

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Permasalahan sampah di Kabupaten Tangerang masih menjadi isu lingkungan yang penting karena tingginya timbulan sampah belum sebanding dengan kapasitas pengelolaannya. Berdasarkan data SIPSN KLHK yang dikutip oleh Databoks, Kabupaten Tangerang menjadi daerah dengan timbulan sampah terbesar di Provinsi Banten pada tahun 2022, yaitu sekitar 841,49 ribu ton per tahun atau 2.305 ton per hari [1]. Kondisi tersebut juga diperkuat oleh data DLHK Kabupaten Tangerang tahun 2026 yang menunjukkan estimasi volume sampah mencapai sekitar 2.700 ton per hari, sementara sampah yang mampu diangkut hanya sekitar 1.200 hingga 1.300 ton per hari [2]. Kesenjangan antara laju produksi dan daya angkut tersebut berdampak langsung pada fasilitas penampungan utama, yaitu TPA Jatiwaringin, yang dilaporkan mengalami kelebihan kapasitas (*overcapacity*) karena 28 dari total 33 hektare area pengolahannya telah terisi penuh [3].

Rendahnya efektivitas pengelolaan sampah juga terlihat dari data resmi SIPSN KLHK yang menunjukkan bahwa persentase sampah terkelola di Kabupaten Tangerang masih sangat rendah, yaitu sekitar 0,04% [4]. Kondisi tersebut menjadi perhatian khusus, terutama pada sampah anorganik seperti plastik, kertas, logam, kaca, kain, dan karet yang memiliki potensi untuk dipilah, digunakan kembali, dan didaur ulang [5]. Namun, proses pemilahan secara manual membutuhkan tenaga dan ketelitian karena sampah memiliki bentuk, warna, tekstur, ukuran, serta kondisi fisik yang beragam. Oleh karena itu, teknologi klasifikasi citra berbasis *deep learning* dapat digunakan untuk membantu proses identifikasi sampah anorganik secara otomatis berdasarkan karakteristik visualnya.

Klasifikasi sampah berbasis citra telah menjadi salah satu pendekatan yang banyak diteliti, terutama melalui penggunaan *deep learning* dan *transfer learning*. Model ringan seperti MobileNetV2 telah digunakan untuk klasifikasi sampah domestik dan memperoleh *accuracy* sebesar 82,92% [6]. EfficientNet-B0 juga menunjukkan performa yang kompetitif pada klasifikasi enam kelas sampah dengan *accuracy* sebesar 91,94% dan *F1-score* sebesar 91,96% [7]. Pengembangan lain dilakukan dengan membandingkan EfficientNet-B0, EfficientNet-B2, EfficientNet-B3, dan EfficientNet-B4, dengan hasil terbaik sebesar 93% pada EfficientNet-

B0 dan EfficientNet-B2 [8]. Selain itu, pendekatan *hybrid* dan *ensemble CNN* juga telah digunakan untuk meningkatkan performa klasifikasi, dengan hasil terbaik mencapai *accuracy* sebesar 98,29% melalui metode *stacking ensemble* [9]. Berdasarkan penelitian tersebut, pengembangan klasifikasi sampah berbasis citra umumnya masih berfokus pada pemilihan arsitektur, penggunaan *transfer learning*, dan penggabungan beberapa model untuk meningkatkan akurasi.

Meskipun memperoleh performa yang tinggi, sebagian besar pendekatan klasifikasi tersebut masih menggunakan satu label untuk setiap citra. Pendekatan tersebut belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi nyata pada lingkungan bank sampah karena satu citra dapat memuat beberapa objek dari kelas yang berbeda secara bersamaan. Objek-objek tersebut dapat berada dalam posisi berdekatan, bertumpuk, atau saling menutupi. Oleh karena itu, pendekatan klasifikasi *multi-label* diperlukan agar model dapat menghasilkan lebih dari satu label kelas pada satu citra. Pada klasifikasi *multi-label*, setiap kelas diprediksi secara independen sehingga keberadaan beberapa jenis sampah dalam satu citra dapat dikenali secara bersamaan [10]. Penelitian lain juga telah menggunakan beberapa arsitektur CNN, termasuk EfficientNet-B0, untuk melakukan klasifikasi *multi-label* pada citra yang memuat beberapa objek sampah [11].

Sejalan dengan perkembangan tersebut, pemilihan arsitektur klasifikasi dan segmentasi menjadi aspek penting dalam membangun sistem pengenalan sampah anorganik. EfficientNet-B0 dipilih karena memiliki keseimbangan antara akurasi dan efisiensi komputasi melalui pendekatan *compound scaling* [12]. Penerapan EfficientNet-B0 pada klasifikasi penyakit daun apel dan tumor otak berbasis citra MRI menunjukkan bahwa model tersebut mampu mengenali pola visual dengan kebutuhan komputasi yang relatif ringan [13], [14]. Sementara itu, U-Net banyak digunakan pada tugas segmentasi citra karena memiliki struktur *encoder-decoder* dan *skip connection* yang mampu mempertahankan informasi spasial objek [15]. Penggunaan U-Net dan variannya pada citra medis dan *remote sensing* juga menunjukkan bahwa arsitektur tersebut dapat digunakan untuk memisahkan area objek dan latar belakang secara efektif [16], [17].

Pada citra yang memuat beberapa jenis sampah, segmentasi biner hanya dapat membedakan seluruh area sampah dari latar belakang tanpa menunjukkan kelas setiap area objek. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan segmentasi semantik multikelas agar setiap piksel objek dapat dipetakan ke dalam kelas sampah yang sesuai. Pendekatan segmentasi semantik pada citra sampah telah diterapkan untuk menangani objek dari berbagai kategori yang padat, terdistorsi, dan saling

tumpang tindih [18]. Hasil segmentasi multikelas selanjutnya tidak digunakan secara langsung sebagai hasil klasifikasi, tetapi seluruh kelas objek digabungkan menjadi area *foreground*. Area tersebut digunakan untuk melakukan *masking* dan *cropping* terhadap citra RGB sehingga informasi latar belakang dapat dikurangi sebelum citra diklasifikasikan menggunakan EfficientNet-B0.

Kondisi latar belakang menjadi salah satu aspek yang perlu diperhatikan dalam klasifikasi sampah berbasis citra. Pada citra dengan latar belakang seragam dan posisi objek yang terkontrol, objek relatif mudah dibedakan dari area sekitarnya. Sebaliknya, citra yang diperoleh dari lingkungan bank sampah dapat memiliki variasi pencahayaan, posisi objek, ukuran objek, tingkat tumpang tindih, serta latar belakang yang lebih kompleks. Berdasarkan penelitian terdahulu, klasifikasi *multi-label* telah digunakan untuk mengenali beberapa jenis sampah dalam satu citra dan segmentasi semantik telah digunakan untuk memetakan area objek pada tingkat piksel. Namun, kajian yang secara khusus mengevaluasi pengaruh segmentasi semantik multikelas U-Net sebagai tahap prapemrosesan melalui proses *masking* dan *cropping* terhadap kinerja EfficientNet-B0 dalam klasifikasi *multi-label* sampah anorganik berbasis data primer dari bank sampah masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini membandingkan EfficientNet-B0 tanpa segmentasi dan EfficientNet-B0 dengan prapemrosesan segmentasi U-Net untuk mengetahui pengaruh pengurangan informasi latar belakang terhadap kinerja klasifikasi *multi-label*.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana kinerja EfficientNet-B0 dalam melakukan klasifikasi *multi-label* terhadap lima kelas sampah anorganik pada citra yang memuat dua objek dari dua kelas berbeda tanpa prapemrosesan segmentasi?
2. Bagaimana kinerja U-Net dalam melakukan segmentasi semantik multikelas terhadap area dua kelas sampah anorganik dan area latar belakang pada satu citra?
3. Bagaimana pengaruh prapemrosesan segmentasi semantik multikelas U-Net melalui proses *masking* dan *cropping* terhadap kinerja klasifikasi *multi-label* EfficientNet-B0 dibandingkan dengan klasifikasi tanpa segmentasi?

1.3 Batasan Permasalahan

1. Data penelitian merupakan data primer berupa citra sampah anorganik yang diperoleh dari lingkungan Bank Sampah Tzu Chi Tangerang.
2. Penelitian dibatasi pada lima kelas sampah anorganik, yaitu botol kaca, botol plastik kemasan tebal, botol plastik tipis, kaleng, dan kemasan plastik.
3. Setiap citra pada dataset utama memuat dua objek dari dua kelas sampah yang berbeda sehingga setiap citra memiliki dua label aktif.
4. Segmentasi dilakukan menggunakan U-Net dengan pendekatan segmentasi semantik multikelas yang terdiri dari lima kelas objek dan satu kelas latar belakang.
5. Segmentasi semantik tidak digunakan untuk menghitung jumlah objek dan tidak membedakan identitas setiap objek yang berasal dari kelas yang sama. Penelitian ini tidak melakukan deteksi objek maupun *instance segmentation*.
6. Hasil segmentasi multikelas digunakan untuk membentuk *mask foreground* gabungan. Mask tersebut digunakan dalam proses *masking* dan *cropping* terhadap citra RGB sebelum proses klasifikasi.
7. Mask multikelas yang menggunakan warna sebagai representasi kelas hanya digunakan untuk evaluasi dan visualisasi segmentasi serta tidak diberikan secara langsung sebagai masukan EfficientNet-B0.
8. Model klasifikasi yang digunakan adalah EfficientNet-B0 dengan pendekatan klasifikasi *multi-label*. Setiap kelas diprediksi secara independen menggunakan fungsi aktivasi sigmoid.
9. Penelitian membandingkan dua skenario, yaitu EfficientNet-B0 tanpa segmentasi dan EfficientNet-B0 dengan prapemrosesan segmentasi U-Net. Kedua skenario menggunakan citra sumber, pembagian dataset, label, dan konfigurasi pelatihan yang sama.
10. Evaluasi segmentasi menggunakan metrik *Intersection over Union*, *Dice coefficient*, dan nilai rata-rata antarkelas. Evaluasi klasifikasi menggunakan *precision*, *recall*, *micro F1-score*, *macro F1-score*, *mean average precision*, *Hamming loss*, dan *subset accuracy*.

11. Penelitian difokuskan pada evaluasi model dan belum mencakup implementasi sistem klasifikasi secara langsung pada perangkat produksi atau sistem pemilahan sampah otomatis.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan membangun model EfficientNet-B0 untuk melakukan klasifikasi *multi-label* terhadap lima kelas sampah anorganik. Setiap citra memuat dua objek yang berasal dari dua kelas berbeda sehingga memiliki dua label aktif. Penelitian ini juga menerapkan segmentasi semantik multikelas menggunakan U-Net untuk menghasilkan area segmentasi setiap kelas sampah dan area latar belakang. Hasil segmentasi kemudian digunakan dalam proses *masking* dan *cropping* untuk membentuk citra masukan yang lebih berfokus pada objek sampah. Selanjutnya, pengaruh prapemrosesan segmentasi U-Net dievaluasi dengan membandingkan kinerja klasifikasi *multi-label* EfficientNet-B0 pada skenario tanpa segmentasi dan skenario dengan segmentasi.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat secara teoretis dan praktis. Secara teoretis, penelitian ini dapat menambah kajian di bidang *computer vision* dan *deep learning*, khususnya mengenai penggunaan segmentasi semantik multikelas sebagai tahap prapemrosesan pada klasifikasi *multi-label*. Penelitian ini juga dapat memberikan informasi mengenai pembagian fungsi U-Net untuk menentukan area kelas pada tingkat piksel dan EfficientNet-B0 untuk memprediksi keberadaan kelas pada tingkat citra, serta pengaruh proses *masking* dan *cropping* terhadap kinerja klasifikasi. Secara praktis, hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi awal dalam pengembangan sistem identifikasi sampah yang mampu mengenali beberapa jenis sampah dalam satu citra untuk mendukung proses pemilahan pada bank sampah, fasilitas daur ulang, dan lingkungan pengelolaan sampah lainnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan menjelaskan susunan pembahasan dalam laporan penelitian yang terdiri atas lima bab. Adapun sistematika penulisan laporan ini adalah sebagai berikut.

- **Bab 1 PENDAHULUAN**

Bab ini membahas latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan permasalahan, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

- **Bab 2 LANDASAN TEORI**

Bab ini membahas penelitian terdahulu dan landasan teori yang mendukung penelitian, meliputi sampah anorganik, klasifikasi citra *multi-label*, segmentasi semantik multikelas, *Convolutional Neural Network*, *transfer learning*, EfficientNet-B0, U-Net, serta metrik evaluasi model klasifikasi dan segmentasi.

- **Bab 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan metodologi penelitian yang meliputi tahapan penelitian, pengumpulan data primer, pemeriksaan dan pembersihan data, anotasi *multi-label* dan segmentasi, pembagian dataset, penyesuaian citra dan augmentasi, konfigurasi model, proses *masking* dan *cropping*, skenario pelatihan, serta metode evaluasi dan perbandingan hasil.

- **Bab 4 HASIL DAN DISKUSI**

Bab ini menyajikan hasil eksperimen dan pembahasan mengenai dataset, pelatihan serta evaluasi segmentasi semantik multikelas U-Net, hasil prapemrosesan *masking* dan *cropping*, serta perbandingan kinerja klasifikasi *multi-label* EfficientNet-B0 tanpa segmentasi dan dengan prapemrosesan segmentasi U-Net.

- **Bab 5 SIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini memuat simpulan yang disusun berdasarkan hasil penelitian dan jawaban terhadap rumusan masalah, serta saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.