

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelolaan sampah merupakan permasalahan global yang terus meningkat. Pada tahun 2017, total timbunan sampah dunia mencapai sekitar 20 miliar ton dan diperkirakan meningkat hingga 46 miliar ton pada tahun 2050 jika tidak disertai perbaikan sistem pengelolaan. Sampah padat perkotaan menyumbang sekitar 2,3–3,1 miliar ton, dengan sekitar 42% masih dikelola secara tidak layak melalui pembuangan terbuka atau pembakaran langsung [1]. Kondisi ini berdampak signifikan terhadap lingkungan dan kesehatan, khususnya di negara berkembang. Di Indonesia, berdasarkan data terkini dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup tahun 2025 mencatat timbunan sampah dari 513 kabupaten/kota mencapai 144.800 ton, dengan 75% di antaranya belum terkelola secara optimal [2].

Pemilahan sampah secara manual cenderung tidak konsisten karena bergantung pada penilaian subjektif individu, sehingga sering terjadi kesalahan dalam pengelompokan jenis sampah, terutama pemisahan antara sampah organik dan anorganik yang memerlukan penanganan berbeda. Pemilahan sampah sejak dari sumber merupakan faktor utama dalam pengelolaan sampah berkelanjutan, karena sampah organik dapat diolah menjadi kompos atau biogas, sedangkan sampah anorganik dapat didaur ulang untuk menghemat sumber daya alam. Pencampuran kedua jenis sampah menimbulkan kontaminasi silang yang menurunkan efektivitas daur ulang [3]. Cairan dari sampah organik mencemari material anorganik sehingga nilai daur ulangnya menurun dan membutuhkan proses pembersihan tambahan, sementara kontaminasi material anorganik juga menurunkan kualitas hasil olahan sampah organik. Masalah ini disebabkan rendahnya praktik pemilahan, kurangnya kesadaran masyarakat, dan minimnya sistem otomatis untuk pengenalan jenis sampah. Dengan demikian, pengembangan sistem klasifikasi otomatis yang dapat membedakan sampah organik dan anorganik menjadi solusi penting dalam pengelolaan sampah, karena mampu mempercepat proses identifikasi dan mengurangi kesalahan pemilahan manual yang dapat menyebabkan kontaminasi silang, sehingga dapat membantu proses klasifikasi dan mempermudah proses pemilahan jenis sampah [4].

Pemanfaatan kecerdasan buatan untuk klasifikasi sampah telah menjadi fokus penelitian yang berkembang pesat. Penelitian menggunakan arsitektur *Convolutional Neural Networks* (CNN) *multi-layer* telah menunjukkan kemampuan dalam membedakan sampah

organik dan anorganik secara otomatis [5], namun hanya terbatas pada kategori utama tanpa integrasi ke dalam sistem *web*. Model hibrid CNN–LSTM menunjukkan kinerja yang baik dalam klasifikasi sampah berkelanjutan [6], namun belum dilengkapi antarmuka *web* untuk kemudahan akses pengguna. Integrasi *deep learning* dengan *Internet of Things* (IoT) untuk sistem pengelolaan sampah cerdas dengan CNN telah diusulkan [7], namun belum mengembangkan sistem klasifikasi yang mampu mengenali jenis sampah hingga tingkat sub-kelas dan memetakannya ke dalam kategori organik atau anorganik. Penelitian berbasis EfficientNetB1 telah mengembangkan sistem klasifikasi sampah organik dan anorganik berbasis aplikasi *web* [8], namun hanya mengklasifikasikan gambar sampah ke dalam dua kategori utama tanpa membedakan jenis sampah secara rinci pada tingkat sub-kelas, dan belum didukung penjelasan detail terkait integrasi sistem *web*. Perbedaan pengolahan tiap jenis sampah menuntut klasifikasi hingga tingkat sub-kelas, karena sampah organik seperti daging membusuk lebih cepat dibandingkan daun atau buah, sedangkan sampah anorganik seperti plastik, kaca, dan logam memiliki metode pengolahan berbeda dan tidak dapat diproses bersamaan. Tanpa klasifikasi ini, pengolahan menjadi tidak optimal karena masih bergantung pada pemilahan manual yang meningkatkan waktu, biaya, dan risiko kesalahan. Selain itu, penelitian sebelumnya umumnya belum mengintegrasikan model *deep learning* ke dalam sistem berbasis *web*, sehingga pemanfaatannya masih terbatas [9], [10].

EfficientNetB0 dipilih sebagai arsitektur utama karena menawarkan keseimbangan optimal antara akurasi dan efisiensi komputasi. Arsitektur ini memastikan keseimbangan optimal antara dimensi kedalaman, lebar, dan resolusi jaringan, sehingga sangat efektif untuk tugas klasifikasi limbah di mana kemiripan visual antar kelas membutuhkan kemampuan ekstraksi fitur yang kuat [11]. Varian ini menggunakan *block* MBConv untuk memaksimalkan performa sambil menjaga model tetap ringan. Meskipun memiliki akurasi sedikit lebih rendah dibandingkan varian B1–B7 [12], pemanfaatan *transfer learning* dari *ImageNet* mempercepat proses pelatihan dan meningkatkan akurasi klasifikasi sampah, sedangkan penghilangan lapisan klasifikasi teratas (*include_top=False*) memungkinkan EfficientNetB0 berfungsi sebagai *feature extraction* yang fleksibel. Pemilihan EfficientNetB0 dalam penelitian ini didasarkan pada kebutuhan sistem yang tidak hanya memiliki kemampuan klasifikasi yang baik, tetapi juga dapat diimplementasikan secara praktis pada aplikasi berbasis *web*. Model ini memiliki kompleksitas yang lebih ringan sehingga memungkinkan proses prediksi dilakukan dengan waktu yang lebih cepat dan penggunaan sumber daya yang lebih efisien. Hal ini menjadi penting karena sistem

dirancang untuk digunakan secara langsung oleh pengguna dalam proses identifikasi sampah.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem klasifikasi sampah berbasis *transfer learning* menggunakan arsitektur EfficientNetB0 yang dapat mengenali jenis sampah pada tingkat sub-kelas dan memetakannya ke dalam kategori organik dan anorganik. Sistem juga menyediakan informasi tingkat kepercayaan prediksi serta riwayat klasifikasi melalui antarmuka berbasis *web*, sehingga diharapkan dapat membantu proses klasifikasi dan mempermudah proses pengelolaan jenis sampah dengan efisien.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini adalah sistem klasifikasi sampah yang ada saat ini umumnya hanya mampu membedakan kategori besar seperti organik dan anorganik tanpa mengidentifikasi sub-kelas material secara spesifik, sehingga meningkatkan risiko pencampuran antar jenis sampah (kontaminasi silang) yang dapat menurunkan kualitas hasil daur ulang dan menyulitkan proses pengolahan selanjutnya.

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem klasifikasi sampah berbasis *transfer learning* menggunakan arsitektur EfficientNetB0 yang mampu mengidentifikasi jenis sampah pada tingkat sub-kelas serta mengelompokkannya ke dalam kategori organik dan anorganik dalam suatu sistem berbasis *web*.

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi akademisi, memperluas kajian *Computer Vision* dan *deep learning* melalui implementasi *transfer learning* EfficientNetB0 untuk klasifikasi jenis sampah pada tingkat sub-kelas, serta menjadi referensi untuk penelitian klasifikasi objek serupa.
2. Bagi pemerintah dan pengelola sampah, memberikan solusi untuk meningkatkan efisiensi pemilahan sejak dari sumber serta mempermudah pelaksanaan pengelolaan sampah.
3. Bagi pengguna sistem, menyediakan sarana identifikasi jenis sampah pada tingkat sub-kelas yang dipetakan ke dalam kategori organik dan anorganik, sehingga proses pemilahan dapat dilakukan lebih mudah dalam lingkup penggunaan lokal.

1.5 Ruang Lingkup

Penelitian ini memiliki beberapa batasan sebagai berikut:

1. *Dataset* yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari sumber publik dalam bentuk arsip ZIP, yang bersumber dari platform:
 - a. *Kaggle* (<https://www.kaggle.com/code/kairess/garbage-classification>)
 - b. *GitHub* (<https://github.com/main/dataset/organik>)
2. Klasifikasi mencakup 10 sub-kelas sampah yang dikelompokkan menjadi 2 kategori utama yaitu:
 - a. Organik (Buah, Bunga, Daging, Daun, Makanan)
 - b. Anorganik (*Cardboard, Glass, Metal, Paper, Plastic*).
3. *Dataset* organik (Buah, Bunga, Daging, Daun, Makanan) dan anorganik (*Cardboard, Glass, Metal, Paper, Plastic*) yang digunakan berupa citra material dalam kondisi utuh, bukan sampah yang telah tercampur atau berubah kondisi, karena penelitian ini berfokus pada pengenalan jenis material sebelum menjadi sampah.
4. Penelitian ini berfokus pada klasifikasi jenis sampah sesuai label *dataset*, tanpa mengevaluasi kelayakan sampah untuk didaur ulang secara nyata.
5. Proses klasifikasi hanya mencakup citra tunggal per sesi klasifikasi.
6. Aplikasi *web* dijalankan secara lokal menggunakan *Flask* dan diakses melalui <http://127.0.0.1:5000>, tanpa *deployment* ke *server* publik.
7. Sistem *web* hanya menerima *input* berupa unggah *file* gambar (JPG/PNG) dan belum mendukung pengambilan citra langsung dari kamera (*live capture*).
8. Sistem tidak menyediakan fitur autentikasi pengguna atau manajemen akun (*multi-user*).
9. Evaluasi model menggunakan *confusion matrix* pada data validasi dan data uji untuk menghasilkan metrik *accuracy, precision, recall*, dan *F1-score* pada setiap kelas.
10. Augmentasi data tidak digunakan untuk menambah jumlah *dataset*, tetapi untuk menghasilkan variasi citra dari data yang sama pada setiap *epoch* sehingga model memperoleh keragaman data tanpa penambahan data baru.