 375–385, 2025.
- [3] A. Lusman, R. Devita, O. E. Putra, E. Rianti, and F. Islami, "Implementasi Computer Vision dalam Deteksi dan Klasifikasi Sampah Otomatis pada Sistem Pengolahan Limbah Perkotaan," *Jurnal Sains Informatika Terapan (JSIT)*, vol. 5, no. 1, pp. 115–121, 2026.
- [4] Muh. Fachrisyama, D. Indra, and M. Hasnawi, "Implementasi Metode YOLO Dalam Mendeteksi Jenis Sampah Berbasis Computer Vision," *LINIER: Literatur Informatika dan Komputer*, vol. 2, no. 1, pp. 68–76, 2025, doi: 10.33096/linier.v2i1.2788.
- [5] W. Vidiadivani and I. K. G. Suhartana, "Klasifikasi Jenis Sampah Menggunakan Metode Transfer Learning Pada Convolutional Neural Network (CNN)," *Jurnal Elektronik Ilmu Komputer Udayana (JELIKU)*, vol. 12, no. 3, pp. 589–596, 2024, doi: 10.24843/jlk.2023.v12.i03.p11.
- [6] A. I. Rasidi, Y. A. H. Pasaribu, A. Ziqri, and F. D. Adhinata, "Klasifikasi Sampah Organik dan Non-Organik Menggunakan Convolutional Neural Network," *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 8, no. 1, pp. 142–149, Apr. 2022, doi: 10.28932/jutisi.v8i1.4314.
- [7] W. M. Ardana and Kusri, "Optimasi Algoritma Convolutional Neural Network dengan Arsitektur Efficientnet-B0 dan Resnet-50 untuk Klasifikasi Jenis Sampah," *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, vol. 5, no. 4, pp. 1274–1286, 2025.
- [8] T. Kurniawan, K. Khadijah, and R. Kusumaningrum, "An Efficient Model for Waste Image Classification Using EfficientNet-B0," *Jurnal Teknik Informatika (JUTIF)*, vol. 6, no. 3, pp. 1147–1158, Jun. 2025, doi: 10.52436/1.jutif.2025.6.3.4417.
- [9] G. W. C. Bagaskara and N. Heryana, "Tinjauan Literatur Tentang Cloud Computing dan Artificial Intelligence (AI): Potensi dan Tantangan," *Jurnal Nasional Teknologi Informasi dan Aplikasinya (JNATIA)*, vol. 2, no. 2, pp. 423–428, 2024.
- [10] N. S. Atmaja, S. Harahap, and M. K. Harahap, "Analisis Pengaruh Jumlah Data Latih terhadap Kinerja Convolutional Neural Network pada Klasifikasi Citra," *Sudo Jurnal Teknik Informatika*, vol. 5, no. 1, pp. 23–31, Mar. 2026, doi: 10.56211/sudo.v5i1.1572.
- [11] M. R. A. Yudianto, P. Sukmasya, R. A. Hasani, and D. Sasongko, "Pengaruh Data Preprocessing terhadap Imbalanced Dataset pada Klasifikasi Citra Sampah menggunakan Algoritma Convolutional Neural

- Network,” *Building of Informatics, Technology and Science (BITS)*, vol. 4, no. 3, p. 1367–1375, Dec. 2022, doi: 10.47065/bits.v4i3.2575.
- [12] N. P. Maylianti, I. G. N. L. Wijayakusuma, and I. P. C. A. Wiguna, “Comparison of EfficientNet-B0 and ResNet-50 for Detecting Diseases in Cocoa Fruit,” *Journal of Applied Informatics and Computing (JAIC)*, vol. 9, no. 1, pp. 115–120, 2025, doi: 10.30871/jaic.v9i1.8868.
- [13] Muslihati, S. Sahibu, and I. Taufik, “Implementasi Algoritma Convolutional Neural Network untuk Klasifikasi Jenis Sampah Organik dan Non Organik,” *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, vol. 4, no. 3, pp. 840–852, 2024, doi: 10.57152/malcom.v4i3.1346.
- [14] M. Haqqi, L. Rochmah, A. D. Safitri, R. A. Pratama, and Tarwoto, “Implementation Of Machine Learning To Identify Types Of Waste Using CNN Algorithm,” *Jurnal Fasilkom*, vol. 14, no. 3, pp. 761–765, 2024, doi: 10.37859/jf.v14i3.8116.
- [15] M. F. Al Firdaus and R. Rahmadewi, “IMPLEMENTASI MODEL YOLOv8 UNTUK KLASIFIKASI SAMPAH ORGANIK DAN DAUR ULANG MENGGUNAKAN DATASET TERANOTASI MANUAL,” *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika (JATI)*, vol. 9, no. 5, pp. 7585–7591, 2025, doi: 10.36040/jati.v9i5.14615.
- [16] S. E. Thio and J. Susilo, “Identifikasi Pemilahan Sampah Berbasis Algoritma Transfer Learning CNN Menggunakan MobileNetV2 dan EfficientNetB0,” *Binary Digital-Technology (Bit-Tech)*, vol. 8, no. 1, Aug. 2025, doi: 10.32877/bt.v8i1.1900.
- [17] D. Wahyuningsih, L. Affandi, and E. Sophia, “Evaluasi Performa Model Layanan Cloud Computing: Studi Komparatif IaaS, PaaS, Dan SaaS Dengan Pengujian Beban Bertingkat,” *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 16, no. 2, pp. 94–101, Jan. 2025, doi: 10.36382/jit-tki.v16i2.625.
- [18] R. R. Makalalag and G. D. P. Maramis, “Implementasi Sistem Manajemen Dokumen Cloud di Dinas Kebudayaan dan Pariwisata Kabupaten Minahasa,” *Remik: Riset dan E-Jurnal Manajemen Informatika Komputer*, vol. 9, no. 3, pp. 1101–1109, 2025, doi: 10.33395/remik.v9i3.15154.
- [19] G. Hermawan, “Memahami Peran Dataset dalam Penelitian Kecerdasan Buatan: Kualitas, Aksesibilitas, dan Tantangan,” *Preprint*, pp. 1–9, 2024, [Online]. Available: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34468.49288>
- [20] R. F. Puspita, M. Naufal, and F. Al Zami, “Improving YOLO Performance with Advanced Data Augmentation for Soccer Object Detection,” *Journal of Applied Informatics and Computing*, vol. 9, no. 6, pp. 3601–3611, Dec. 2025, doi: 10.30871/jaic.v9i6.11256.
- [21] D. F. Kuncoro, A. Wirasto, and D. N. Triwibowo, “Klasifikasi Jenis Sampah Berbasis Convolutional Neural Network dengan Optimasi Hyperparameter Tuning Arsitektur Mobilenet,” *Jurnal Manajemen Informatika dan Komputerisasi Akuntansi (METHOMIKA)*, vol. 9, no. 1, pp. 130–144, Apr. 2025, doi: 10.46880/jmika.Vol9No1.pp130-144.
- [22] A. A. Salsabila and Muljono, “Penerapan Arsitektur Deep Learning EfficientNetB0 Berbasis Citra Digital untuk Meningkatkan Kinerja Sistem Klasifikasi Sampah Organik, Anorganik, dan B3,” *Jurnal Riset Komputer (JURIKOM)*, vol. 12, no. 6, pp. 1006–1017, 2025, doi: 10.30865/jurikom.v12i6.9360.
- [23] M. Miftakhudin, M. Farkhan, and M. Izaki, “Optimalisasi Pembelajaran Jarak Jauh pada Institusi Pendidikan di Indonesia melalui Platform E-Learning Berbasis Cloud Computing,” *Jurnal BATIRSI*, vol. 8, no. 2, pp. 37–42, 2025.
- [24] H. Nurfauziah and I. Jamaliyah, “Perbandingan Metode Testing Antara Black Box dengan White Box pada Sebuah Sistem Informasi,” *Jurnal VISUALIKA*, vol. 8, no. 2, pp. 105–113, 2022.
- [25] Y. Saputra and D. Mardiaty, “IMPLEMENTASI SISTEM INFORMASI MANAJEMEN KLINIK MENGGUNAKAN METODE BLACK BOX TESTING,” *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan (JITET)*, vol. 13, no. 1, pp. 1611–1618, Jan. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i1.6015.