

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan pesat teknologi kecerdasan buatan, khususnya pada bidang *computer vision*, telah mendorong lahirnya berbagai pendekatan canggih dalam pengolahan dan analisis citra digital. Salah satu capaian utama di bidang ini adalah kemampuan sistem berbasis *Deep learning* untuk melakukan klasifikasi citra secara otomatis dengan tingkat akurasi yang tinggi [1]. Klasifikasi citra menjadi komponen penting dalam berbagai aplikasi nyata, mulai dari kesehatan, industri manufaktur, pertanian, hingga pengelolaan lingkungan.

Pada konteks lingkungan, permasalahan pengelolaan sampah tidak hanya berkaitan dengan jumlah limbah yang dihasilkan, tetapi juga dengan keberagaman jenis sampah yang memerlukan penanganan berbeda. Proses pemilahan menjadi salah satu bagian penting dalam pengelolaan sampah karena sampah perlu dikenali dan dikelompokkan berdasarkan jenisnya agar dapat ditangani sesuai karakteristik masing-masing. Namun, proses pemilahan secara manual masih memiliki keterbatasan karena bergantung pada kemampuan manusia dalam mengenali karakteristik sampah serta membutuhkan waktu dan tenaga [2]. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya pendekatan yang dapat membantu proses identifikasi dan pengelompokan jenis sampah secara lebih cepat dan konsisten. Salah satu pendekatan yang potensial adalah pemanfaatan sistem klasifikasi citra berbasis kecerdasan buatan.

Kota Bandung merupakan salah satu kota besar di Jawa Barat yang menghadapi tantangan serius dalam pengelolaan sampah. Menurut data dari Open Data Jabar, produksi sampah di Kota Bandung mencapai sekitar 1.529 ton per hari pada tahun 2021, menjadikannya salah satu wilayah dengan timbulan sampah terbesar di provinsi ini. Volume sampah tersebut mengalami peningkatan pada tahun berikutnya, seperti terlihat pada data Badan Pusat Statistik (BPS) yang menunjukkan produksi sampah harian mencapai 1.594,18 ton pada tahun 2022.

Peningkatan volume tersebut menunjukkan besarnya beban pengelolaan sampah yang perlu ditangani oleh pemerintah dan masyarakat Kota Bandung [2].

Besarnya volume sampah bukan menjadi satu-satunya tantangan dalam pengelolaan sampah di Kota Bandung. Pengelolaan sampah juga menghadapi keterbatasan infrastruktur dan kapasitas pengolahan. Berdasarkan pemberitaan tahun 2025, timbunan sampah Kota Bandung mencapai sekitar 1.500 ton per hari, sementara kapasitas pengiriman ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sarimukti hanya mampu menampung sekitar 800 ton per hari. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan antara jumlah sampah yang dihasilkan dan kapasitas penanganannya sehingga berpotensi menimbulkan penumpukan di Tempat Penampungan Sementara (TPS) maupun lingkungan permukiman [3]. Dalam kondisi tersebut, proses pemilahan menjadi salah satu bagian yang penting karena pengelompokan sampah berdasarkan jenisnya dapat mendukung penanganan dan pengelolaan sampah secara lebih tepat. Oleh karena itu, diperlukan dukungan teknologi yang dapat membantu proses identifikasi dan pemilahan sampah secara lebih efektif.

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mendukung proses klasifikasi citra adalah *Convolutional Neural Network* (CNN). CNN memiliki kemampuan dalam mengekstraksi fitur visual dari citra, seperti tepi, tekstur, dan pola bentuk melalui operasi konvolusi berlapis. Melalui proses pembelajaran tersebut, CNN mampu mempelajari representasi fitur secara hierarkis, mulai dari fitur tingkat rendah hingga fitur tingkat tinggi yang lebih kompleks. Kemampuan tersebut menjadikan CNN banyak digunakan dalam berbagai aplikasi *computer vision*, termasuk pengenalan objek, deteksi citra, dan klasifikasi gambar [4][5]. Seiring perkembangan *Deep learning*, berbagai arsitektur CNN dikembangkan untuk memperoleh performa klasifikasi yang baik dengan efisiensi komputasi yang semakin tinggi.

Salah satu arsitektur CNN modern yang banyak digunakan dalam penelitian klasifikasi citra adalah EfficientNet yang diperkenalkan oleh Tan dan Le. EfficientNet dirancang untuk meningkatkan performa model dengan tetap menjaga efisiensi komputasi melalui metode compound scaling, yaitu pendekatan yang

meningkatkan kedalaman jaringan (depth), lebar jaringan (width), dan resolusi input citra (resolution) secara seimbang. Pendekatan ini memungkinkan model mencapai akurasi yang tinggi dengan jumlah parameter yang lebih efisien dibandingkan banyak arsitektur CNN sebelumnya [6].

Salah satu varian dari arsitektur ini adalah *EfficientNet-B0*, yang merupakan model dasar dari keluarga *EfficientNet*. *EfficientNet-B0* memiliki jumlah parameter yang relatif lebih sedikit dibandingkan banyak model CNN lain, namun tetap mampu menghasilkan performa klasifikasi citra yang kompetitif. Dengan efisiensi tersebut, *EfficientNet-B0* menjadi salah satu arsitektur yang sering digunakan dalam berbagai penelitian computer vision, khususnya pada tugas klasifikasi citra yang membutuhkan keseimbangan antara akurasi dan efisiensi komputasi [7].

Dalam konteks pengelolaan lingkungan, klasifikasi citra sampah merupakan salah satu aplikasi penting dari teknologi *computer vision*. Sistem klasifikasi citra sampah bertujuan untuk mengidentifikasi jenis sampah secara otomatis berdasarkan karakteristik visualnya sehingga dapat membantu proses pemilahan secara lebih cepat dan konsisten. Namun, klasifikasi citra sampah memiliki tantangan tersendiri karena objek sampah memiliki bentuk yang tidak beraturan, kemiripan tekstur antar kelas, serta variasi kondisi pencahayaan dan latar belakang pada citra [8]. Kondisi tersebut menyebabkan proses pengenalan jenis sampah menjadi tidak sederhana dan memerlukan model yang mampu mempelajari karakteristik visual dari masing-masing kelas secara efektif.

Penelitian klasifikasi citra sampah juga dapat menghadapi keterbatasan jumlah dataset yang tersedia. Dataset yang terbatas dapat memengaruhi kemampuan model dalam mempelajari representasi fitur secara optimal. Oleh karena itu, pendekatan *Transfer learning* banyak digunakan dalam penelitian *Deep learning* untuk memanfaatkan pengetahuan yang telah dipelajari dari dataset berskala besar seperti *ImageNet*, kemudian menyesuaikannya dengan dataset baru yang memiliki jumlah data lebih terbatas. Pendekatan ini dapat membantu meningkatkan efisiensi proses pelatihan serta memanfaatkan fitur yang telah dipelajari sebelumnya untuk tugas klasifikasi citra [9].

Meskipun berbagai arsitektur CNN telah digunakan dalam penelitian klasifikasi citra sampah, masih terdapat peluang untuk mengimplementasikan arsitektur yang memiliki keseimbangan antara performa dan efisiensi komputasi, seperti *EfficientNet-B0*, pada dataset citra sampah yang dikumpulkan secara mandiri. *EfficientNet-B0* menawarkan pendekatan yang mempertimbangkan keseimbangan antara akurasi dan efisiensi komputasi, sehingga menarik untuk diuji pada dataset penelitian ini. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada implementasi *EfficientNet-B0* menggunakan pendekatan *Transfer learning* untuk melakukan klasifikasi citra sampah.

Berdasarkan uraian tersebut, penerapan *Convolutional Neural Network* berbasis *EfficientNet-B0* dengan pendekatan *Transfer learning* menjadi salah satu pendekatan yang potensial untuk mendukung klasifikasi citra sampah. Dengan memanfaatkan kemampuan CNN dalam mengekstraksi fitur visual dan efisiensi arsitektur *EfficientNet-B0*, penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan model klasifikasi citra sampah menggunakan dataset yang dikumpulkan secara mandiri. Model yang dikembangkan selanjutnya dievaluasi untuk mengetahui kemampuannya dalam mengidentifikasi jenis sampah berdasarkan karakteristik visual citra. Oleh karena itu, penelitian ini mengangkat judul “Implementasi *Convolutional Neural Network* Berbasis *EfficientNet-B0* untuk Klasifikasi Citra Sampah Menggunakan *Transfer learning*”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana implementasi *Convolutional Neural Network* berbasis *EfficientNet-B0* menggunakan pendekatan *Transfer learning* untuk klasifikasi citra sampah?
2. Bagaimana kinerja model *EfficientNet-B0* dalam mengklasifikasikan citra sampah berdasarkan metrik evaluasi *Accuracy*, *Precision*, *Recall*, dan *F1-Score*?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terfokus dan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya membahas klasifikasi citra sampah berbasis citra dua dimensi (2D) dan tidak mencakup data video atau citra tiga dimensi.
2. Dataset yang digunakan dalam penelitian ini merupakan dataset citra sampah yang dikumpulkan secara mandiri oleh peneliti, yang terdiri dari lima kelas sampah yaitu organik, kertas, plastik, logam, dan B3.
3. Dataset yang digunakan dalam penelitian ini berupa citra tunggal yang merepresentasikan satu kelas sampah pada setiap citra dan tidak mencakup citra dengan objek dari beberapa kelas sampah yang berbeda.
4. Penelitian ini hanya membahas klasifikasi citra sampah ke dalam lima kelas, yaitu organik, kertas, plastik, logam, dan B3 sesuai dengan dataset yang digunakan. Jenis sampah di luar lima kelas tersebut tidak menjadi ruang lingkup penelitian.
5. Model *Deep learning* yang digunakan dalam penelitian ini dibatasi pada arsitektur *Convolutional Neural Network (CNN) EfficientNet-B0*,
6. Pendekatan pelatihan model dilakukan menggunakan *Transfer learning* dengan model pra-terlatih, tanpa merancang atau melatih model dari awal.
7. Penelitian ini tidak membahas perancangan arsitektur model baru, tetapi berfokus pada implementasi dan penerapan model *EfficientNet-B0* untuk klasifikasi citra sampah.
8. Evaluasi kinerja model dibatasi pada metrik *Accuracy*, *Precision*, *Recall*, dan *F1-Score*, serta analisis *confusion matrix*.
9. Penelitian ini tidak membahas optimasi lanjutan seperti ensemble model, hyperparameter search skala besar, atau implementasi sistem secara real-time pada perangkat industri.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini disusun berdasarkan permasalahan yang telah dirumuskan, yaitu sebagai berikut:

1. Mengimplementasikan model *Convolutional Neural Network* berbasis *EfficientNet-B0* menggunakan pendekatan *Transfer learning* untuk melakukan klasifikasi citra sampah.
2. Mengevaluasi kinerja model *EfficientNet-B0* dalam mengklasifikasikan citra sampah berdasarkan metrik evaluasi *Accuracy*, *Precision*, *Recall*, dan *F1-Score*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik secara teoritis maupun praktis sebagai berikut:

1.5.1 Manfaat Teoretis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang *computer vision* dan *Deep learning*, khususnya dalam penerapan *Convolutional Neural Network* (CNN) berbasis *EfficientNet-B0* untuk klasifikasi citra sampah menggunakan pendekatan *Transfer learning*.

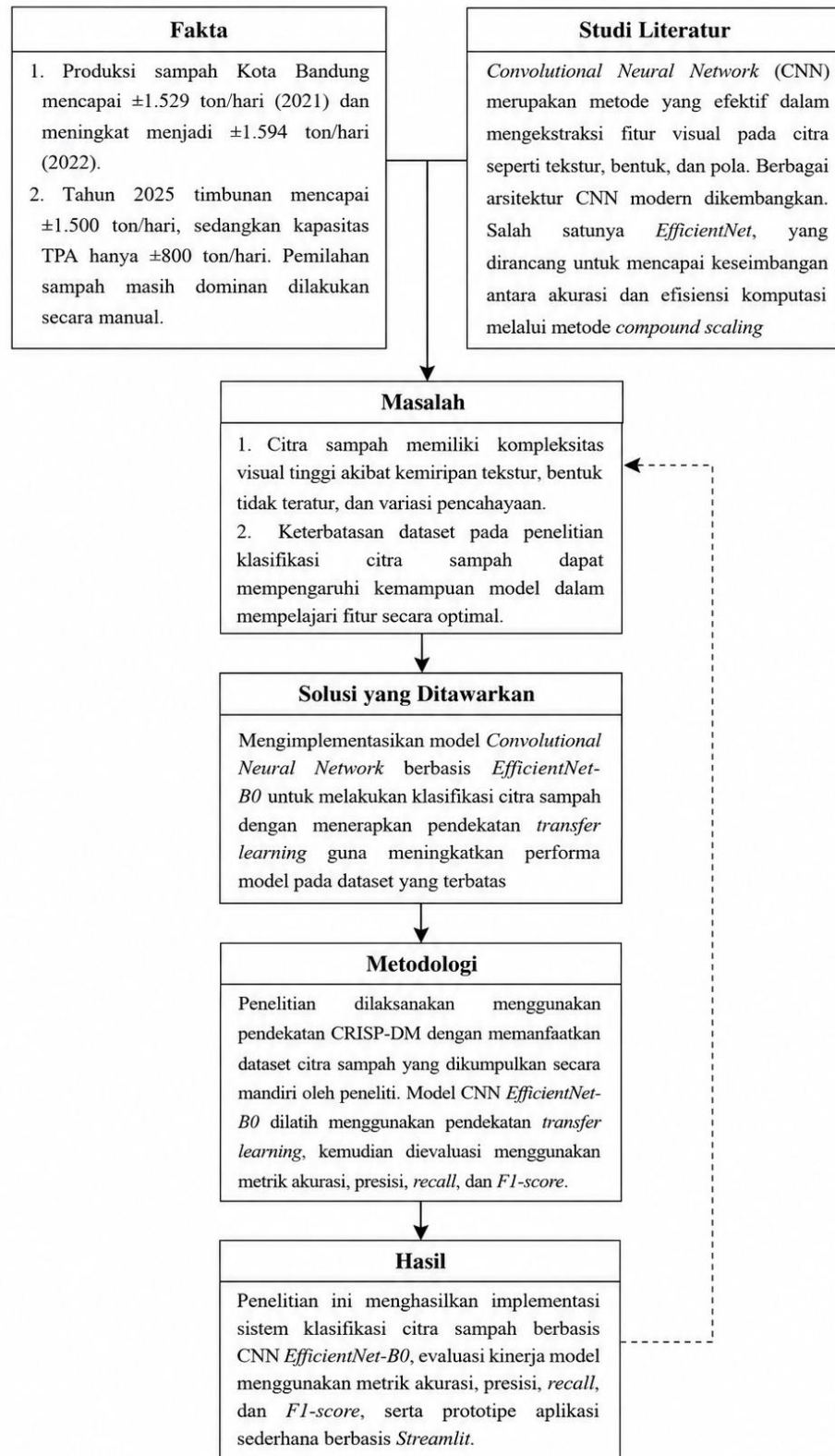
1.5.2 Manfaat Praktis

Secara praktis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi peneliti, penelitian ini dapat menambah pemahaman dan pengalaman dalam mengimplementasikan model *Deep learning* untuk klasifikasi citra.
2. Bagi pengembangan teknologi, penelitian ini dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem klasifikasi sampah otomatis berbasis *computer vision*.
3. Bagi penelitian selanjutnya, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dan dasar pengembangan penelitian lanjutan yang berkaitan dengan klasifikasi citra sampah menggunakan metode *Deep learning*.

1.6 Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir pada penelitian ini disusun untuk menggambarkan alur pemikiran peneliti dalam merumuskan permasalahan hingga solusi yang diusulkan. Secara visual, kerangka berpikir penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Kerangka Berfikir

Kerangka berpikir dalam penelitian ini disusun untuk menggambarkan alur logis penelitian secara sistematis, mulai dari identifikasi permasalahan, pendekatan yang digunakan, hingga hasil yang diharapkan. Kerangka ini berfungsi sebagai landasan konseptual dalam menjelaskan hubungan antara latar belakang masalah, solusi yang diusulkan, serta metode penelitian yang diterapkan.

Penelitian ini diawali dari permasalahan meningkatnya volume dan keberagaman jenis sampah yang menuntut adanya proses pemilahan sampah yang lebih efisien dan akurat. Di Kota Bandung, produksi sampah tercatat mencapai sekitar 1.529 ton per hari pada tahun 2021 dan meningkat menjadi 1.594,18 ton per hari pada tahun 2022 (Open Data Jabar, 2022). Proyeksi pada tahun 2025 menunjukkan timbunan sampah di Kota Bandung mencapai sekitar 1.500 ton per hari, sedangkan kapasitas pengangkutan ke TPA Sarimukti hanya sekitar 800 ton per hari, sehingga terjadi selisih signifikan antara produksi dan pengelolaan sampah (Liputan6, 2025).

Proses pemilahan sampah di tingkat masyarakat maupun Tempat Penampungan Sementara (TPS) masih banyak dilakukan secara manual, sehingga berpotensi menimbulkan kesalahan klasifikasi serta kurang efisien dalam proses pengelolaan sampah. Oleh karena itu, pemanfaatan teknologi computer vision berbasis *Deep learning* dapat menjadi solusi untuk membantu proses klasifikasi citra sampah secara otomatis sehingga proses pemilahan sampah dapat dilakukan dengan lebih cepat dan akurat.

Salah satu metode yang banyak digunakan dalam tugas klasifikasi citra adalah *Convolutional Neural Network* (CNN) yang memiliki kemampuan dalam mengekstraksi fitur visual dari citra seperti tekstur, tepi, dan pola bentuk. Dalam penelitian ini digunakan arsitektur *EfficientNet-B0*, yang merupakan salah satu arsitektur CNN modern yang dirancang untuk mencapai keseimbangan antara akurasi dan efisiensi komputasi melalui metode compound scaling. Pendekatan ini memungkinkan model mempelajari fitur visual secara lebih optimal dengan jumlah parameter yang lebih efisien dibandingkan beberapa arsitektur CNN konvensional.

Untuk meningkatkan performa model serta mengatasi keterbatasan jumlah dataset, penelitian ini menerapkan pendekatan *Transfer learning* dengan

memanfaatkan model pra-terlatih pada dataset berskala besar seperti *ImageNet*. Pendekatan ini memungkinkan model memanfaatkan pengetahuan awal yang telah dipelajari sebelumnya sehingga proses pelatihan model pada dataset penelitian dapat dilakukan dengan lebih efektif dan efisien.

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini merupakan dataset citra sampah yang dikumpulkan secara mandiri oleh peneliti yang terdiri dari beberapa kelas sampah, yaitu organik, kertas, plastik, logam dan B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Dataset tersebut kemudian melalui tahap preprocessing dan data *Augmentation* sebelum digunakan dalam proses pelatihan model.

Model CNN *EfficientNet-B0* dilatih menggunakan dataset tersebut untuk melakukan klasifikasi citra sampah. Kinerja model kemudian dievaluasi secara kuantitatif menggunakan metrik *Accuracy*, *Precision*, *Recall*, dan *F1-Score*, serta dianalisis menggunakan confusion matrix untuk mengetahui kemampuan model dalam mengklasifikasikan setiap kelas sampah.

Pada tahap akhir, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan implementasi sistem klasifikasi citra sampah berbasis CNN *EfficientNet-B0*, serta evaluasi performa model dalam melakukan klasifikasi citra sampah. Selain itu, penelitian ini juga menghasilkan prototipe aplikasi sederhana berbasis *Streamlit* untuk mendemonstrasikan proses klasifikasi citra sampah secara otomatis.