



Pengembangan Website Klasifikasi Jenis Sampah pada Anak menggunakan Metode CNN dengan Arsitektur MobileNetV2

I Gede Agus Perdana Putra^{1*}, Md. Wira Putra Dananjaya²

¹⁻²Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Pendidikan Nasional, Indonesia

Email: igedeagusperdana03@gmail.com¹, putradananjaya@undiknas.ac.id²

*Penulis Korespondensi: igedeagusperdana03@gmail.com

Abstract. Waste management in Indonesia, particularly the limited ability to distinguish and sort organic and inorganic waste from an early age, poses a challenge to achieving sustainable development goals. This study aims to develop a web-based learning system that integrates a Convolutional Neural Network (CNN) model with a transfer learning approach using the MobileNetV2 architecture to classify images of organic and inorganic waste as an interactive educational medium for elementary school students aged 6–12 years. A dataset comprising 3,000 images (1,500 organic and 1,500 inorganic) was obtained from publicly available sources and divided into training, validation, and testing sets at a ratio of 70:15:15. The preprocessing stage included data augmentation, normalization, and image resizing to 224×224 pixels. The model was trained for 20 epochs using the Adam optimizer and Binary Crossentropy loss function. The evaluation results demonstrated a test accuracy of 92%, with precision, recall, and F1-score values of 0.92 for both classes. The model was subsequently integrated into a Flask-based website featuring image upload functionality, educational articles, and interactive quizzes. The main contribution of this study lies in integrating a lightweight CNN-based image classification model into a child-oriented educational web platform, thereby supporting efforts to improve waste-sorting awareness from an early age among elementary school students in Denpasar City.

Keywords: CNN; Educational Website; Mobilenetv2; Transfer Learning; Waste Classification.

Abstrak. Permasalahan pengelolaan sampah di Indonesia, khususnya rendahnya kemampuan pemilahan sampah organik dan anorganik sejak usia dini, menjadi tantangan dalam pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pembelajaran berbasis website yang mengintegrasikan model Convolutional Neural Network (CNN) dengan pendekatan transfer learning menggunakan arsitektur MobileNetV2 untuk klasifikasi citra sampah organik dan anorganik sebagai media edukasi interaktif bagi siswa sekolah dasar usia 6–12 tahun. Dataset sebanyak 3.000 citra (1.500 organik dan 1.500 anorganik) diperoleh dari sumber publik, kemudian dibagi dengan rasio 70:15:15 untuk pelatihan, validasi, dan pengujian. Proses preprocessing meliputi augmentasi data, normalisasi, dan penyesuaian ukuran citra 224×224 piksel. Model dilatih selama 20 epoch dengan optimizer Adam dan loss function Binary Crossentropy. Hasil evaluasi menunjukkan test accuracy sebesar 92%, dengan nilai precision, recall, dan F1-score masing-masing 0,92 pada kedua kelas. Model diintegrasikan ke dalam website berbasis Flask yang dilengkapi fitur unggah citra, artikel edukasi, dan kuis interaktif. Kontribusi penelitian ini terletak pada integrasi model klasifikasi citra berbasis CNN ringan ke dalam platform web edukasi yang dirancang khusus untuk anak, sehingga dapat mendukung peningkatan kesadaran pemilahan sampah sejak usia dini di lingkungan sekolah dasar Kota Denpasar.

Kata Kunci: CNN; Klasifikasi Sampah; Mobilenetv2; Transfer Learning; Website Edukasi.

1. LATAR BELAKANG

Permasalahan pengelolaan sampah merupakan salah satu tantangan besar dalam pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan, baik secara global maupun nasional. Pengelolaan sampah memiliki keterkaitan langsung dengan Sustainable Development Goals (SDGs), khususnya SDG 11 Kota dan Permukiman Berkelanjutan serta SDG 12 Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab (Firmansyah, 2026; Monfared et al., 2025). Di Indonesia, peningkatan jumlah penduduk dan aktivitas konsumsi masyarakat menyebabkan volume sampah terus meningkat setiap tahunnya. Meskipun demikian, kesadaran dan kemampuan masyarakat dalam pemilahan sampah yang tepat, khususnya antara sampah organik dan

anorganik, masih relatif rendah (Sholihah, t.t.). Kondisi ini berdampak pada tidak optimalnya proses daur ulang, meningkatnya pencemaran lingkungan, serta terganggunya sistem pengelolaan sampah di wilayah perkotaan. Permasalahan tersebut menunjukkan pentingnya peningkatan kesadaran dan pemahaman masyarakat sejak usia dini sebagai upaya preventif dalam pengelolaan sampah yang berkelanjutan. Oleh karena itu, pendekatan edukasi yang tepat sasaran menjadi sangat relevan untuk membentuk kebiasaan pemilahan sampah sejak masa anak-anak.

Dalam konteks peningkatan kesadaran lingkungan, siswa sekolah dasar usia 6–12 tahun memiliki peran strategis. Usia tersebut mencakup masa sekolah dasar yang merupakan tahap awal pembentukan kebiasaan, karakter, dan kepedulian terhadap lingkungan (Indrashwara et al., 2024; Hafidoh et al., 2026). Pada rentang usia ini, siswa mulai diperkenalkan dengan konsep kebersihan, tanggung jawab terhadap lingkungan, serta pemilahan sampah sederhana melalui kegiatan pembelajaran di sekolah maupun kehidupan sehari-hari. Selain itu, siswa pada usia tersebut umumnya telah mampu memahami informasi berbasis visual seperti gambar dan ilustrasi sehingga sesuai dengan pendekatan pembelajaran yang digunakan dalam penelitian ini. Hasil kuesioner terhadap 24 responden siswa sekolah dasar menunjukkan bahwa pemahaman terhadap jenis-jenis sampah masih belum merata. Sebagian responden masih berada pada kategori kurang tahu dan tidak tahu terkait jenis sampah serta cara pemilahannya. Selain itu, sebagian responden juga belum konsisten dalam membuang dan memilah sampah sesuai dengan jenisnya dalam kehidupan sehari-hari.

Di sisi lain, pemanfaatan perangkat digital di wilayah perkotaan telah merata sehingga membuka peluang untuk menghadirkan media pembelajaran berbasis teknologi yang lebih menarik dan responsif (Dewi Setianingsih et al., 2024; Ivanka & Nurani, 2025). Pengembangan sistem berbasis website responsif menjadi salah satu alternatif yang dapat diakses melalui berbagai perangkat, seperti komputer maupun telepon pintar, tanpa bergantung pada platform tertentu. Hasil kuesioner juga menunjukkan bahwa sebagian besar responden memiliki ketertarikan terhadap penggunaan perangkat digital, khususnya smartphone, dalam proses pembelajaran, serta lebih menyukai media berbasis visual seperti gambar. Meskipun sebagian responden cenderung memilih aplikasi mobile sebagai media pembelajaran, pengembangan sistem berbasis website responsif dipilih karena memiliki keunggulan dalam aksesibilitas yang lebih luas dan kemudahan pengembangan. Selain itu, sistem berbasis web lebih mudah diimplementasikan dan diuji dalam lingkungan sekolah karena pengguna hanya memerlukan browser dan koneksi internet. Fokus penelitian ini berada pada pengembangan sistem

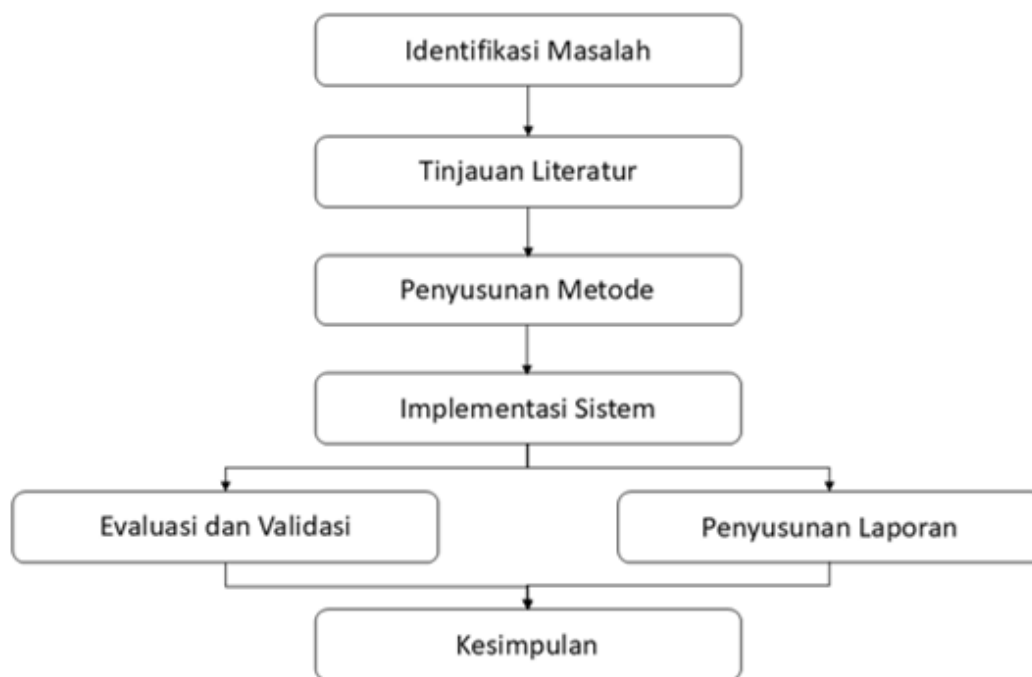
klasifikasi citra sampah berbasis Machine Learning yang terintegrasi dengan media edukasi digital.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem klasifikasi sampah berbasis *Machine Learning* dan *Convolutional Neural Network* (CNN) dengan fokus pada peningkatan akurasi dan performa model (Fazryansah et al., 2025; Muslihati et al., 2024). Penelitian lain juga membandingkan berbagai model *transfer learning* seperti Inception, ResNet, dan VGG untuk memperoleh tingkat akurasi yang lebih tinggi (Faizal et al., 2023; Ibnul Rasidi et al., 2022). Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut berorientasi pada aspek teknis dan implementasi sistem otomatis untuk manajemen sampah. Integrasi model klasifikasi citra ke dalam sistem pembelajaran berbasis web yang interaktif dan mudah digunakan oleh pengguna non-teknis, khususnya siswa sekolah dasar, masih jarang dilakukan (Dacipta & Putra, 2022). Hal ini menunjukkan adanya celah penelitian yang dapat dikembangkan lebih lanjut melalui integrasi model klasifikasi dan sistem edukasi digital secara terpadu. Penelitian ini menawarkan kebaruan melalui pengembangan sistem pembelajaran berbasis web yang mengintegrasikan klasifikasi citra sampah menggunakan CNN dengan pendekatan edukasi interaktif.

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah CNN dengan pendekatan transfer learning menggunakan arsitektur MobileNetV2 yang telah dilatih sebelumnya pada dataset ImageNet (Syarif et al., 2025; Thio & Susilo, 2025). MobileNetV2 dipilih karena memiliki karakteristik ringan dan efisien secara komputasional melalui *depthwise separable convolution* serta *inverted residual structure*, sehingga sesuai untuk sistem berbasis web yang membutuhkan proses klasifikasi responsif (Ali et al., 2026).

Model yang dikembangkan mengklasifikasikan citra ke dalam dua kategori, yaitu sampah organik dan anorganik, kemudian diintegrasikan ke dalam website edukasi interaktif. Evaluasi dilakukan menggunakan metrik *accuracy*, *precision*, *recall*, *F1-score*, *confusion matrix*, serta *System Usability Scale* (SUS). Kontribusi penelitian ini adalah pengembangan sistem pembelajaran berbasis web yang mengintegrasikan klasifikasi citra sampah menggunakan CNN dengan pendekatan edukasi interaktif bagi siswa sekolah dasar usia 6–12 tahun di Kota Denpasar. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat praktis dalam meningkatkan kesadaran pemilahan sampah sejak usia dini melalui pemanfaatan teknologi *Machine Learning*.

2. KAJIAN TEORITIS



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian.

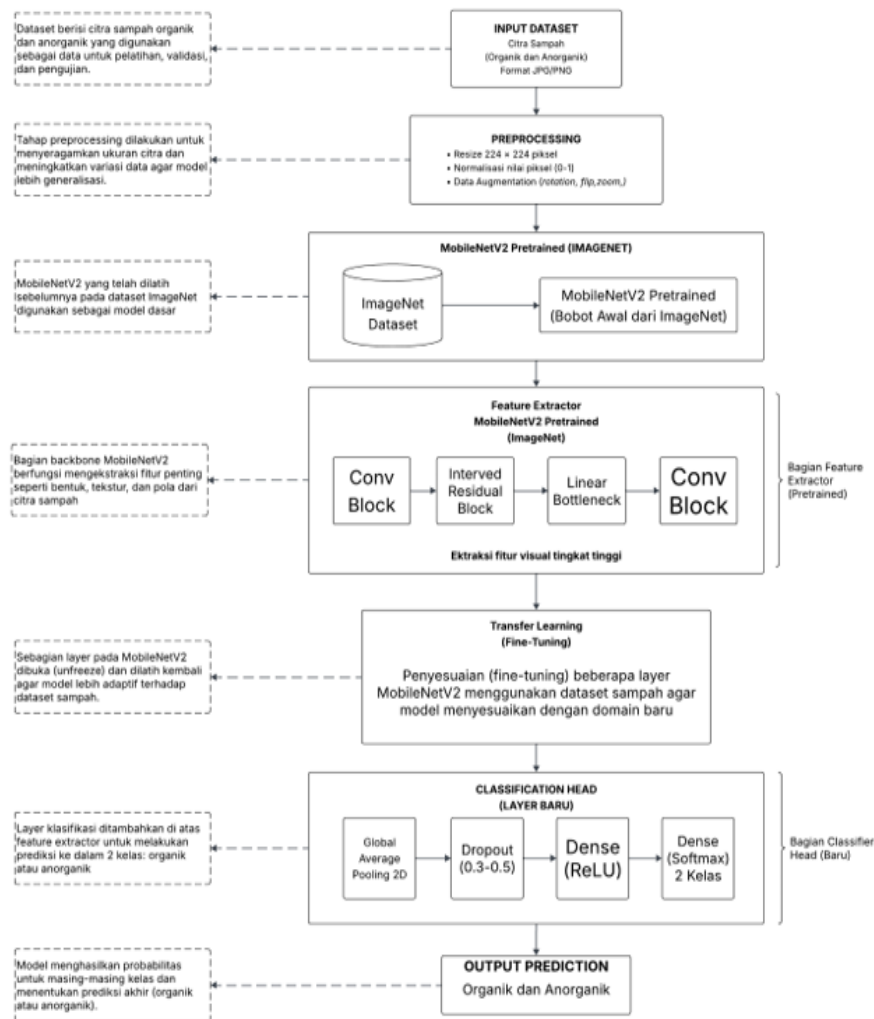
Penelitian ini berlangsung selama enam bulan dengan lokasi pada lingkungan sekolah dasar di Kota Denpasar. Alur penelitian meliputi pemahaman masalah, tinjauan literatur, penyusunan metode, implementasi solusi, evaluasi dan validasi, serta penyusunan laporan. Pengembangan sistem dilakukan secara bertahap melalui analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, dan pengujian. Setiap tahapan dirancang agar saling berkaitan sehingga menghasilkan sistem klasifikasi citra sampah yang terintegrasi dengan media pembelajaran berbasis web. Pendekatan ini dipilih untuk memastikan bahwa model yang dibangun tidak hanya akurat secara teknis, tetapi juga mudah digunakan oleh siswa sekolah dasar usia 6–12 tahun. Dengan demikian, metode penelitian disusun secara sistematis dari persiapan data hingga evaluasi sistem secara menyeluruh

Dataset dan Preprocessing

Dataset yang digunakan berjumlah 3.000 citra dengan distribusi seimbang, yaitu 1.500 citra sampah organik dan 1.500 citra sampah anorganik. Data diperoleh dari dua sumber publik di platform Kaggle, yaitu Garbage Classification V2 dan Waste Classification Data, kemudian digabungkan dan diseleksi agar sesuai dengan kebutuhan penelitian. Dataset dibagi menjadi data pelatihan 70%, data validasi 15%, dan data pengujian 15%, sehingga diperoleh 2.100 citra pelatihan, 450 citra validasi, dan 450 citra pengujian. Proses preprocessing meliputi seleksi dataset, pembagian data, augmentasi, normalisasi, dan penyesuaian ukuran citra. Teknik

augmentasi yang diterapkan pada data pelatihan mencakup rotasi 20°, zoom 20%, dan horizontal flip. Seluruh citra dinormalisasi dengan rescale 1/255 serta diubah ukurannya menjadi 224×224 piksel agar sesuai dengan input arsitektur MobileNetV2.

Arsitektur Transfer Learning MobileNetV2

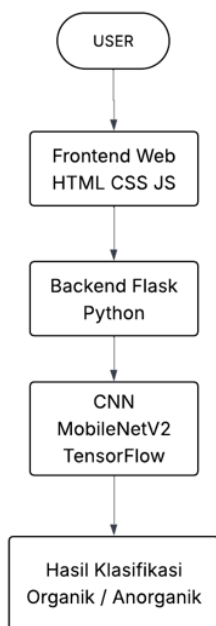


Gambar 2. Arsitektur Learning MobileNetV2 untuk Klasifikasi Citra Sampah Organik dan Anorganik.

Model klasifikasi dibangun menggunakan pendekatan transfer learning dengan arsitektur MobileNetV2 yang telah dilatih sebelumnya pada dataset ImageNet. Lapisan klasifikasi bawaan MobileNetV2 tidak digunakan (`include_top=False`) sehingga model berfungsi sebagai feature extractor. Seluruh bobot pada base model dibekukan (`trainable=False`) agar proses pelatihan hanya dilakukan pada lapisan klasifikasi yang ditambahkan. Setelah base model, ditambahkan lapisan GlobalAveragePooling2D, Dropout sebesar 0,3, dan Dense layer dengan satu neuron serta fungsi aktivasi sigmoid untuk klasifikasi biner. Total parameter model mencapai 2.259.265, dengan 1.281 parameter yang dapat dilatih.

Model dikompilasi menggunakan optimizer Adam, loss function Binary Crossentropy, dan metrik Accuracy, kemudian dilatih selama 20 epoch dengan mekanisme ModelCheckpoint untuk menyimpan model terbaik berdasarkan validation accuracy.

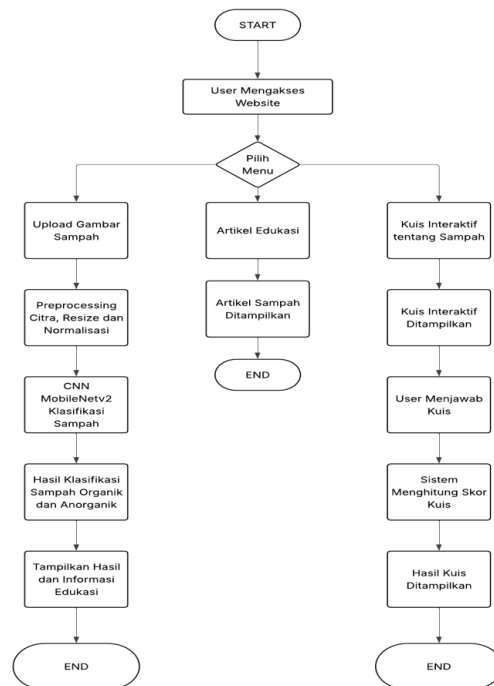
Implementasi Sistem Berbasis Web



Gambar 3. Arsitektur Sistem Berbasis Web.

Sistem website dikembangkan menggunakan framework Flask berbasis Python sebagai backend dan Tailwind CSS untuk membangun antarmuka yang responsif. Flask dipilih karena bersifat ringan dan fleksibel sehingga memudahkan pembuatan endpoint API untuk menerima unggahan gambar, memproses klasifikasi melalui model CNN, serta mengembalikan hasil prediksi secara real-time. Tailwind CSS digunakan untuk menghasilkan tampilan modern yang mudah disesuaikan pada berbagai perangkat, termasuk desktop dan smartphone. Fitur utama sistem meliputi halaman beranda, klasifikasi citra melalui unggah galeri atau capture kamera, artikel edukasi, dan kuis interaktif. Integrasi model MobileNetV2 ke dalam website memungkinkan pengguna memperoleh hasil klasifikasi beserta confidence score dan informasi penanganan sampah sesuai kategori yang terdeteksi.

Metode Evaluasi



Gambar 4. Flowchart Sistem Klasifikasi Citra Sampah Berbasis CNN.

Evaluasi model dilakukan menggunakan metrik accuracy, precision, recall, F1-score, dan confusion matrix pada data pengujian yang belum digunakan selama proses pelatihan maupun validasi. Metrik tersebut digunakan untuk mengukur kemampuan model dalam mengklasifikasikan citra sampah organik dan anorganik secara akurat serta menganalisis distribusi kesalahan prediksi. Evaluasi sistem berbasis web dilakukan melalui blackbox testing untuk menguji fungsionalitas fitur, serta System Usability Scale (SUS) untuk mengukur tingkat kemudahan penggunaan. Pengujian SUS melibatkan minimal 20 responden siswa sekolah dasar usia 6–12 tahun dengan pendampingan tenaga pendidik apabila diperlukan. Pertanyaan pada kuesioner SUS disesuaikan menggunakan bahasa yang lebih sederhana agar mudah dipahami oleh responden. Hasil evaluasi digunakan sebagai dasar perbaikan antarmuka dan peningkatan kualitas sistem pembelajaran yang dikembangkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

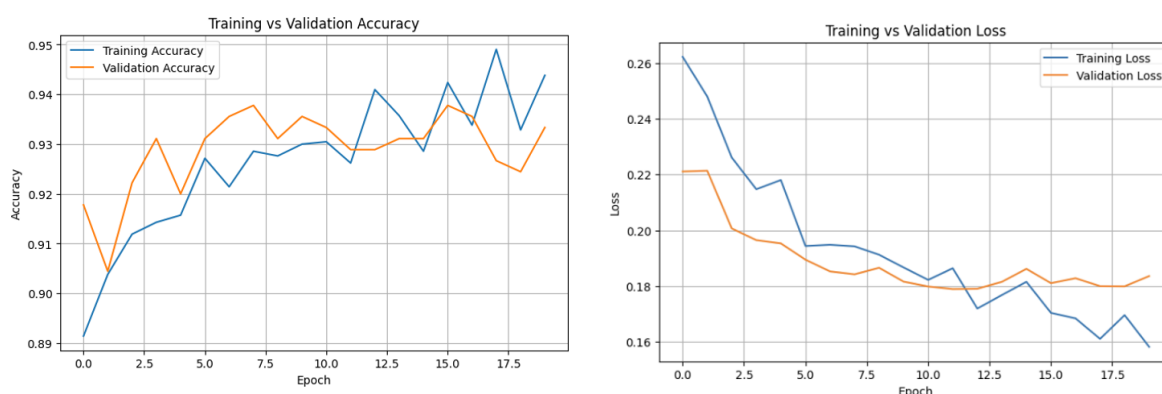
Hasil Pelatihan Model MobileNetV2

Proses pelatihan model MobileNetV2 dilakukan selama 20 epoch menggunakan data pelatihan sebanyak 2.100 citra dan data validasi sebanyak 450 citra. Nilai training accuracy menunjukkan kecenderungan meningkat dari 89,11% pada epoch pertama menjadi 94,12% pada epoch ke-20. Sementara itu, validation accuracy berada pada 91,78% di awal pelatihan

dan mencapai nilai tertinggi sebesar 93,78% pada epoch ke-8, kemudian berada pada 93,33% di akhir pelatihan. Perkembangan training accuracy dan validation accuracy yang relatif berdekatan menunjukkan bahwa model mampu mempelajari karakteristik data pelatihan dengan baik tanpa perbedaan performa yang terlalu besar terhadap data validasi. Nilai training loss menurun dari 0,2755 menjadi 0,1531, sedangkan validation loss mencapai nilai terendah sebesar 0,1789 pada epoch ke-12. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa proses pembelajaran model berlangsung stabil dan tidak menunjukkan gejala overfitting yang signifikan.

Hasil Evaluasi Model

Model terbaik yang disimpan melalui mekanisme ModelCheckpoint dievaluasi menggunakan data pengujian sebanyak 450 citra, yang terdiri atas 225 citra organik dan 225 citra anorganik. Hasil pengujian menunjukkan Test Accuracy sebesar 92,00% dengan Test Loss sebesar 0,2021. Nilai akurasi tersebut mengindikasikan bahwa model mampu melakukan klasifikasi dengan benar terhadap sebagian besar citra pada data pengujian. Analisis lebih lanjut dilakukan menggunakan confusion matrix untuk mengetahui distribusi prediksi benar dan salah pada masing-masing kelas. Dari 225 citra anorganik, sebanyak 208 citra berhasil diklasifikasikan dengan benar, sedangkan 17 citra diklasifikasikan sebagai organik. Sementara itu, dari 225 citra organik, sebanyak 206 citra berhasil diklasifikasikan dengan benar, sedangkan 19 citra diklasifikasikan sebagai anorganik. Total prediksi benar mencapai 414 dari 450 citra, sehingga terdapat 36 kesalahan klasifikasi.



Gambar 5. Grafik Kurva Pembelajaran (Accuracy dan Loss).

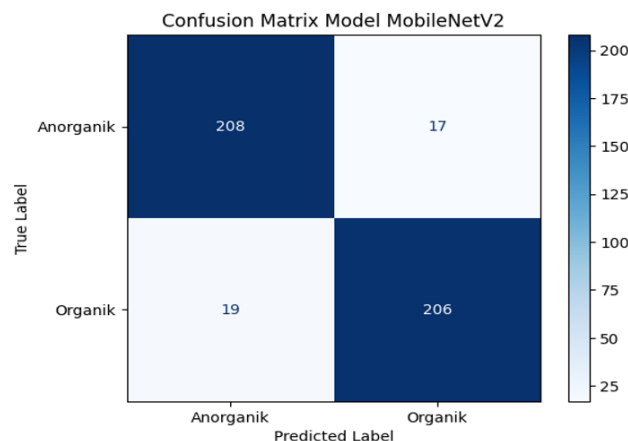
Gambar 5 mengilustrasikan kurva pembelajaran (*learning curve*) model selama 20 *epoch*, yang membandingkan pergerakan metrik akurasi dan tingkat kesalahan (*loss*). Berdasarkan grafik akurasi, *training accuracy* menunjukkan tren peningkatan yang konsisten, berawal dari 89,11% hingga mencapai 94,12% pada akhir iterasi. Hal ini selaras dengan

pergerakan *validation accuracy* yang cenderung stabil di angka 93,33% setelah sempat menyentuh titik tertinggi sebesar 93,78%. Sejalan dengan peningkatan performa akurasi tersebut, kurva *loss* memperlihatkan penurunan *training loss* secara signifikan dari 0,2755 menjadi 0,1531, diikuti oleh konvergensi *validation loss* di kisaran 0,1836 pada akhir pelatihan. Pergerakan kurva data latih (*training*) dan validasi (*validation*) yang beriringan dengan selisih margin yang minim ini mengonfirmasi bahwa model MobileNetV2 berhasil mengekstraksi dan mempelajari pola karakteristik visual citra sampah secara optimal. Konvergensi yang stabil pada akhir *epoch* ini sekaligus membuktikan bahwa model yang diusulkan memiliki kemampuan generalisasi yang baik dan terhindar dari indikasi *overfitting* maupun *underfitting*.

Tabel 1. Hasil Pengujian Model MobileNetV2.

No	Metrik Evaluasi	Hasil
1	Test Loss	0,2021
2	Test Accuracy	92,00%

Berdasarkan Tabel 1 mengenai Hasil Pengujian Model MobileNetV2, evaluasi kinerja model pada data pengujian (*testing dataset*) menunjukkan hasil yang memuaskan dengan tingkat kesalahan prediksi atau *Test Loss* yang tergolong rendah, yakni sebesar 0,2021. Sementara itu, persentase keberhasilan model atau *Test Accuracy* mencapai 92,00%, yang berarti model berhasil mengklasifikasikan sebagian besar citra uji ke dalam kategori sampah organik dan anorganik dengan tepat. Secara keseluruhan, hasil dari kedua metrik evaluasi tersebut menyimpulkan bahwa arsitektur MobileNetV2 yang dibangun memiliki kemampuan yang sangat baik, akurat, dan dapat diandalkan dalam mengenali serta mengklasifikasikan citra baru yang belum pernah dipelajari selama tahapan pelatihan.



Gambar 6. Confusion Matrix Model MobileNetV2.

Berdasarkan *confusion matrix* pada Gambar 6, model berhasil mengklasifikasikan 414 dari total 450 citra pengujian dengan tepat, yang terdiri atas 208 citra anorganik dan 206 citra organik. Model hanya mengalami 36 kesalahan prediksi, yakni 17 citra anorganik dikenali sebagai organik dan 19 citra organik dikenali sebagai anorganik. Tingkat kesalahan yang minim dan setara ini mengonfirmasi bahwa model memiliki kemampuan pengenalan yang seimbang antar kelas tanpa bias yang signifikan. Hasil sebaran prediksi tersebut selanjutnya dijadikan dasar untuk analisis performa yang lebih mendalam menggunakan metrik *precision*, *recall*, dan *F1-score* pada *classification report*.

Tabel 2. Classification Report Model MobileNetV2.

Kelas	Precision	Recall	F1-Score	Support
Anorganik	0,92	0,92	0,92	225
Organik	0,92	0,92	0,92	225
Accuracy	---	---	0,92	450

Berdasarkan Tabel 2, kelas anorganik dan organik masing-masing memperoleh nilai *precision*, *recall*, dan *F1-score* sebesar 0,92. Kesamaan nilai tersebut menunjukkan bahwa model memiliki performa yang relatif seimbang dalam mengenali kedua kelas. Jumlah kesalahan pada kelas organik (19) dan anorganik (17) tidak berbeda secara signifikan, sehingga tidak terdapat bias yang mencolok terhadap salah satu kategori. Hasil ini sejalan dengan karakteristik MobileNetV2 yang mampu mengekstraksi fitur visual secara efisien meskipun memiliki jumlah parameter yang lebih kecil dibandingkan arsitektur seperti VGG16 atau ResNet (Syarif et al., 2025; Thio & Susilo, 2025). Kesalahan klasifikasi yang masih terjadi kemungkinan disebabkan oleh kemiripan visual antar objek, seperti kardus basah yang menyerupai daun, atau daun kering yang mirip kertas, serta variasi pencahayaan dan latar belakang pada citra uji.

Implementasi Website Edukasi

Setelah model klasifikasi selesai dilatih dan dievaluasi, tahap selanjutnya adalah integrasi model ke dalam website edukasi yang diberi nama PilahSampahKu. Website dikembangkan menggunakan *framework* Flask sebagai *backend* dan Tailwind CSS untuk antarmuka responsif. Halaman beranda menyajikan navigasi utama, ajakan edukasi, serta akses cepat menuju fitur klasifikasi, artikel, dan kuis. Pada halaman klasifikasi, pengguna dapat mengunggah citra dari galeri atau mengambil gambar melalui kamera perangkat. Hasil klasifikasi ditampilkan beserta *confidence score* dan informasi penanganan sampah sesuai kategori yang terdeteksi. Sebagai contoh, citra yang diklasifikasikan sebagai organik dilengkapi saran bahwa sampah tersebut dapat diolah menjadi pupuk kompos.

Fitur kuis interaktif dirancang untuk menguji pemahaman pengguna mengenai pemilahan sampah. Setelah menyelesaikan seluruh pertanyaan, sistem menampilkan skor, jumlah jawaban benar dan salah, serta opsi untuk mengulang kuis. Halaman artikel edukasi menyediakan materi mengenai sampah organik, sampah anorganik, dan praktik pemilahan dalam kehidupan sehari-hari, dilengkapi dengan gambar ilustrasi serta video pendukung. Integrasi model MobileNetV2 ke dalam website membuktikan bahwa arsitektur yang ringan dapat dijalankan pada lingkungan web tanpa membutuhkan sumber daya komputasi tinggi. Pendekatan ini berbeda dari sebagian besar penelitian klasifikasi sampah sebelumnya yang berfokus pada optimasi model tanpa integrasi ke media pembelajaran interaktif (Dacipta & Putra, 2022; Fazryansah et al., 2025). Selain itu, *benchmarking* terhadap aplikasi SIDARLING Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan Kota Denpasar menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mengisi celah klasifikasi otomatis berbasis citra serta desain antarmuka yang khusus ditujukan untuk anak sekolah dasar (Ali et al., 2026).

Pembahasan

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa model MobileNetV2 dengan pendekatan transfer learning mampu menghasilkan performa klasifikasi yang baik pada dataset sampah organik dan anorganik. Akurasi pengujian sebesar 92% dengan nilai precision, recall, dan F1-score yang seimbang mengindikasikan bahwa model dapat diandalkan untuk diintegrasikan ke dalam sistem edukasi berbasis web. Meskipun masih terdapat 36 kesalahan klasifikasi, jumlah tersebut relatif kecil dan merata pada kedua kelas. Dari sisi implementasi, website *PilahSampahKu* berhasil menghadirkan media pembelajaran interaktif yang menggabungkan klasifikasi citra, materi edukasi, dan kuis dalam satu platform. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada aspek teknis klasifikasi citra, tetapi juga pada pengembangan media edukasi digital yang relevan bagi siswa sekolah dasar usia 6–12 tahun di Kota Denpasar.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan model Convolutional Neural Network dengan pendekatan transfer learning menggunakan arsitektur MobileNetV2 untuk klasifikasi citra sampah organik dan anorganik. Model dilatih menggunakan 3.000 citra dengan distribusi seimbang dan mencapai test accuracy sebesar 92%, serta nilai precision, recall, dan F1-score masing-masing 0,92 pada kedua kelas. Hasil confusion matrix menunjukkan kesalahan klasifikasi yang relatif seimbang, yaitu 17 citra anorganik dan 19 citra organik yang salah diklasifikasikan, sehingga tidak terdapat bias signifikan terhadap salah satu kategori. Model

yang telah dilatih selanjutnya diintegrasikan ke dalam sistem pembelajaran berbasis website yang dilengkapi fitur unggah citra, artikel edukasi, dan kuis interaktif. Website yang dikembangkan dirancang khusus sebagai media edukasi bagi siswa sekolah dasar usia 6–12 tahun di Kota Denpasar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi model CNN ringan ke dalam platform web edukasi dapat menjadi alternatif media pembelajaran yang efektif untuk meningkatkan kesadaran pemilahan sampah sejak usia dini. Pengembangan selanjutnya disarankan untuk memperluas kategori klasifikasi, menambahkan data citra dengan kondisi yang lebih beragam, serta melakukan evaluasi usability pada skala yang lebih besar di berbagai sekolah dasar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Pendidikan Nasional atas dukungan fasilitas dan kesempatan dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pembimbing dan penguji yang telah memberikan arahan, masukan, serta koreksi selama proses penyusunan penelitian. Penulis berterima kasih kepada siswa sekolah dasar dan tenaga pendidik di Kota Denpasar yang telah berpartisipasi dalam pengumpulan data awal serta pengujian sistem. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat dalam pengembangan media edukasi berbasis teknologi untuk mendukung kesadaran pengelolaan sampah sejak usia dini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M. I., Asmara, D., Hadi, A., & Budayawan, K. (2026). Implementasi MobileNetV2 dengan teknik augmentasi data untuk klasifikasi penyakit daun cabai berbasis website. *Journal of Authentic Research*, 5(2), 2284–2295. <https://doi.org/10.36312/txr3y475>
- Dacipta, P. N., & Putra, R. E. (2022). Sistem klasifikasi limbah menggunakan metode Convolutional Neural Network (CNN) pada webservice berbasis framework Flask. *Journal of Informatics and Computer Science (JINACS)*, 3(4), 394–402. <https://doi.org/10.26740/jinacs.v3n04.p394-402>
- Dewi Setianingsih, Siswono, T. Y. E., & Yumiati. (2024). Pengembangan media pembelajaran berbasis web (Google Sites) untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan literasi digital siswa kelas V sekolah dasar. *ELSE (Elementary School Education Journal): Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Sekolah Dasar*, 8(2). <https://doi.org/10.30651/else.v8i2.23179>
- Faizal, L., Yuyun, Y., & Hazriani, H. (2023). Identifikasi sampah plastik menggunakan algoritma deep learning. *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi dan Teknik Informatika (JISTI)*, 6(2), 162–171. <https://doi.org/10.57093/jisti.v6i2.176>

- Fazryansah, M. R., Pambudi, A. P., Kurniadi, A. R., Supriyadi, A. P., Saputra, Y. A., & Latifa, U. (2025). Sistem klasifikasi sampah organik & non-organik menggunakan CNN berbasis framework Flask. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 13(3). <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3.6706>
- Firmansyah, M. (2026). Pemberdayaan kemitraan masyarakat (PKM): Pengelolaan sampah berkelanjutan dalam mendukung Sustainable Development Goals (SDGs).
- Hafidoh, H., Oktaviani, A. M., & Nabila, S. (2026). Integrasi edukasi pemilahan sampah organik dan non-organik dengan program anak peduli lingkungan di sekolah dasar. *Didaktik: Jurnal Ilmiah PGSD STKIP Subang*, 12(1). <https://doi.org/10.36989/didaktik.v12i01.11332>
- Ibnul Rasidi, A., Pasaribu, Y. A. H., Ziqri, A., & Adhinata, F. D. (2022). Klasifikasi sampah organik dan non-organik menggunakan Convolutional Neural Network. *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, 8(1). <https://doi.org/10.28932/jutisi.v8i1.4314>
- Indrashwara, D. C., Wedagama, D. A. T. A., Tapa, I. G. F. S., Kumara, I. N. I., & Manek, K. C. (2024). Meningkatkan kesadaran masyarakat Sukawati dalam pemilahan sampah untuk lingkungan berkelanjutan. *PakMas: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(2), 643–650. <https://doi.org/10.54259/pakmas.v4i2.3085>
- Ivanka, W., & Nurani, D. C. (2025). The effect of digital media on elementary school students' ecoliteracy development. *EduStream: Jurnal Pendidikan Dasar*, 9(1), 105–112. <https://doi.org/10.26740/eds.v9n1.p105-112>
- Monfared, M., Marandi, F., & Sauer, P. C. (2025). Achieving sustainable development by integrating circular economy principles into solid waste management: A systematic literature review and research agenda. *International Journal of Production Economics*, 290, 109787. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2025.109787>
- Muslihati, M., Sahibu, S., & Taufik, I. (2024). Implementasi algoritma Convolutional Neural Network untuk klasifikasi jenis sampah organik dan non-organik: Implementation of the Convolutional Neural Network algorithm for classifying types of organic and non-organic waste. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 4(3), 840–852. <https://doi.org/10.57152/malcom.v4i3.1346>
- Sholihah, K. K. A. (t.t.). *Kajian tentang pengelolaan sampah di Indonesia*.
- Syarif, M., Prasetyo, S., Zahra, E. O. A., Kristiawan, Y. I., & Dwi, R. (2025). Klasifikasi sampah organik dan anorganik menggunakan transfer learning MobileNetV2 pada citra digital. <https://doi.org/10.47701/wabtd264>
- Thio, S. E., & Susilo, J. (2025). Identifikasi pemilahan sampah berbasis algoritma transfer learning CNN menggunakan MobileNetV2 dan EfficientNetB0. *bit-Tech*, 8(1), 25–32. <https://doi.org/10.32877/bt.v8i1.1900>