

Deteksi Sampah Real-Time Menggunakan model DenseNet121

Yono Cahyono¹, Perani Rosyani²

¹ Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pamulang

Email: ¹ 5dosen00843@unpam.ac.id, ⁵ dosen00837@unpam.ac.id

Abstrak— Pengelolaan sampah yang efektif memerlukan teknologi yang mampu melakukan identifikasi jenis sampah secara cepat dan akurat. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem deteksi sampah **real-time** menggunakan model DenseNet121 yang diintegrasikan dengan OpenCV. Metode penelitian menggunakan pendekatan eksperimen yang meliputi pengumpulan dataset dari berbagai sumber, *preprocessing* citra, pembagian data menjadi data pelatihan dan pengujian, pelatihan model, evaluasi performa, serta implementasi sistem deteksi secara real-time. Model DenseNet121 dipilih karena memiliki arsitektur *dense connectivity* yang mampu meningkatkan efisiensi pembelajaran dan akurasi klasifikasi citra. Hasil pelatihan menunjukkan Train Accuracy sebesar 92,5% dan Validation Accuracy sebesar 94,9%, sedangkan pada tahap pengujian model memperoleh akurasi sebesar 96,1%. Kurva pelatihan menunjukkan proses konvergensi yang stabil tanpa indikasi *overfitting* yang signifikan. Integrasi model dengan OpenCV memungkinkan sistem mendeteksi berbagai jenis sampah seperti plastik, kaca, logam, karton, kertas, dan sampah organik secara langsung melalui kamera dengan waktu respons yang cepat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi DenseNet121 dan OpenCV mampu menghasilkan sistem deteksi sampah real-time yang akurat dan efisien sehingga berpotensi diterapkan pada sistem pengelolaan sampah cerdas (*smart waste management*) maupun proses pemilahan sampah otomatis..

Kata Kunci: DenseNet121, Computer Vision, Deteksi Sampah, Deep Learning, OpenCV.

Abstract— Effective waste management requires technology capable of identifying waste categories quickly and accurately. This study aims to develop a real-time waste detection system using the DenseNet121 model integrated with OpenCV. The research employed an experimental approach consisting of dataset collection from multiple sources, image preprocessing, dataset splitting into training and testing sets, model training, performance evaluation, and real-time system implementation. DenseNet121 was selected because its dense connectivity architecture improves feature reuse, learning efficiency, and image classification performance. The training process achieved a training accuracy of 92.5% and a validation accuracy of 94.9%, while the testing phase produced an overall accuracy of 96.1%. The learning curves indicated stable convergence without significant signs of overfitting, demonstrating the model's strong generalization capability. Furthermore, integrating the trained model with OpenCV enabled real-time detection of various waste categories, including plastic, glass, metal, cardboard, paper, and organic waste, directly from a camera stream with fast response time. The experimental results demonstrate that the combination of DenseNet121 and OpenCV provides an accurate and efficient real-time waste detection system. This approach has significant potential for supporting smart waste management systems, automated waste sorting, and environmentally sustainable waste management applications.

Keywords: DenseNet121, Computer Vision, Deep Learning, OpenCV, Real-Time Waste Detection.

1. PENDAHULUAN

Permasalahan sampah merupakan salah satu isu lingkungan yang terus meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk, urbanisasi, dan aktivitas industri. Penumpukan sampah yang tidak dikelola secara optimal dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, gangguan kesehatan masyarakat, serta menurunkan kualitas ekosistem. Oleh karena itu, diperlukan solusi yang mampu mendukung proses identifikasi dan pengelolaan sampah secara cepat, akurat, dan otomatis agar proses pemilahan maupun pengolahan sampah dapat dilakukan dengan lebih efektif.

Perkembangan teknologi **Artificial Intelligence (AI)**, khususnya **Deep Learning**, telah memberikan kontribusi yang signifikan dalam berbagai bidang pengolahan citra digital. Salah satu implementasi yang berkembang pesat adalah pemanfaatan **Computer Vision** untuk mendeteksi objek secara otomatis berdasarkan citra atau video. Teknologi ini memungkinkan sistem mengenali karakteristik visual suatu objek dengan tingkat akurasi yang tinggi, sehingga sangat potensial diterapkan pada sistem deteksi sampah secara real-time.

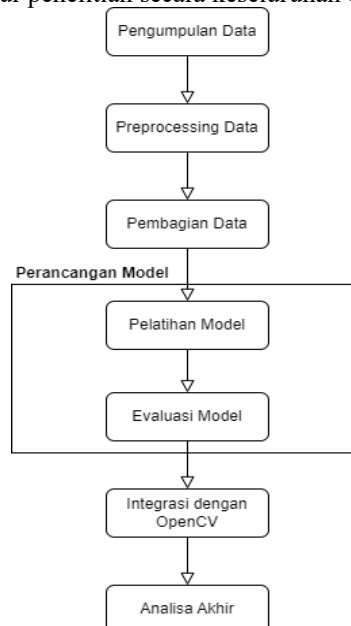
Salah satu arsitektur **Convolutional Neural Network (CNN)** yang banyak digunakan dalam tugas klasifikasi citra adalah **DenseNet121**. Arsitektur ini menghubungkan setiap lapisan dengan seluruh lapisan berikutnya melalui mekanisme *dense connectivity*, sehingga mampu meningkatkan aliran informasi dan gradien selama proses pelatihan. Pendekatan tersebut tidak hanya mengurangi permasalahan *vanishing gradient*, tetapi juga meningkatkan efisiensi penggunaan parameter dan menghasilkan performa klasifikasi yang lebih baik dibandingkan beberapa arsitektur CNN konvensional. Dengan karakteristik tersebut, DenseNet121 menjadi model yang sesuai untuk mendeteksi berbagai jenis sampah yang memiliki variasi bentuk, warna, tekstur, dan ukuran.

Untuk mendukung proses deteksi secara langsung dari kamera, penelitian ini mengintegrasikan model DenseNet121 dengan pustaka **OpenCV**. OpenCV menyediakan berbagai fungsi pemrosesan citra dan video yang memungkinkan sistem menangkap, mengolah, serta menampilkan hasil deteksi secara **real-time**. Integrasi ini memungkinkan model melakukan proses identifikasi objek sampah secara berkelanjutan pada aliran video sehingga dapat memberikan hasil prediksi secara cepat sesuai kondisi lingkungan sebenarnya.

Selain itu, implementasi model dilakukan menggunakan **TensorFlow** sebagai kerangka kerja *deep learning* yang mendukung proses pelatihan (*training*), validasi, hingga implementasi model secara efisien. Kombinasi TensorFlow, DenseNet121, dan OpenCV menghasilkan suatu sistem deteksi sampah real-time yang mampu mengidentifikasi objek sampah secara otomatis dengan tingkat akurasi yang tinggi serta waktu respons yang cepat. Sistem yang dikembangkan diharapkan dapat mendukung proses pemantauan, pemilahan, dan pengelolaan sampah secara lebih efektif, sehingga memberikan kontribusi terhadap penerapan teknologi cerdas dalam mendukung pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen untuk mengembangkan sistem deteksi sampah secara real-time berbasis Computer Vision menggunakan model DenseNet121. Tahapan penelitian dimulai dari proses pengumpulan dataset citra sampah, dilanjutkan dengan tahap *preprocessing* untuk meningkatkan kualitas data, pembagian data menjadi data pelatihan dan pengujian, pelatihan model menggunakan arsitektur DenseNet121, evaluasi performa model, integrasi model dengan OpenCV untuk proses deteksi secara real-time, hingga analisis hasil yang diperoleh. Alur penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

2.1 Pengumpulan Data

Tahap pertama dilakukan dengan mengumpulkan dataset citra sampah yang terdiri dari beberapa kategori, seperti plastik, kertas, kaca, logam, karton, dan sampah organik. Dataset dapat diperoleh dari sumber terbuka maupun hasil dokumentasi menggunakan kamera digital. Data yang dikumpulkan memiliki variasi latar belakang, pencahayaan, posisi objek, serta ukuran objek agar model mampu mengenali sampah pada berbagai kondisi lingkungan nyata.

2.2 Preprocessing Data

Data yang telah dikumpulkan selanjutnya melalui tahap *preprocessing* untuk meningkatkan kualitas data sebelum digunakan pada proses pelatihan model. Tahapan ini meliputi penghapusan data yang tidak sesuai, perubahan ukuran citra (*image resizing*) menjadi ukuran input DenseNet121, normalisasi nilai piksel, serta *data augmentation* seperti rotasi, *horizontal flip*, *zoom*, dan perubahan tingkat pencahayaan. Teknik ini bertujuan meningkatkan variasi data sehingga model memiliki kemampuan generalisasi yang lebih baik.

2.3 Pembagian Data

Dataset kemudian dibagi menjadi data pelatihan (*training set*) dan data pengujian (*testing set*). Pada penelitian ini digunakan pembagian sebesar **80%** sebagai data pelatihan dan **20%** sebagai data pengujian. Data pelatihan digunakan untuk membangun model, sedangkan data pengujian digunakan untuk mengevaluasi kemampuan model dalam mengenali objek yang belum pernah dipelajari sebelumnya.

2.4 Pelatihan Model

Tahap berikutnya adalah proses pelatihan menggunakan arsitektur **DenseNet121** yang telah memiliki bobot awal (*pre-trained weights*) dari ImageNet (*transfer learning*). Lapisan klasifikasi pada model disesuaikan dengan jumlah kelas sampah yang digunakan dalam penelitian. Selama proses pelatihan dilakukan optimasi menggunakan algoritma **Adam Optimizer** dengan fungsi kehilangan (*loss function*) **Categorical Crossentropy**. Proses pelatihan dilakukan selama beberapa *epoch* hingga model mencapai tingkat konvergensi yang optimal.

2.5 Evaluasi Model

Model yang telah dilatih kemudian dievaluasi menggunakan data pengujian. Evaluasi dilakukan dengan menghitung nilai **Accuracy**, **Precision**, **Recall**, dan **F1-Score** untuk mengetahui kemampuan model dalam mengklasifikasikan setiap jenis sampah. Selain itu, digunakan **Confusion Matrix** sebagai visualisasi hasil klasifikasi sehingga dapat diketahui kategori yang masih sering mengalami kesalahan prediksi.

2.6 Integrasi dengan OpenCV

Model DenseNet121 yang telah memiliki performa terbaik selanjutnya diintegrasikan dengan pustaka **OpenCV** untuk membangun sistem deteksi sampah secara real-time. OpenCV digunakan untuk menangkap video dari kamera, melakukan *frame processing*, menjalankan proses prediksi menggunakan model DenseNet121, serta menampilkan hasil klasifikasi beserta tingkat kepercayaan (*confidence score*) secara langsung pada layar.

2.7 Analisa Akhir

Tahap terakhir merupakan analisis terhadap hasil implementasi sistem. Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil evaluasi model serta performa deteksi secara real-time berdasarkan tingkat akurasi, kecepatan deteksi, dan kemampuan sistem mengenali berbagai jenis sampah pada kondisi lingkungan yang berbeda. Hasil analisis ini digunakan untuk menilai efektivitas penerapan DenseNet121 dalam sistem deteksi sampah serta menjadi dasar dalam penyusunan kesimpulan dan rekomendasi pengembangan penelitian selanjutnya.

3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengumpulan dan Pembagian Data

Tahap awal penelitian dilakukan dengan mengumpulkan dataset citra sampah yang akan digunakan sebagai data pelatihan dan pengujian model. Dataset diperoleh dari beberapa sumber, yaitu **Kaggle**, hasil pengambilan gambar secara mandiri menggunakan kamera digital, serta berbagai sumber ilmiah seperti artikel, buku, tesis, jurnal, dan repositori daring yang menyediakan dataset citra sampah. Penggunaan berbagai sumber bertujuan untuk memperoleh variasi data yang lebih beragam sehingga model mampu mengenali objek sampah pada kondisi lingkungan yang berbeda.



Gambar 2. Dataset Sampah

Gambar 2 memperlihatkan contoh citra dari beberapa kategori sampah yang digunakan dalam penelitian, seperti **plastik**, **kaca**, **logam**, **karton**, **kertas**, dan **sampah organik**. Setiap citra telah diberi label sesuai dengan kategori objeknya sehingga dapat digunakan sebagai data klasifikasi pada proses pelatihan model.

Sebelum digunakan dalam proses pembelajaran, seluruh citra terlebih dahulu melalui tahap *preprocessing*. Tahapan ini meliputi penyesuaian ukuran citra sesuai dengan input DenseNet121, normalisasi nilai piksel, serta penerapan teknik *data augmentation* seperti rotasi, pembalikan (*flip*), dan *zoom*. Proses tersebut bertujuan meningkatkan kualitas data sekaligus mengurangi kemungkinan model mengalami *overfitting*.

Setelah proses *preprocessing* selesai, dataset dibagi menjadi **80% data pelatihan** dan **20% data pengujian**. Data pelatihan digunakan untuk membangun model klasifikasi, sedangkan data pengujian digunakan untuk mengevaluasi kemampuan model dalam mengenali citra sampah yang belum pernah dipelajari sebelumnya.

3.2 Perancangan Model

Tahap berikutnya adalah pelatihan model menggunakan arsitektur **DenseNet121**. Model ini dipilih karena memiliki mekanisme *dense connectivity* yang memungkinkan setiap lapisan menerima informasi dari seluruh lapisan sebelumnya. Karakteristik tersebut membuat proses pembelajaran menjadi lebih efisien, mempercepat konvergensi, serta meningkatkan kemampuan model dalam mengekstraksi fitur-fitur penting pada citra sampah.

Selama proses pelatihan, dataset dibagi menjadi data pelatihan dan validasi sehingga performa model dapat dipantau pada setiap *epoch*. Pendekatan ini bertujuan untuk memperoleh model dengan kemampuan generalisasi yang baik sekaligus meminimalkan terjadinya *overfitting*.



Gambar 3. Hasil Pelatihan dan Validasi

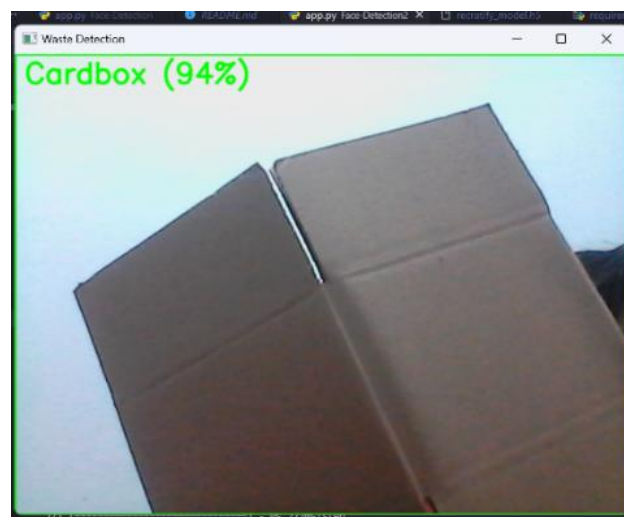
Berdasarkan hasil pelatihan, model DenseNet121 memperoleh **Train Accuracy sebesar 92,5%** dan **Validation Accuracy sebesar 94,9%**. Menariknya, nilai akurasi validasi sedikit lebih tinggi dibandingkan akurasi pelatihan. Kondisi ini menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan generalisasi yang baik dan tidak mengalami *overfitting* yang berarti.

Pada tahap pengujian menggunakan data yang belum pernah digunakan selama proses pelatihan, model berhasil mencapai **akurasi sebesar 96,1%**. Hasil tersebut menunjukkan bahwa DenseNet121 mampu mengenali berbagai kategori sampah secara konsisten meskipun memiliki variasi bentuk, warna, tekstur, maupun pencahayaan.

Selain itu, grafik akurasi dan *loss* menunjukkan bahwa proses pelatihan berlangsung secara stabil. Nilai *training loss* dan *validation loss* cenderung menurun seiring bertambahnya jumlah *epoch*, sedangkan nilai akurasi meningkat secara bertahap hingga mencapai kondisi konvergen. Walaupun masih terdapat sedikit fluktuasi pada kurva validasi, perubahan tersebut masih berada dalam batas yang wajar dan tidak mengindikasikan terjadinya *overfitting*. Dengan demikian, model DenseNet121 dinilai telah berhasil mempelajari karakteristik setiap kategori sampah dengan baik.

3.3 Integrasi dengan OpenCV

Tahap selanjutnya adalah mengintegrasikan model DenseNet121 yang telah dilatih ke dalam aplikasi **OpenCV** untuk membangun sistem deteksi sampah secara **real-time**. OpenCV digunakan sebagai media untuk menangkap aliran video (*video stream*) dari kamera, melakukan *frame processing*, menjalankan proses prediksi menggunakan model DenseNet121, serta menampilkan hasil klasifikasi secara langsung pada layar.



Gambar 4. Deteksi Sampah Real-Time

Gambar 4 menunjukkan implementasi sistem deteksi sampah secara real-time. Setiap objek yang berada di depan kamera diproses secara otomatis oleh model DenseNet121, kemudian sistem menampilkan kategori sampah beserta tingkat keyakinan (*confidence score*) hasil prediksi. Proses identifikasi berlangsung dalam waktu yang relatif singkat sehingga pengguna dapat memperoleh hasil deteksi secara langsung tanpa harus menyimpan citra terlebih dahulu.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu mengenali berbagai jenis sampah seperti plastik, kaca, logam, karton, dan kertas dengan tingkat akurasi yang tinggi pada kondisi pencahayaan normal. Integrasi antara DenseNet121 dan OpenCV menghasilkan proses inferensi yang cepat sehingga sistem dapat digunakan untuk aplikasi pemantauan maupun pemilahan sampah secara otomatis.

Secara keseluruhan, implementasi sistem membuktikan bahwa kombinasi **DenseNet121** sebagai model klasifikasi dan **OpenCV** sebagai pustaka pemrosesan citra mampu menghasilkan sistem deteksi sampah real-time yang efektif. Sistem yang dikembangkan berpotensi diterapkan pada fasilitas pengelolaan sampah, pusat daur ulang, maupun sistem *smart waste management* untuk meningkatkan efisiensi proses identifikasi dan pemilahan sampah secara otomatis.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem **deteksi sampah secara real-time** menggunakan model **DenseNet121** yang diintegrasikan dengan pustaka **OpenCV**. Proses penelitian meliputi pengumpulan dataset dari berbagai sumber, tahap *preprocessing*, pembagian data, pelatihan model, evaluasi performa, hingga implementasi sistem pada aliran video secara langsung. Hasil pelatihan menunjukkan bahwa model memperoleh **Train Accuracy sebesar 92,5%, Validation Accuracy sebesar 94,9%**, serta **akurasi pengujian sebesar 96,1%**, yang menunjukkan kemampuan model dalam mengklasifikasikan berbagai jenis sampah dengan tingkat ketepatan yang tinggi. Grafik pelatihan juga memperlihatkan proses konvergensi yang stabil tanpa indikasi *overfitting* yang signifikan, sehingga model memiliki kemampuan generalisasi yang baik terhadap data baru.

Integrasi model DenseNet121 dengan OpenCV memungkinkan proses identifikasi sampah dilakukan secara langsung melalui kamera dengan waktu respons yang cepat dan hasil klasifikasi yang akurat. Sistem mampu mengenali beberapa kategori sampah, seperti plastik, kaca, logam, kertas, karton, dan sampah organik, sehingga berpotensi mendukung proses pemilahan sampah secara otomatis. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis *deep learning* dapat menjadi solusi yang efektif dalam mendukung pengelolaan sampah yang lebih cerdas dan efisien. Untuk penelitian selanjutnya, sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan lebih banyak kategori sampah, memperbesar ukuran dataset, menguji model pada kondisi lingkungan yang lebih beragam, serta membandingkan performa DenseNet121 dengan arsitektur *deep learning* lainnya seperti EfficientNet, MobileNetV3, atau Vision Transformer guna memperoleh performa deteksi yang lebih optimal.

REFERENCES

- Nafis Alfarizi, D., Agung Pangestu, R., Aditya, D., Adi Setiawan, M., & Rosyani, P. (2023). Penggunaan Metode YOLO Pada Deteksi Objek: Sebuah Tinjauan Literatur Sistematis. *Jurnal Artificial Intelligent Dan Sistem Penunjang Keputusan*, 1(1), 54–63.
- Devi, D. T., Santos, V. A., & Rosyani, P. (2023). Analisa Penggunaan Metode Faster R-CNN dalam Pengenalan Wajah: Systematic Literature Review. *Buletin Ilmiah Ilmu Komputer Dan Multimedia (BIIKMA)*, 1(1), 258–262.
- Rosyani, P., Saprudin, S., & Amalia, R. (2021). Klasifikasi Citra Menggunakan Metode Random Forest dan Sequential Minimal Optimization (SMO). *Jurnal Sistem Dan Teknologi Informasi (Justin)*, 9(2), 132.
- Kurniawan, R., Wintoro, P. B., Mulyani, Y., & Komarudin, M. (2023). IMPLEMENTASI ARSITEKTUR XCEPTION PADA MODEL MACHINE LEARNING KLASIFIKASI SAMPAH ANORGANIK. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 11(2).
- Kohsasih, K. L., Rizky, M. D. A., Fahriyani, T., Wijaya, V., & Rosnelly, R. (2021). Analisis Perbandingan Algoritma Convolutional Neural Network dan Algoritma Multi-layer Perceptron Neural dalam Klasifikasi Citra Sampah. *Times*, 10(2), 22–28.

- Yelvita, F. S. (2022). *klasifikasi citra untuk pengelompokan sampah dengan menggunakan convolution neural network*. Universitas Nusa Putra.
- Hasan, R. T. H., & Sallow, A. B. (2021). Face Detection and Recognition Using OpenCV. *Journal of Soft Computing and Data Mining*, 2(2), 86–97.
- Lia Farokhah. (2021). Perbandingan Metode Deteksi Wajah Menggunakan OpenCV Haar Cascade, OpenCV Single Shot Multibox Detector (SSD) dan DLib CNN. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi)*, 5(3), 609–614.