

BAB III

ANALISIS DAN PERANCANGAN

3.1 Analisis

3.1.1 Identifikasi Masalah

Di Indonesia, pemilahan sampah masih menjadi tantangan besar dalam upaya pengelolaan limbah yang efektif dan berkelanjutan. Rendahnya tingkat pemisahan sampah di sumbernya menyebabkan campuran antara sampah organik dan anorganik di tempat pembuangan akhir (TPA), sehingga menghambat proses daur ulang. Bahan-bahan yang seharusnya dapat didaur ulang, seperti kertas, plastik, dan logam, sering kali tercemar oleh sampah organik dan akhirnya tidak layak didaur ulang. Hal ini mempercepat penumpukan sampah di TPA dan memperparah permasalahan lingkungan di kota-kota besar.

Salah satu penyebabnya adalah minimnya teknologi otomatis yang dapat membantu proses pemilahan secara tepat dan efisien. Saat ini, pemilahan sebagian besar masih dilakukan secara manual atau hanya terbatas pada dua kategori utama (organik dan anorganik), yang belum cukup efektif untuk mendukung sistem daur ulang material yang kompleks.

3.1.2 Pemecahan Masalah

Sebagai langkah awal untuk mengatasi masalah pemilahan sampah, penelitian ini mengembangkan sistem identifikasi benda menggunakan model Vision Transformer (ViT) yang mampu mengklasifikasikan sampah ke dalam 12 kategori secara otomatis berdasarkan citra kamera. Model ini dilatih dengan data gambar dari berbagai jenis sampah seperti Battery, Biological, Brown-glass, Cardboard, Clothes, Green-glass, Metal, Paper, Plastic, Shoes, White-glass, dan Trash.

Meskipun sistem fisik secara keseluruhan (seperti conveyor, lengan diverter, dan motor servo) belum sepenuhnya terimplementasi, penelitian ini telah berhasil membangun dan menguji model klasifikasi berbasis ViT secara lokal, yang dapat digunakan sebagai inti dari sistem pemilah otomatis di masa depan. Sistem ini dirancang agar dapat diintegrasikan langsung dengan perangkat seperti ESP32-CAM, sehingga memungkinkan klasifikasi secara real-time dari perangkat keras tanpa ketergantungan pada web service atau platform eksternal. Dengan pendekatan ini, diharapkan sistem dapat dikembangkan lebih lanjut menjadi prototipe fungsional yang efisien, akurat, dan scalable untuk mendukung program pengelolaan sampah berkelanjutan.

Tabel 3. 1 Identifikasi dan Pemecahan Masalah

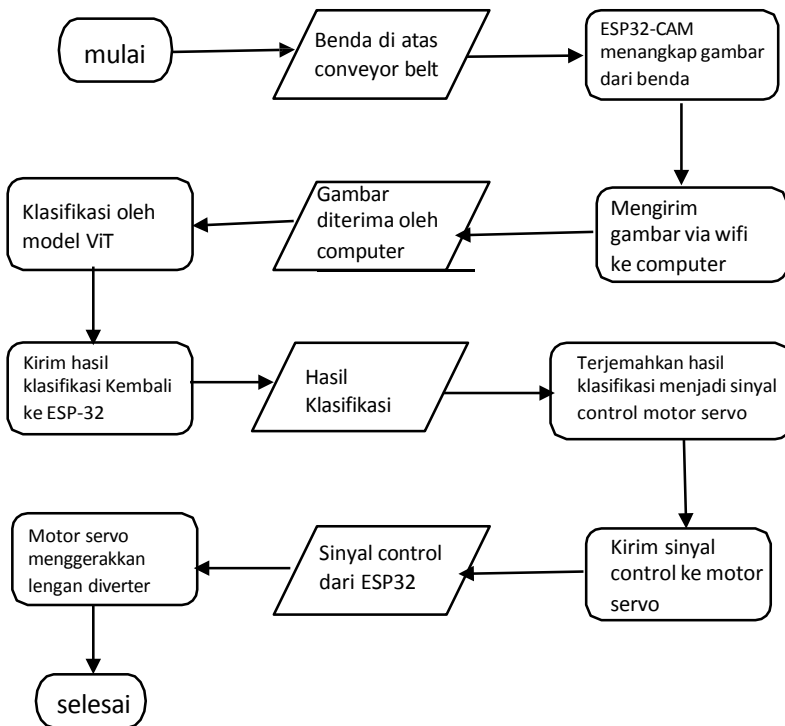
Permasalahan	Akibat	Solusi
Sampah tidak dipisahkan secara kategori (misalnya: baterai, kaca, plastik, logam, dll.) di sumbernya	Daur ulang menjadi tidak optimal; bahan daur ulang tercampur sehingga sulit diproses	Mengembangkan sistem klasifikasi gambar menggunakan Vision Transformer (ViT) untuk mengidentifikasi 12 kategori sampah secara otomatis
Sistem klasifikasi sampah sebelumnya hanya mendukung 2–3 kategori atau terbatas pada jenis sampah	Kurang efektif untuk kebutuhan daur ulang skala besar dengan banyak jenis material	Meningkatkan kompleksitas klasifikasi hingga 12 kelas dengan model ViT untuk akurasi dan generalisasi lebih baik

Permasalahan	Akibat	Solusi
kantor/organik-anorganik		
Penggunaan metode deteksi sebelumnya masih terbatas pada CNN/SVM dan berbasis cloud/web service	Ketergantungan koneksi internet, waktu respons lambat, dan tidak cocok untuk sistem real-time pada perangkat lokal	Mengembangkan sistem klasifikasi berbasis ViT yang dapat berjalan di perangkat lokal, mendekati real-time
Belum tersedia integrasi antara hasil klasifikasi dan sistem fisik pemilah sampah (conveyor, servo, dll.)	Proses pemilahan masih manual dan tidak efisien	(Rencana ke depan) Integrasi model ViT dengan kontrol motor servo untuk mengarahkan sampah ke wadah sesuai klasifikasi

3.2 Perancangan

3.2.1 Perancangan Sistem

Pada perancangan sistem ini proses pemilahan sampah akan dikembangkan menjadi sistem otomatis berbasis Vision Transformer (ViT). Sistem yang dikembangkan bertujuan untuk dapat memilah sampah ke dalam 12 kategori. Berikut adalah flowchart alat pada penelitian ini:



Gambar 3. 1 Flowchart Alat

Proses dimulai dengan penempatan sampah di atas konveyor yang bergerak. Kamera ESP32-CAM kemudian menangkap gambar sampah tersebut, dan gambar ini dikirimkan melalui koneksi WiFi ke komputer atau server untuk dianalisis lebih lanjut. Setelah gambar diterima oleh komputer, model Vision Transformer (ViT) memproses gambar tersebut untuk mengidentifikasi kategori sampah yang sesuai, seperti plastik, kertas, atau logam. Hasil klasifikasi dari ViT kemudian dikirimkan kembali ke ESP32-CAM atau komponen kontrol sistem, yang menerjemahkannya menjadi sinyal kontrol bagi motor servo. Motor servo menggerakkan lengan diverter untuk mengarahkan sampah ke tempat yang sesuai sesuai dengan kategorinya. Setelah sampah dipisahkan, akan memproses sampah berikutnya.

Proses pembuatan model klasifikasi sampah dengan Vision Transformer (ViT) dimulai dengan inisialisasi parameter untuk pengolahan data dan pelatihan model. Dataset gambar sampah kemudian dikumpulkan dan dilabeli berdasarkan kelas masing-masing, sehingga model dapat belajar mengenali setiap jenis sampah. Setelah itu, dilakukan augmentasi pada dataset untuk meningkatkan variasi gambar melalui proses seperti rotasi, skala, atau flipping, yang diikuti dengan normalisasi untuk menyesuaikan skala nilai piksel. Langkah berikutnya adalah mengubah ukuran gambar (resize) agar sesuai dengan dimensi input yang dibutuhkan oleh model.

Dataset yang sudah diproses dibagi menjadi tiga bagian: training set untuk melatih model, validation set untuk mengevaluasi performa model selama pelatihan, dan testing set untuk pengujian akhir setelah pelatihan selesai. Model ViT kemudian diinisialisasi dengan konfigurasi arsitektur yang meliputi lapisan dan pengaturan hyperparameter seperti batch size, learning rate, dan epoch. Pada tahap ini, model dilatih menggunakan training set dan dievaluasi dengan validation set untuk memastikan model belajar dengan baik.

Setelah pelatihan selesai, model yang telah dilatih disimpan dalam format file (.h5).

3.2.2 Perancangan Data



Gambar 3. 2 Gambar Perancangan Entity Relationship Diagram (ERD) pada Sistem Klasifikasi

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3 perancangan data penelitian ini akan menggunakan beberapa data entitas dan relasinya, yaitu:

- Kategori_Sampah dengan attribute: `id_kategori`, `nama_kategori`, dan `deskripsi`
- Gambar_Sampah dengan attribute: `id_gambar`, `gambar`, `tanggal_diambil`, dan `id_kategori`
- Hasil_Klasifikasi dengan attribute: `id_hasil`, `id_gambar`, `prediksi_kategori`, dan `akurasi`
- Relasi yaitu Kategori_Sampah one to many dengan Gambar_Sampah,
- Dan relasi Gambar_Sampah one to one dengan Hasil_Klasifikasi.

Untuk komposisi dataset, karakteristik dataset diperoleh dari Kaggle yang berisi gambar gambar sampah yang dibagi menjadi 12 kategori di dalam 12 folder. Pembagian dataset untuk training dan validasi umumnya

dilakukan dengan rasio 90% data digunakan untuk training dan 10% untuk validasi. Pembagian gambar dari tiap folder untuk training dan validasi adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Distribusi Gambar pada Dataset

Folder	Total Gambar (gambar)	Jumlah Gambar untuk Training (gambar)	Jumlah Gambar untuk Validasi (gambar)
Battery	945	851	94
Biological	985	887	98
Brown-glass	607	547	60
Cardboard	891	812	89
Clothes	5325	4793	532
Green-glass	629	567	62
Metal	769	693	76
Paper	1050	945	105
Plastic	865	779	86
Shoes	1977	1780	197
White-glass	775	698	77
Trash	697	628	69

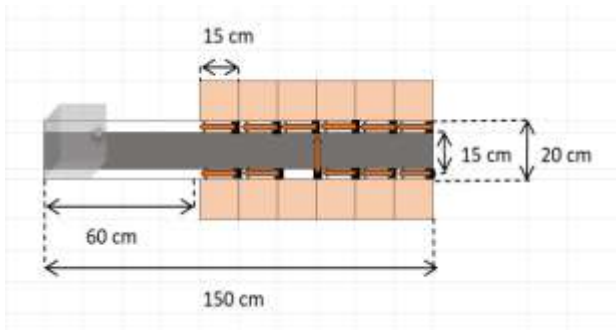
Dikarenakan jumlah gambar di tiap kategori sampah tidak seimbang menyebabkan dataset menjadi unbalance. Untuk itu akan dilakukan penambahan atau pengurangan gambar untuk menyeimbangkan.

3.2.3 Perancangan User Interface / *Mock-up* aplikasi dan Prototype

Prototype dirancang dengan bahan-bahan yaitu:

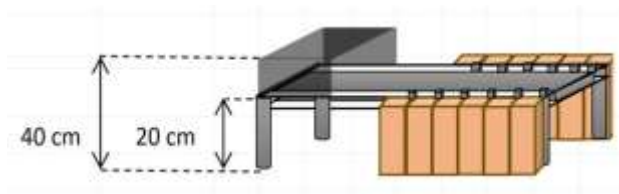
- 12 kotak sampah berukuran 15x15x20 cm
- Conveyor belt sepanjang 150 cm atau 1,5 m dengan lebar belt 15 cm dan lebar kerangka adalah 20 cm, dengan tinggi 20 cm
- 12 motor servo

- Dan kerangka berbentuk kubus dengan rusuk 20 cm untuk penempatan ESP32-CAM dan beberapa komponen lainnya.



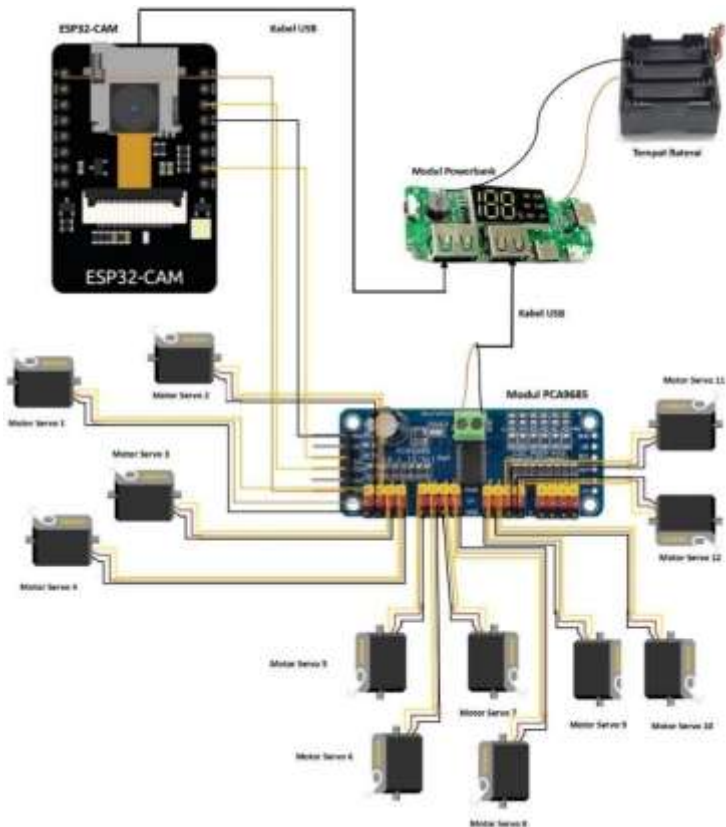
Gambar 3. 3 Sketsa Tampak Atas

Pada gambar 3 4 adalah sketsa prototype dilihat dari atas. Terdapat 6 tempat sampah yang akan dipasang di kanan dan kiri conveyor belt. Lalu 12 motor servo yang menggerakkan lengan diverter dipasang di depan masing-masing tempat sampah. Modul kamera ESP32-CAM dan beberapa komponen lainnya dipasang di kerangka kubus yang dipasang di atas kerangka conveyor belt di salah satu ujungnya.



Gambar 3. 4 Sketsa Tampak Samping

Pada gambar 3.3 adalah sketsa prototype yang menjelaskan penampakan susunan dari samping.



Gambar 3. 5 Skematik Prototype

Pada gambar 3.6 dijelaskan bagaimana susunan komponen prototype yang terdiri dari: ESP32-CAM yang terhubung dengan 12 motor servo melalui Modul PCA9685, hal ini disebabkan karena ESP32-CAM tidak memiliki channel yang cukup untuk 12 Motor Servo, sehingga dibutuhkan PCA9685 untuk menangani masalah tersebut. Masing-masing Motor Servo dari 1-12 akan terhubung ke channel 0-11 pada PCA9685. Sedangkan untuk aliran daya berasal dari modul powerbank yang akan dihubungkan ke ESP32-

CAM dan Modul PCA9685. 12 Motor Servo akan mendapatkan daya dari Modul PCA9685.

3.3 Rancangan Evaluasi Hasil Klasifikasi

Pengujian sistem pemilah sampah otomatis dilakukan dengan metode evaluasi hasil klasifikasi. Evaluasi ini berfokus pada performa model dalam mengenali kategori sampah berdasarkan input gambar yang diberikan, tanpa memperhatikan struktur internal dari model. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa sistem mampu memberikan output klasifikasi sesuai label sebenarnya dan dapat diukur tingkat akurasinya.

Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan menggunakan data uji dari 12 kategori sampah (Battery, Biological, Brown-glass, Cardboard, Clothes, Green-glass, Metal, Paper, Plastic, Shoes, White-glass, Trash). Setiap model yang digunakan diuji pada sejumlah epoch pelatihan untuk melihat perbandingan performanya. Hasil pengujian dicatat dalam bentuk jumlah prediksi benar dan salah, kemudian dihitung nilai akurasi. Format rancangan evaluasi ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 3. 3 Format Pengujian Black Box Testing

No	Model	Jumlah Epoch	Jumlah Pengujian	Prediksi Benar	Prediksi Salah	Akurasi (%)
1
2
...

Keterangan:

- Model: Versi model yang diuji (misalnya *Model Awal (Kaggle)* atau *Model Perbaikan (Kaggle + Lokal)*).
- Jumlah Epoch: Iterasi pelatihan model.
- Jumlah Pengujian: Total data uji yang digunakan.
- Prediksi Benar: Banyaknya data yang berhasil diklasifikasikan sesuai label.
- Prediksi Salah: Banyaknya data yang salah klasifikasi.

- Akurasi: Persentase ketepatan model yang dihitung dengan rumus:

$$Akurasi = \frac{Prediksi\ Benar}{Jumlah\ Pengujian} \times 100\%$$

Dengan rancangan evaluasi ini, setiap hasil klasifikasi yang diperoleh dari pengujian model dapat terdokumentasi secara sistematis.