

Pengklasifikasian Jenis Sampah Berbasis Visi Komputer Dan Kecerdasan Buatan

Gusti Made Kresna Wijaya^{1*}, Daffa Khairul Ammar²

^{1,2}Program Studi Teknologi Rekayasa Informatika Industri, Automation Engineering, Politeknik Manufaktur Bandung, Kota Bandung, Provinsi Jawa Barat, Indonesia.

Corresponding Email: madekresna12@gmail.com^{1*} khairuonwork@gmail.com²

Histori Artikel:

Dikirim 12 Januari 2026; *Diterima dalam bentuk revisi* 28 Januari 2026; *Diterima* 15 Februari 2026; *Diterbitkan* 28 Maret 2026. Semua hak dilindungi oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) STMIK Indonesia Banda Aceh.

Abstrak

Pengelolaan sampah merupakan tantangan penting dalam upaya menjaga keberlanjutan lingkungan, yang membutuhkan sistem klasifikasi otomatis guna meningkatkan efisiensi. Penelitian ini merancang sistem klasifikasi jenis sampah (biologis, elektronik, kaca, plastik) menggunakan pendekatan deep learning berbasis computer vision. Metode yang diusulkan mengimplementasikan Convolutional Neural Network (CNN) kustom dengan prinsip efisiensi MobileNet, yang terdiri dari blok Mobile Inverted Bottleneck Convolution (MBConv) dan blok Squeeze-and-Excitation (SE). Model dikembangkan dari awal (from scratch) menggunakan dataset empat kelas dan dioptimalkan dengan pemrosesan GPU serta ukuran batch 16. Setelah dilakukan penalaan pada regulasi dan hyperparameter, model mencapai akurasi tertinggi sebesar 75,59%.

Kata Kunci: Klasifikasi; CNN, Sampah; Arsitektur.

Abstract

Waste management presents a significant challenge in ensuring environmental sustainability, requiring an automated classification system to improve efficiency. This study designs a waste classification system (biological, electronic, glass, plastic) using a deep learning approach based on computer vision. The proposed method implements a custom Convolutional Neural Network (CNN) with MobileNet efficiency principles, consisting of Mobile Inverted Bottleneck Convolution (MBConv) and Squeeze-and-Excitation (SE) blocks. The model is developed from scratch using a four-class dataset and optimized with GPU processing and a batch size of 16. After fine-tuning the regularization and hyperparameters, the model achieved the highest accuracy of 75.59%.

Keyword: Classification; CNN, Waste; Architecture.

1. Pendahuluan

Volume sampah yang terus meningkat di berbagai wilayah, terutama di perkotaan, menimbulkan tantangan serius dalam hal pengelolaan yang efisien. Untuk mengurangi dampak negatifnya, penting untuk dapat mengidentifikasi dan mengklasifikasikan jenis sampah dengan tepat. Teknologi visi komputer dan kecerdasan buatan (AI) menawarkan solusi efektif dalam mempercepat dan meningkatkan akurasi proses klasifikasi sampah. Visi komputer memanfaatkan teknik pemrosesan citra untuk mengenali objek dalam gambar atau video. Pada sektor pengelolaan sampah, teknologi ini digunakan untuk mendeteksi berbagai jenis sampah berdasarkan ciri visual yang ada. Dengan dukungan algoritma kecerdasan buatan, seperti pembelajaran mesin dan pembelajaran mendalam, sistem dapat melakukan klasifikasi secara otomatis dan real-time, mengurangi kebutuhan akan intervensi manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem klasifikasi sampah otomatis yang memanfaatkan visi komputer dan kecerdasan buatan, dengan harapan dapat memberikan solusi yang lebih efisien dalam pengelolaan sampah, serta mendukung upaya keberlanjutan lingkungan di masa depan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Iqbal *et al.* (2024), pengelolaan sampah di perkotaan menghadapi tantangan signifikan, terutama dalam hal pemilahan dan pengolahan sampah yang efisien. Ketidakmampuan untuk memisahkan sampah dengan tepat menghambat proses daur ulang dan meningkatkan volume sampah yang tidak terkelola. Salah satu solusi yang menjanjikan adalah penerapan teknologi untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan sampah secara otomatis, seperti visi komputer dan kecerdasan buatan. Mao *et al.* (2021) mengungkapkan bahwa deep learning dapat digunakan untuk mengklasifikasikan sampah daur ulang melalui analisis gambar, dengan tingkat akurasi yang tinggi. Teknologi ini memungkinkan sistem untuk mengenali berbagai jenis sampah berdasarkan ciri visual, seperti bentuk dan tekstur, yang dapat mempercepat proses pengelolaan sampah. Penerapan metode ini akan mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual dan meningkatkan efisiensi. Alzubaidi *et al.* (2021) menyoroti potensi jaringan saraf konvolusional (CNN) dalam pengolahan citra, yang telah terbukti efektif dalam banyak aplikasi, termasuk identifikasi objek. Namun, penerapan teknologi ini dalam pengelolaan sampah masih menghadapi tantangan, seperti variasi jenis sampah dan kondisi pengumpulan yang tidak selalu ideal. Meski demikian, integrasi sistem berbasis visi komputer dan kecerdasan buatan dapat mempercepat proses pengelolaan sampah dan mendukung keberlanjutan lingkungan di area perkotaan.

Penggunaan teknologi deep learning dalam pengolahan citra telah menunjukkan potensi besar dalam berbagai aplikasi, termasuk pengelolaan sampah. Menghani (2023) menjelaskan pentingnya upaya membuat model deep learning lebih kecil, cepat, dan efisien, agar dapat diterapkan pada sistem dengan keterbatasan sumber daya. Hal ini relevan untuk pengelolaan sampah, di mana perangkat dengan komputasi terbatas sering digunakan, seperti sensor atau perangkat edge yang dapat memproses data di lokasi pengumpulan sampah. Di sisi lain, Eliza *et al.* (2025) mengembangkan sistem klasifikasi sampah organik dan anorganik menggunakan Convolutional Neural Networks (CNN). Hasil penelitian menunjukkan bahwa CNN dapat mengenali jenis sampah dengan akurasi tinggi melalui citra digital, meskipun dalam kondisi gambar yang bervariasi. Pendekatan ini membuka peluang besar untuk menciptakan sistem otomatis yang mampu mendeteksi dan mengklasifikasikan sampah secara real-time, mendukung proses daur ulang yang lebih efisien. Fachrisyam *et al.* (2025) mengimplementasikan metode You Only Look Once (YOLO) untuk mendeteksi jenis sampah dengan visi komputer. YOLO terbukti efektif dalam mengidentifikasi objek dengan cepat dan akurat, menjadikannya pilihan yang tepat untuk aplikasi yang membutuhkan pemrosesan citra dalam waktu singkat. Penerapan teknologi ini dapat mempercepat dan meningkatkan akurasi pengelolaan sampah, serta mengurangi ketergantungan pada pemisahan manual di tingkat pengumpulan.

Seiring dengan meningkatnya jumlah sampah di kawasan perkotaan, penggunaan teknologi untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan jenis sampah secara otomatis menjadi semakin

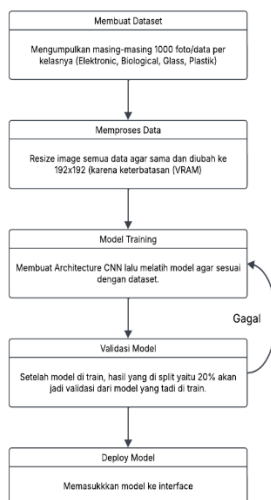
penting. Nur'aini *et al.* (2026) mengembangkan sistem berbasis YOLOv8 yang dilengkapi dengan pemacu ultrasonik untuk meningkatkan efisiensi daya. Pendekatan ini berhasil meningkatkan akurasi dalam pengklasifikasian sampah, sekaligus mengurangi konsumsi energi, menjadikannya solusi yang lebih hemat biaya dan ramah lingkungan dalam pengelolaan sampah di perkotaan. Sementara itu, Ernawati *et al.* (2024) memanfaatkan metode Scale Invariant Feature Transform (SIFT) untuk mengekstraksi fitur pada citra sampah. Dengan menggunakan SIFT, sistem dapat mengenali objek meskipun dalam kondisi gambar yang beragam, seperti perbedaan ukuran dan orientasi sampah. Teknik ini terbukti efektif dalam membantu klasifikasi jenis sampah dengan lebih akurat, mengingat keragaman bentuk dan tekstur sampah yang sulit dipisahkan secara manual. Penelitian dari Putra (2025) juga menunjukkan bagaimana visi komputer dapat diterapkan untuk menyortir sampah nonorganik secara otomatis pada sistem konveyor. Dengan teknologi computer vision, sistem mampu memisahkan sampah secara cepat dan tepat, yang memungkinkan pengelolaan sampah yang lebih efisien, mengurangi kesalahan manusia, dan mempercepat proses daur ulang. Pendekatan-pendekatan tersebut membawa dampak positif dalam meningkatkan efektivitas pengelolaan sampah di perkotaan dan mendukung upaya keberlanjutan lingkungan.

Peningkatan volume sampah di perkotaan memunculkan tantangan besar dalam pengelolaannya, terutama dalam hal pemisahan jenis sampah. Teknologi visi komputer dan kecerdasan buatan menawarkan solusi untuk mengklasifikasikan sampah secara otomatis dan efisien. Dengan menggunakan teknik pemrosesan citra, sistem dapat mengenali berbagai jenis sampah berdasarkan ciri visual seperti warna, bentuk, dan tekstur. Kecerdasan buatan, melalui pembelajaran mendalam, meningkatkan akurasi dan kemampuan sistem untuk belajar dari data baru. Sistem ini diharapkan dapat mempercepat proses daur ulang, mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual, serta mendukung pengelolaan sampah yang lebih ramah lingkungan di kawasan perkotaan.

2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini tahap pertama sebelum klasifikasi yaitu mencari dataset yang terdiri dari 4 kelas, Biological, Elektronik, Glass, dan Plastic. Masing-masing kelas memiliki 1000 data. Dataset images kita ubah size gambar menjadi 192x192 (karena keterbatasan VRAM). Data dibagi menjadi 80% untuk train dan 20% untuk validasi, dengan memastikan pemisahan dilakukan secara konsisten menggunakan Random Seed (42). Data gambar di-rescale dari nilai piksel [0,255] ke rentang [0,1]. Dalam peningkatan variasi data dan ketahanan model terhadap overfitting, teknik data augmentation diterapkan pada data yang akan dilatih. Metode augmentation mencakup rotasi (hingga 20 derajat), pergeseran lebar/tinggi (15%), shear, zoom, dan horizontal flip. Selain itu, untuk membantu membedakan kelas dengan fitur visual homogen (seperti glass dan elektronik), augmentation ditingkatkan dalam penyesuaian Brightness Range (0.7 - 1.3) dan Channel Shift (50.0). Data validasi hanya melalui proses rescale untuk memastikan pengukuran performa yang netral.

Arsitektur yang diusulkan adalah custom CNN yang dibangun dari awal dengan prinsip utama Mobile Inverted Bottleneck Convolution (MBCConv) Block dan Squeeze-and-Excitation (SE) Block. Blok MBCConv ini digunakan karena efisiensinya (lightweight), sementara SE Block memungkinkan model untuk recalibrate fitur channel secara adaptif, sehingga meningkatkan fokus pada fitur yang paling membedakan. Faktor ekspansi (expansion factor) pada setiap blok MBCConv diatur ke 3 atau 4 untuk menghemat VRAM. Susunan arsitektur terdiri dari Stem (lapisan awal) diikuti dengan 3 stage utama (stage 1,2,3) dan diakhiri dengan lapisan Head untuk klasifikasi. Penjelasan terperinci dan ringkas mengenai serangkaian tahapan dalam klasifikasi sampah dapat ditemukan di Gambar.1



Gambar 1. Alur Penelitian

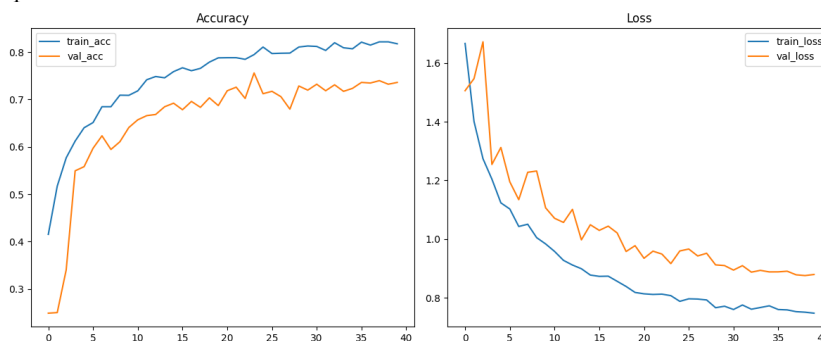
Gambar 1 Penelitian dimulai dengan pengumpulan dataset yang terdiri dari 1000 gambar untuk setiap kelas sampah (Elektronik, Biologis, Kaca, Plastik). Gambar-gambar tersebut kemudian diproses dengan mengubah ukurannya menjadi 192x192 piksel untuk mengatasi keterbatasan VRAM. Selanjutnya, model CNN dikembangkan dan dilatih agar sesuai dengan dataset. Namun, proses pelatihan ini mengalami kegagalan. Setelah pelatihan, dilakukan validasi dengan membagi data menjadi 80% untuk pelatihan dan 20% untuk validasi. Model yang valid kemudian diterapkan dalam tahap deploy untuk integrasi dengan interface yang diinginkan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

3.1.1 Hasil Pelatihan Jaringan dan Analisis Konvergensi

Pelatihan model Custom CNN dilakukan selama 40 epoch untuk memastikan model dapat belajar dengan optimal. Proses pelatihan menggunakan pengaturan tuning VRAM, termasuk pengaturan ukuran batch 16 dan pengaktifan memory growth, yang memungkinkan penggunaan memori yang efisien. Selain itu, penerapan regularisasi yang ketat selama pelatihan membantu mencegah overfitting dan meningkatkan stabilitas model. Hasilnya, proses konvergensi yang stabil tercapai, yang dapat dilihat pada grafik Loss di Gambar 2. Grafik ini menunjukkan penurunan nilai loss secara konsisten selama pelatihan, menandakan bahwa model mengalami peningkatan akurasi secara bertahap.

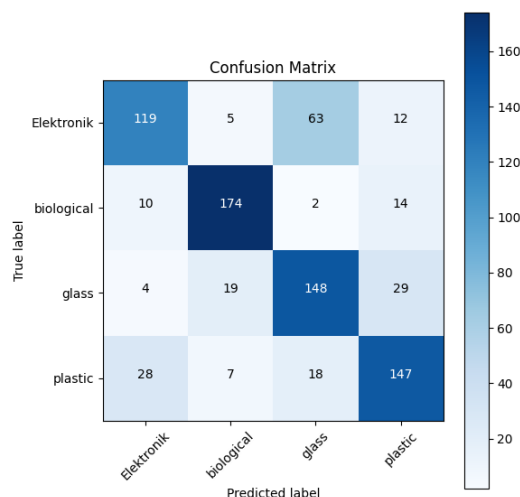


Gambar 2. Grafik Loss

Gambar 2 Kurva val_loss (kerugian validasi) menunjukkan penurunan yang stabil dan terus berlanjut di sekitar nilai 0.9, tanpa adanya kenaikan drastis, yang mengonfirmasi bahwa strategi regularisasi agresif berhasil mengatasi overfitting yang terjadi pada setup awal. Meskipun demikian, terdapat gap dalam akurasi antara pelatihan dan validasi. Akurasi pelatihan akhir mencapai 81.75%, sedangkan akurasi validasi terbaik yang tercatat adalah 75.59%. Kesenjangan sebesar 6.16% mengindikasikan bahwa model masih cenderung mengalami overfitting dalam tingkat moderat. Namun, bobot terbaik yang diperoleh pada epoch T memberikan performa generalisasi tertinggi yang dicapai oleh model ini.

3.1.2 Evaluasi Kinerja dan Analisis Confusion Matrix

Akurasi validasi terbaik sebesar 75.59% menunjukkan bahwa MBCConv yang dirancang memiliki kapasitas representasi fitur yang memadai untuk sistem klasifikasi sampah dengan empat kelas. Analisis Confusion Matrix mengungkapkan adanya variasi kinerja yang signifikan antar kelas, yang mengindikasikan tantangan dalam feature separability (kemampuan memisahkan fitur) pada beberapa kelompok sampah tertentu. Confusion matrix dapat dilihat pada Gambar 3. Selain itu, perhitungan akurasi dan hasil lainnya juga dapat ditemukan di bawah Gambar 3. Confusion Matrix.



Gambar 3. Confusion Matrix

Akurasi, ukuran sejauh mana model klasifikasi mampu prediksi sampel dengan benar

- 1) Rumus untuk menghitung akurasi = $\frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \times 100\%$
- 2) Akurasi Elektronik = 59.50%
- 3) Akurasi Biological = 87.00%
- 4) Akurasi Glass = 74.00%
- 5) Akurasi Plastic = 73.50%

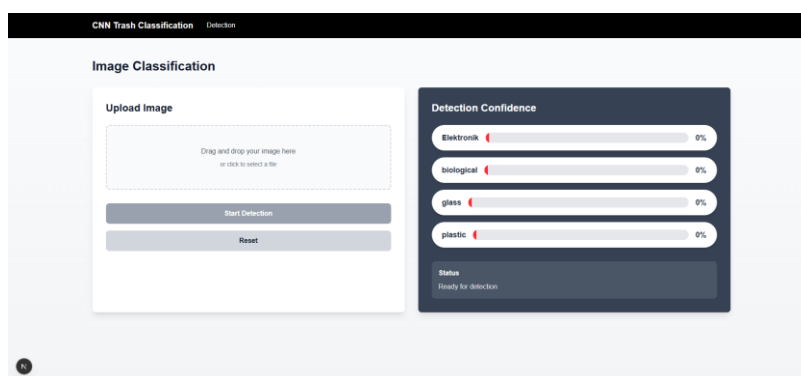
3.1.3 Pembahasan Arsitektur dan Efisiensi

Implementasi MBCConv/SE Block terbukti efektif sebagai solusi ringan (lightweight) untuk arsitektur model. Meskipun dilakukan penyesuaian pada arsitektur dan pengurangan kedalaman (seperti Expansion Factor), model tetap mampu mencapai akurasi di atas 75%. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun ada pengurangan kompleksitas, model tetap dapat mempertahankan kemampuan representasi fitur yang memadai. Namun, untuk mengatasi masalah underfitting yang menyebabkan kesulitan dalam membedakan kategori sampah elektronik dan kaca, diperlukan peningkatan kapasitas representasi. Penambahan kedalaman lapisan, seperti yang telah disarankan dalam beberapa penelitian, dapat meningkatkan kinerja model dalam memisahkan fitur. Selain itu,

penerapan data augmentation yang lebih spesifik untuk menonjolkan fitur tekstur dan material sampah dapat meningkatkan kemampuan model dalam mengenali perbedaan antar kelas. Pengembangan lebih lanjut pada kapasitas representasi dan teknik augmentation yang lebih terfokus akan memberikan dampak positif pada kinerja model, terutama pada kategori sampah yang sulit dibedakan. Peningkatan ini diharapkan dapat mengoptimalkan performa model dalam klasifikasi sampah secara lebih akurat dan efisien.

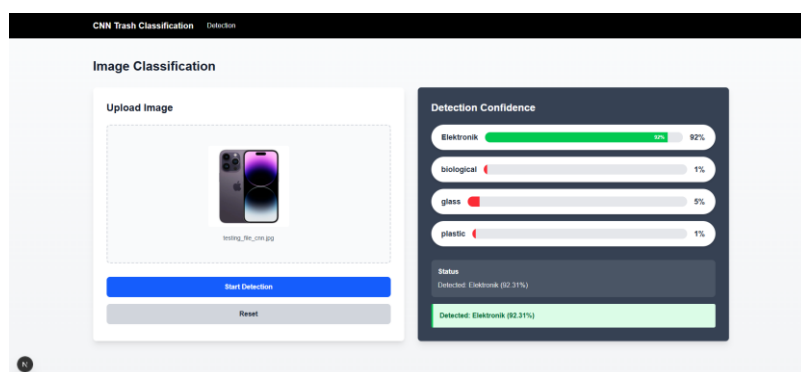
4.1.4 Hasil Implementasi Model dan Interface

Laman deteksi dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5. Pada laman tersebut, tersedia fitur untuk mengunggah gambar, yang kemudian diproses oleh model untuk mendeteksi jenis sampah. Hasil deteksi akan ditampilkan secara langsung setelah gambar diunggah, memberikan informasi tentang kategori sampah yang teridentifikasi oleh model. Fitur ini dirancang untuk memudahkan pengguna dalam melakukan klasifikasi sampah dengan cepat dan akurat, serta memberikan tampilan yang user-friendly agar dapat digunakan dengan mudah oleh berbagai kalangan.



Gambar 4. Laman Deteksi Aplikasi

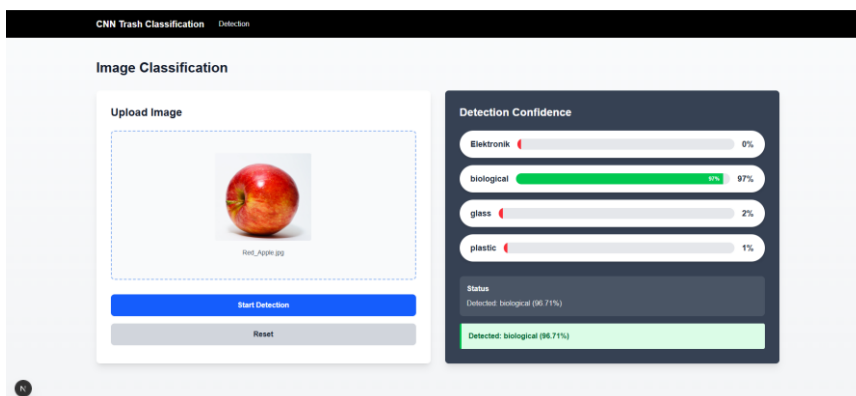
Gambar 4 User akan menginput data gambar pada kolom file input kemudian menekan tombol start detection, setelah itu sistem (model CNN) akan mencerna gambar dan melakukan proses klasifikasi, selanjutnya gambar yang telah diinput sebelumnya akan ditampilkan bersamaan di sebelah kiri layar beserta dengan hasil klasifikasi di sebelah kanan layar yang diikuti dengan persentase confidence sistem dalam mencerna gambar yang diberikan.



Gambar 5. Hasil Pengujian Pertama Pada Website

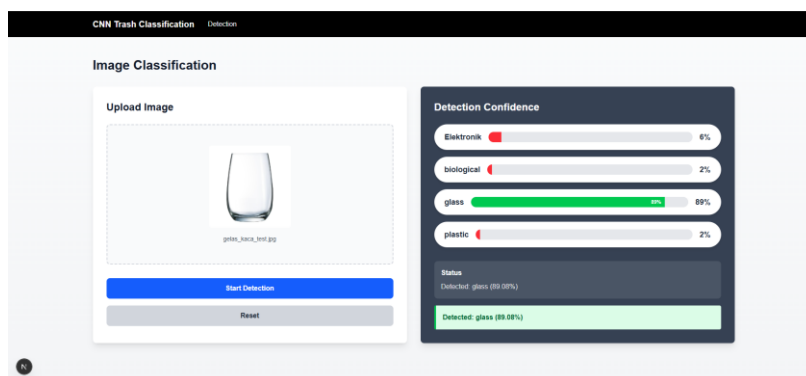
Gambar 5. Hasil dari percobaan pertama menunjukkan bahwa model berhasil mencapai tingkat kepercayaan sebesar 92% pada klasifikasi sampah elektronik. Hal ini mengindikasikan bahwa model dapat dengan akurat mengidentifikasi sampah jenis elektronik berdasarkan fitur yang

dipelajari selama pelatihan. Tingkat kepercayaan yang tinggi ini mencerminkan kinerja model yang baik dalam memisahkan kategori sampah elektronik dari kelas lainnya, meskipun masih ada ruang untuk perbaikan lebih lanjut pada klasifikasi sampah lainnya.



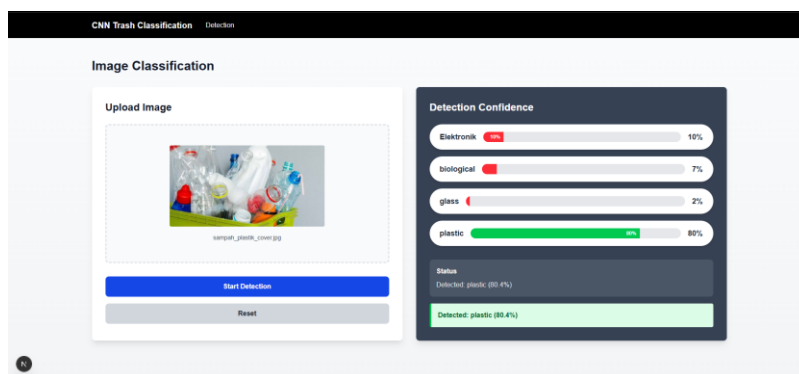
Gambar 6. Hasil Pengujian Kedua Pada Website

Gambar 6. Hasil dari percobaan kedua menunjukkan bahwa model berhasil mencapai tingkat kepercayaan sebesar 97% pada klasifikasi sampah biologis. Ini mengindikasikan bahwa model sangat efektif dalam mengenali sampah jenis biologis dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi. Pencapaian ini menunjukkan bahwa fitur-fitur yang dipelajari oleh model selama pelatihan mampu membedakan sampah biologis dengan baik dari kategori lainnya, meskipun pengujian lebih lanjut tetap diperlukan untuk memperbaiki klasifikasi pada kelas sampah lainnya.



Gambar 7. Hasil Pengujian Ketiga Pada Website

Gambar 7. Hasil dari percobaan ketiga menunjukkan bahwa model mencapai tingkat kepercayaan sebesar 89% pada klasifikasi sampah kaca. Persentase ini menunjukkan bahwa model mampu mengenali sampah jenis kaca dengan cukup baik, meskipun masih terdapat sedikit kesulitan dalam membedakan dengan kelas sampah lainnya. Meskipun demikian, hasil ini menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan yang baik dalam mengidentifikasi sampah kaca dan dapat ditingkatkan lebih lanjut untuk hasil yang lebih optimal.



Gambar 8. Hasil Pengujian Keempat Pada Website

Gambar 8. Hasil dari percobaan keempat menunjukkan bahwa model mencapai tingkat kepercayaan sebesar 80% pada klasifikasi sampah plastik. Meskipun persentase ini lebih rendah dibandingkan dengan klasifikasi pada jenis sampah lainnya, hal ini masih menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan untuk mengidentifikasi sampah plastik dengan cukup baik. Tingkat kepercayaan ini menunjukkan bahwa model telah berhasil mempelajari fitur yang relevan untuk mengenali plastik, meskipun masih ada potensi untuk meningkatkan akurasi lebih lanjut.

3.2 Pembahasan

Penggunaan algoritma Convolutional Neural Network (CNN) dalam klasifikasi sampah memberikan hasil yang signifikan dan relevan dengan berbagai penelitian sebelumnya. Salah satu penelitian yang menunjukkan hasil serupa adalah yang dilakukan oleh Fadli Setiawan (2025), yang mengimplementasikan CNN untuk klasifikasi sampah plastik dan kaleng. Dalam penelitian tersebut, CNN berhasil mencapai tingkat akurasi yang baik, menunjukkan bahwa teknik ini sangat efektif untuk mengenali jenis sampah berdasarkan citra visual. Hasil tersebut juga sejalan dengan penelitian Pieters (2025), yang mengembangkan sistem otomatis berbasis CNN untuk mendukung manajemen sampah pintar. Sistem yang dibangun dalam penelitian tersebut menunjukkan bahwa CNN dapat berfungsi dengan baik dalam memisahkan berbagai jenis sampah, yang juga ditemukan dalam sistem klasifikasi sampah pada penelitian ini.

Pelatihan model menunjukkan akurasi yang cukup baik, terdapat tantangan dalam membedakan beberapa kategori sampah tertentu, terutama pada sampah elektronik dan plastik. Berdasarkan hasil Confusion Matrix, dapat dilihat bahwa akurasi untuk sampah elektronik mencapai 59.50%, yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan kategori sampah lainnya. Hal yang sama juga terjadi pada sampah plastik, yang memiliki akurasi 73.50%. Fenomena ini menunjukkan bahwa model masih kesulitan membedakan sampah dengan ciri visual yang serupa, seperti pada kategori sampah elektronik dan plastik yang memiliki bentuk dan tekstur yang tidak selalu mudah dibedakan oleh sistem. Hal ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Roman (2024), yang menggunakan metode YOLO untuk pemilahan sampah otomatis berbasis visi komputer, yang juga menemui kesulitan dalam membedakan jenis sampah tertentu yang memiliki kesamaan visual.

Untuk mengatasi tantangan ini, diperlukan peningkatan dalam kapasitas representasi model. Salah satu cara untuk melakukannya adalah dengan menambah kedalaman jaringan atau menyesuaikan parameter dalam arsitektur model. Seperti yang disarankan oleh Tribuana *et al.* (2025), penerapan dataset yang lebih beragam dan teknik augmentasi data yang lebih terfokus pada karakteristik material dan tekstur sampah dapat membantu model untuk lebih efektif membedakan antara sampah dengan fitur visual yang mirip. Selain itu, penggunaan data augmentation yang lebih spesifik, seperti menonjolkan perbedaan pada tekstur permukaan sampah atau menggunakan pencahayaan yang berbeda dalam gambar, dapat membantu memperbaiki kinerja model pada kategori sampah yang sulit dibedakan.

Penelitian Fitriani *et al.* (2025) Hasil pengujian yang dilakukan pada aplikasi berbasis web menunjukkan bahwa model ini cukup efektif dalam mengklasifikasikan sampah, dengan tingkat

kepercayaan yang tinggi pada beberapa kategori sampah. Misalnya, untuk sampah biologis, model berhasil mencapai tingkat kepercayaan 97%, yang menunjukkan kemampuan model dalam mengenali sampah biologis dengan sangat baik. Demikian pula, untuk sampah kaca, tingkat kepercayaan mencapai 89%, meskipun masih ada ruang untuk perbaikan dalam membedakan sampah kaca dari kategori lainnya. Hasil ini mencerminkan kemampuan model untuk mengenali sampah dengan tingkat akurasi yang baik, meskipun tantangan pada kategori sampah tertentu masih ada.

Penelitian Putri *et al.* (2025) juga mendukung pentingnya pengembangan lebih lanjut dalam sistem klasifikasi sampah berbasis kecerdasan buatan (AI) untuk mendukung pengelolaan limbah yang berkelanjutan. Pengembangan arsitektur model yang lebih kuat dan teknik augmentasi data yang lebih terfokus akan memungkinkan sistem ini untuk mencapai kinerja yang lebih optimal dalam mengklasifikasikan sampah, terutama pada kategori sampah yang lebih sulit dibedakan. Selain itu, peningkatan dalam akurasi pengenalan sampah plastik dan elektronik akan menjadi fokus utama dalam penelitian selanjutnya, guna memperbaiki performa model secara keseluruhan.

4. Kesimpulan dan Saran

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem klasifikasi jenis sampah (Biological, Elektronik, Glass, Plastic) menggunakan pendekatan Artificial intelligence berbasis Computer Vision. Kontribusi utama terletak pada perancangan arsitektur Convolutional Neural Network (CNN) custom yang mengadopsi blok efisien Mobile Inverted Bottleneck Convolution (MBCConv) dan Squeeze-and-Excitation (SE) Block. Pendekatan ini terbukti efektif dalam mengatasi tantangan komputasi VRAM terbatas dan memvalidasi kelayakan solusi lightweight untuk sistem klasifikasi sampah ini. Melalui tuning hyperparameter yang ketat dan penyesuaian data augmentation yang ditargetkan, model mencapai akurasi validasi terbaik sebesar 75.59%. Hasil ini didukung analisis kurva konvergensi yang menunjukkan generalisasi yang kuat dengan gap akurasi training validation yang minimal. Arsitektur yang diusulkan menunjukkan kemampuan diferensiasi fitur yang tinggi pada kelas Biological (87%), namun, akurasi klasifikasi secara keseluruhan dibatasi oleh masalah feature overlap yang signifikan, terutama antara kelas Elektronik (59%) dan glass (74%), yang memerlukan penanganan lebih lanjut. Untuk pengembangan di masa mendatang, disarankan untuk dapat berfokus pada penyempurnaan arsitektur dan data. Peningkatan kedalaman pada lapisan MBCConv menjadi krusial untuk menangkap detail fitur yang lebih granular. Selain itu, keterbatasan model dalam memisahkan fitur pada material spesifik seperti elektronik dan kaca dapat diatasi dengan menerapkan pendekatan feature fusion atau memanfaatkan citra Multi-Spectral. Upaya ini perlu didukung dengan augmentasi dataset yang memuat variasi objek lebih beragam, sehingga limitasi deteksi dapat diminimalisir dan akurasi model dapat ditingkatkan secara signifikan.

5. Daftar Pustaka

- Alzubaidi, L., Zhang, J., Humaidi, A. J., Al-Dujaili, A., Duan, Y., Al-Shuhaibi, Y., ... & Farhan, L. (2021). Review of deep learning: concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions. *Journal of Big Data*, 8, 1-74. <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00444-8>
- Eliza, N., Irawan, B., & Khamid, A. (2025). Klasifikasi Jenis Sampah Organik Dan Anorganik Menggunakan Convolutional Neural Network Berbasis Citra Digital. *Elkom: Jurnal Elektronika dan Komputer*, 18(2), 261-268. 10.51903/elkom.v18i2.3309
- Ernawati, andreswari, D., Erlansari, A., & Coastera, F. F. (2024). Ekstraksi Fitur Menggunakan Scale Invariant Feature Transform untuk Klasifikasi Jenis Sampah. *Indonesian Journal of Computer Science and Engineering*, 1(02), 37-40. <https://doi.org/10.70656/ijcse.v1i02.119>

- Fachrisyam, M., Indra, D., & Hasnawi, M. (2025). Implementasi metode YOLO dalam mendeteksi jenis sampah berbasis computer vision. *LINIER: Literatur Informatika dan Komputer*, 2(1), 68-76.
- Fadli Setiawan, M. (2025). Implementasi Algoritma Convolutional Neural Network (Cnn) Pada Klasifikasi Grade Jenis Sampah Plastik Dan Kaleng. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 13(3S1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3S1.7805>
- Fitriani, Y., Evanita, E., & Riadi, A. A. (2025). Implementation of Convolutional Neural Network Algorithm in Recyclable Waste Recognition to Support Environmental Management. *INOVTEK Polbeng-Seri Informatika*, 10(2), 825-835. <https://doi.org/10.35314/drcjhg64>
- Iqbal, M., Irianto, R. Y., Kamaludin, A., & Fatmawati, F. (2024). Tantangan penanganan sampah di kawasan perkotaan (Studi kualitatif). *Jurnal Promotif Preventif*, 7(2), 287-294. <https://doi.org/10.47650/jpp.v7i2.1332>
- Mao, W. L., Chen, W. C., Wang, C. T., & Lin, Y. H. (2021). Recyclable waste image classification based on deep learning. *Journal of Cleaner Production*, 312, 127725. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127725>
- Menghani, G. (2023). Efficient deep learning: A survey on making deep learning models smaller, faster, and better. *ACM Computing Surveys*, 55(12), 1-37. <https://doi.org/10.1145/3578938>
- Nur'aini, Y. S., Al Zahra, N., Ilham, M. F., Kuswandi, I., Bahri, S., & Koeswara, T. S. N. (2026). Sistem Klasifikasi Sampah Berbasis YOLOv8 dengan Pemicu Ultrasonik untuk Efisiensi Daya. *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi*, 5(2), 141-153.
- Pieters, L. S. (2025). Development of automatic waste classification system using CNN-based deep learning to support smart waste management. *INOVTEK Polbeng-Seri Informatika*, 10(1), 214-224. <https://doi.org/10.35314/wst8mh87>
- Putra, I. (2025). *Alat Sortir Sampah Nonorganik pada Konveyor dengan Computer Vision* (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Bali).
- Putri, T. A., Sari, T. N., & Daniati, E. (2025, July). Pengembangan Sistem Klasifikasi Sampah Otomatis Berbasis Kecerdasan Buatan (AI) Untuk Mendukung Pengelolaan Limbah Yang Berkelanjutan. In *Prosiding SEMNAS INOTEK (Seminar Nasional Inovasi Teknologi)* (Vol. 9, No. 1, pp. 651-657). <https://doi.org/10.29407/b0wwcw75>
- Roman, A. (2024). *TA: Rancang Bangun Sistem Pemilah Sampah Secara Otomatis Berbasis Visi Komputer Menggunakan Yolo* (Doctoral dissertation, Universitas Dinamika).
- Tribuana, D., Usman, U., & Dayanti, D. (2025). Deteksi Sampah Otomatis Pada Lingkungan Terbuka Menggunakan YOLOV8 Dan Dataset Roboflow. *Jurnal Teknologi Dan Bisnis Cerdas*, 1(1), 38-49. <https://doi.org/10.64476/jtbc.v1i1.4>