

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pengolahan sampah merupakan salah satu permasalahan yang tak kunjung dapat diselesaikan di Indonesia. Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) tahun 2023, tercatat timbulan sampah mencapai 37,3 juta ton/tahun, namun hanya 32,2% yang berhasil dikelola, sehingga terdapat sekitar 67,8% sampah yang tidak terkelola [1]. Dari total timbulan tersebut, sampah rumah tangga menempati peringkat pertama sebagai penyumbang terbesar, yakni mencapai 46,8%. Berdasarkan jenisnya, sampah organik menempati komposisi tertinggi yang disusul oleh sampah plastik sebesar 19,48%. Besarnya volume sampah yang tidak terkelola ini tentu membawa dampak negatif karena berpotensi mencemari lingkungan dan menimbulkan berbagai masalah kesehatan[2].

Salah satu faktor utama penyebab rendahnya persentase pengelolaan sampah adalah minimnya aktivitas pemilahan sampah dari sumbernya. Pada penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa infrastruktur pengelolaan sampah yang kurang memadai serta rendahnya tingkat kepedulian masyarakat terhadap urgensi pemilahan sampah menjadi penghambat utama[2]. Sebagian besar sampah rumah tangga dan fasilitas umum masih dibuang dalam keadaan tercampur. Kondisi ini menyebabkan sampah anorganik yang bernilai ekonomi tinggi seperti botol plastik dan kaleng terkontaminasi oleh sampah organik atau residu lainnya, sehingga menurunkan kualitas material daur ulang dan mempersulit proses pengolahan lanjut di Tempat

Pemrosesan Akhir (TPA). Selain itu pemilahan sampah yang dilakukan oleh Masyarakat dinilai kurang begitu ketat, hal ini dikarenakan Tingkat kesadaran individu yang kurang dan keterbatasan pengetahuan akan klasifikasi dari jenis sampah[3].

Secara spesifik, sampah kemasan minuman seperti botol plastik (PET) dan kaleng merupakan jenis sampah anorganik yang volumenya terus meningkat seiring gaya hidup masyarakat modern. Pemisahan kategori antara botol plastik bening dan berwarna menjadi krusial karena adanya disparitas nilai ekonomi dan kegunaan di industri daur ulang. Botol PET bening memiliki nilai jual yang lebih tinggi dibandingkan PET berwarna karena fleksibilitas pemanfaatannya sebagai bahan baku daur ulang yang lebih luas[4]. Hal ini dipertegas oleh penelitian life cycle assessment pada material PET yang membuktikan bahwa pemilahan yang tepat sangat menentukan nilai ekonomi material dan efisiensi jalur daur ulang, di mana regulasi pemilahan yang ketat terbukti meningkatkan efisiensi proses secara signifikan[5]. Di sisi lain, kaleng aluminium memiliki karakteristik dapat didaur ulang tanpa bata tanpa penurunan kualitas material, serta membutuhkan energi daur ulang 95% lebih rendah dibandingkan produksi aluminium primer[6]. Oleh karena itu, dibutuhkan intervensi teknologi untuk mengotomatisasi proses tersebut.

Seiring dengan perkembangan teknologi, khususnya dalam bidang *Artificial Intelligence*, kini telah memungkinkan pengembangan sistem pemilah sampah berbasis citra digital. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan adalah *Deep Learning* dengan arsitektur *Convolutional Neural Network* (CNN), yang dirancang untuk meniru mekanisme pemrosesan visual manusia.

Metode ini mampu mengekstraksi fitur visual penting seperti tepi, tekstur, bentuk, dan warna, sehingga dapat melakukan klasifikasi objek dengan tingkat akurasi yang tinggi. Beberapa penelitian seperti [7], [8], [9] telah membuktikan bahwa teknologi Convolutional Neural Network (CNN) mampu mengklasifikasi sampah dari citra digital dengan akurasi mencapai lebih dari 85–95%. Lebih lanjut, penelitian komparatif terhadap berbagai model deep learning untuk waste classification menunjukkan bahwa pendekatan ini terus berkembang pesat namun mayoritas masih berfokus pada kategori makro tanpa mempertimbangkan aspek nilai ekonomi material [10].

Meskipun penerapan Deep Learning pada sistem pemilah sampah telah banyak diteliti, mayoritas sistem yang ada masih terbatas pada klasifikasi kategori makro, seperti pemisahan organik–anorganik atau sebatas material dasar (plastik, kertas, logam). Pendekatan ini belum mempertimbangkan pengelompokan berdasarkan nilai ekonomi, padahal material seperti botol PET bening dan berwarna memiliki perbedaan harga dan jalur daur ulang yang signifikan. Sebagaimana ditunjukkan oleh penelitian berbasis federated deep learning, material daur ulang sesungguhnya memiliki nilai ekonomi yang signifikan dan plastik dari jenis berbeda membutuhkan penanganan daur ulang yang berbeda pula, sehingga dibutuhkan solusi klasifikasi yang lebih canggih dari sekadar kategori makro [11]. Bahkan penelitian yang menggunakan hingga 28 kategori klasifikasi sampah pun masih belum mempertimbangkan pengelompokan berbasis nilai ekonomi secara eksplisit [12].

Selain itu, sistem yang dikembangkan sebelumnya umumnya hanya berfokus pada fungsi otomasi mekanik dan mengabaikan aspek interaksi dengan pengguna. Tidak adanya fitur edukasi menyebabkan

alat tersebut hanya berfungsi sebagai tempat sampah pintar semata, tanpa memberikan dampak jangka panjang terhadap peningkatan kesadaran atau perubahan perilaku masyarakat dalam memilah sampah. Penelitian pengembangan smart waste bin berbasis pendekatan *people-centred* membuktikan bahwa sistem otomatis saja tidak cukup antarmuka yang intuitif, desain yang berpusat pada pengguna, serta fitur personalisasi terbukti menjadi faktor krusial dalam keberhasilan adopsi sistem oleh masyarakat [13].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem pemilahan sampah berbasis citra menggunakan model *Deep Learning* yang mampu mengklasifikasikan beberapa jenis sampah secara *Real-time*. Sistem ini akan dilengkapi dengan fitur edukasi interaktif berupa tampilan informasi mengenai kategori sampah yang terdeteksi, manfaat pemilahan, serta konsekuensi jika sampah tidak dibuang pada tempatnya. Selain itu, sistem dapat dikembangkan untuk menyesuaikan dataset dengan sampah lokal sehingga meningkatkan akurasi klasifikasi. Dengan adanya sistem ini, diharapkan teknologi pemilahan sampah dapat menjadi lebih efektif sekaligus mendukung peningkatan kesadaran masyarakat dalam pengelolaan sampah yang berkelanjutan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat ditentukan beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana melatih model Deep Learning berbasis arsitektur Convolutional Neural Network (CNN) untuk mengklasifikasikan citra sampah berdasarkan nilai ekonomisnya, seperti botol plastik bening, botol plastik berwarna, kaleng, dan sampah kering lainnya?

2. Bagaimana mengimplementasikan model Deep Learning tersebut pada sistem embedded agar mampu melakukan deteksi dan pemilahan sampah secara real-time dengan tingkat akurasi yang optimal?
3. Bagaimana merancang sistem interaksi pengguna melalui layar TFT yang mampu menampilkan informasi edukatif secara relevan dan dinamis berdasarkan jenis sampah yang terdeteksi?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah yang ditetapkan supaya peralatan dapat bekerja secara optimal yaitu :

1. Penelitian ini berfokus pada pemilahan sampah daur ulang ke dalam empat kategori, yaitu botol plastik bening, botol plastik berwarna, kaleng, dan sampah kering lainnya (kertas, gelas plastik, dan plastik kemasan).
2. Objek penelitian dibatasi pada sampah dengan ukuran tertentu. Untuk botol plastik, volume maksimum yang diperbolehkan adalah 600 ml, dengan dimensi fisik maksimal berupa tinggi 25 cm dan diameter 8 cm. Batasan ini mengacu pada ukuran kemasan botol air mineral yang umum digunakan di masyarakat.
3. Sampah yang dimasukkan ke dalam sistem harus dalam kondisi kosong (bebas cairan) dan memiliki bentuk fisik yang relatif utuh (tidak remuk). Khusus untuk botol plastik, label kemasan harus dilepas untuk menghindari gangguan pada proses deteksi warna.
4. Sistem hanya menerima masukan berupa citra digital yang diperoleh dari kamera yang terhubung dengan Raspberry Pi. Pengambilan citra dilakukan secara real-time dengan memanfaatkan area tertentu atau Region of Interest (ROI).

5. Mekanisme pemilahan sampah dilakukan secara otomatis menggunakan dua motor servo yang dirancang dalam konfigurasi pan-tilt.
6. Objek sampah yang akan diproses harus diletakkan dalam posisi tertidur agar dapat dideteksi dan diklasifikasikan dengan baik oleh sistem.

1.4. Tujuan

Target dari penelitian ini adalah mengembangkan sistem pemilah sampah daur ulang berbasis citra dengan dukungan Raspberry Pi, mekanisme pemilah otomatis, dan tampilan edukatif TFT, dengan tujuan sebagai berikut:

1. Mengembangkan sistem pengenalan jenis sampah berdasarkan citra menggunakan metode Computer Vision berbasis Convolutional Neural Network (CNN)
2. Membangun perangkat pemilah sampah otomatis yang mampu memindahkan sampah ke kategori yang sesuai menggunakan aktuator yang dikendalikan oleh Raspberry Pi.
3. Mengimplementasikan Raspberry Pi sebagai unit pemrosesan utama untuk mengintegrasikan proses pengambilan gambar, klasifikasi sampah, pergerakan aktuator, dan tampilan antarmuka.
4. Menyediakan tampilan edukatif pada layar TFT yang menampilkan informasi terkait jenis sampah yang terdeteksi.
5. Menguji performa sistem secara keseluruhan, meliputi akurasi model klasifikasi, kecepatan proses identifikasi, serta ketepatan mekanisme pemilahan sampah.

1.5. Relevansi

Penelitian ini menghadirkan inovasi tempat sampah pintar (smart trash bin) berbasis Deep Learning yang mampu melakukan pemilahan sampah secara spesifik berdasarkan nilai ekonomis material (botol bening, botol berwarna, kaleng, dan sampah kering lainnya). Selain keunggulan teknis, sistem ini menawarkan pendekatan baru melalui fitur edukasi interaktif, di mana pengguna tidak hanya dimudahkan dalam memilah, tetapi juga diberikan wawasan langsung mengenai dampak sampah yang dibuang. Dengan demikian, inovasi ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penyediaan bahan baku industri daur ulang sekaligus membentuk kesadaran perilaku masyarakat dalam pengelolaan sampah.

1.6. Metodologi Perancangan Alat

1. Studi Literatur

Penelitian ini diawali dengan penelusuran dan analisis berbagai referensi yang berkaitan dengan teknologi pemilahan sampah berbasis citra, penerapan Deep Learning untuk klasifikasi objek, penggunaan Raspberry Pi sebagai pengendali sistem, serta implementasi tampilan edukatif pada media TFT. Hasil kajian ini digunakan sebagai dasar dalam menentukan metode yang digunakan serta spesifikasi sistem yang akan dikembangkan.

2. Perancangan Alat (Perangkat Keras dan Perangkat Lunak).

Pada tahap ini dilakukan perancangan keseluruhan sistem, meliputi:

- Pemilihan dan konfigurasi perangkat keras seperti Raspberry Pi, kamera, motor penggerak pemilah, dan modul TFT.
- Perancangan perangkat lunak termasuk pelatihan model Deep Learning untuk klasifikasi sampah (botol bening, botol berwarna, kaleng, dan lainnya), pemrograman logika pemilah otomatis, serta perancangan tampilan edukatif.

3. Pengujian Alat

Melakukan pengujian terhadap fungsi alat, mencakup akurasi klasifikasi model Deep Learning, kecepatan respon mekanisme pemilah otomatis, keandalan Raspberry Pi dalam pemrosesan citra, serta efektivitas tampilan edukatif pada TFT. Hasil pengujian digunakan untuk mengevaluasi apakah alat telah bekerja sesuai tujuan dan spesifikasi.

4. Penulisan Buku Laporan

Menyusun laporan akhir yang memuat seluruh proses penelitian mulai dari latar belakang, perancangan, implementasi, pengujian, hingga analisis hasil. Tahap ini memastikan dokumentasi lengkap agar penelitian dapat dipertanggungjawabkan secara akademik.

1.7. Sistematika Penulisan

Dalam sistematika penulisan proposal terdapat penjelasan bab-bab yang akan dibahas anatar lain :

BAB I : Pendahuluan, Latar belakang, Perumusan Masalah, Batasan Masalah, Tujuan, Relevansi, Metodologi Perancangan Alat, dan Sistematika penulisan.

- BAB II : Teori Penunjang dan Tinjau Pustakan,
- BAB III : Metode Perencanaan dan Pembuatan Alat, Konsep pembahasan, Langkah pelaksanaan perancangan
- BAB IV : Pengukuan dan Pengujian Alat
- BAB V : Kesimpulan