

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Masalah pengelolaan sampah merupakan isu lingkungan yang semakin mendesak di berbagai belahan dunia, termasuk di Indonesia. Sampah yang tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan kerusakan lingkungan yang serius, seperti pencemaran tanah, air, dan udara [10]. Sebagian besar sampah yang dihasilkan di rumah tangga maupun industri tidak terpilah dengan baik, sehingga proses pembuangannya menjadi lebih sulit dan mahal. Pemilahan sampah yang tepat dapat mengurangi dampak negatif tersebut dan memungkinkan pemanfaatan kembali material yang masih bernilai ekonomi, seperti bahan organik untuk kompos atau bahan plastik yang bisa didaur ulang [1]. Namun, pemilahan sampah secara manual memerlukan tenaga kerja yang besar dan waktu yang tidak efisien, sehingga dibutuhkan solusi teknologi yang lebih efektif [7].

Teknologi robotik dan kecerdasan buatan saat ini menawarkan solusi inovatif untuk mengatasi masalah tersebut. Dengan memanfaatkan kecerdasan buatan, robot dapat diajarkan untuk mengenali berbagai jenis sampah dan memilahnya secara otomatis berdasarkan kategori tertentu, seperti organik dan anorganik [20]. *Arm* robot yang dilengkapi dengan sensor ESP32-CAM dan sistem pembelajaran mesin dapat mengidentifikasi sampah dengan akurasi yang tinggi, bahkan pada sampah yang berbentuk atau memiliki ukuran yang bervariasi. Selain itu, robot pemilah sampah ini juga dapat bekerja tanpa henti, meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya tenaga kerja [7]. Oleh karena itu, implementasi *arm* robot untuk pemilahan sampah berbasis kecerdasan buatan sangat relevan dalam mengatasi masalah sampah di masa depan.

Beberapa penelitian telah dilakukan sebelumnya terkait permasalahan sampah antara lain, Desain tempat sampah cerdas yang dapat membuka tutup secara otomatis ketika ada orang yang hendak membuang sampah, mendeteksi bau untuk mengaktifkan *buzzer* sebagai pemberitahuan bahwa sampah telah mencemari udara, serta memberikan informasi bahwa tempat sampah sudah penuh agar petugas dapat

lebih tepat waktu dalam mengosongkannya [3]. Perancangan prototipe alat pemilah sampah otomatis menghasilkan kesimpulan bahwa sistem pemilahan sampah dapat mengklasifikasikan sampah berdasarkan jenisnya. Namun, masih terdapat masalah seperti terjadinya penyumbatan limbah dan kesalahan deteksi oleh sensor [5]. Desain sistem pemilahan sampah otomatis yang mampu mengklasifikasikan sampah menjadi logam dan non-logam menggunakan sensor induktif dan sensor kapasitif, dengan syarat ukuran sampah lebih dari 5 cm, serta dilengkapi dengan notifikasi suara [4].

Mempertimbangkan permasalahan dan penelitian diatas, mendasari penelitian ini untuk mengembangkan alat yang digunakan sebagai pemilah sampah berupa *arm robot* yang dapat memilah sampah secara otomatis. ESP32-CAM digunakan untuk mendeteksi jenis sampah dan metode Convolutional Neural Network (CNN) yang direkomendasikan atau cocok untuk klasifikasi objek multi-kelas. Pada penelitian terdahulu fokusnya adalah hanya dapat mengenali objek sampah dengan sensor fisik. Sedangkan penelitian ini membuat *arm robot* yang dapat mengklasifikasikan dan mengambil sampah lalu di tempatkan pada tempatnya. Dengan adanya penelitian ini diharapkan akan mengurangi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh sampah, meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya tenaga kerja.

1.2. Tinjauan Penelitian Terdahulu

Penelitian terkait akan mencakup teknologi dan pengetahuan terbaru yang relevan mengenai implementasi *arm robot* untuk pemilah sampah berbasis kecerdasan buatan . Pada langkah ini, peneliti akan diuraikan secara singkat sebagai bentuk penguatan mengapa penelitian itu dilakukan. Referensi *review* penelitian sejenis yang dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1. Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti	Tahun	Judul
1	Faisal Irsan Pasaribu, Marcopolo	2019	Perancangan <i>Prototype</i> Alat Pemilah Sampah Otomatis.
2	Fahmi Alfian.	2019	Rancang Bangun Robot Pemilah Sampah Organik dan Non Organik
3	Eno Febra Wardani, Nelly Khairani Daulay, Muhammad Nur Alamsyah.	2023	<i>Prototype</i> Lengan Robot Pemilah Sampah Organik dan Anorganik.
4	Mariza Wijayanti.	2022	<i>Design and Construction of Smart Garage Using Ultrasonic Sensor HC-SR04 and MQ-2 Gas Sensor Based on Arduino Uno.</i>
5	Muhammad Nabil Aiman Baderul Hisham, Roslan Seman, Zuraidi Saad, Zainal Hisham Che Soh	2025	<i>Solar Panel Defect Detection Using FOMO on Edge Impulse.</i>

Referensi utama pertama [5] menunjukkan bahwa prototype yang dirancang mampu membedakan jenis sampah berdasarkan bahan, dengan pemilahan logam mencapai akurasi terbaik berkat penggunaan sensor logam. Namun, pemilahan untuk jenis sampah lainnya masih mengalami kesalahan, seperti deteksi yang tidak akurat dan sampah yang tersangkut di dalam alat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa meskipun alat dapat mengidentifikasi sampah logam, organik, kertas, dan plastik, masih diperlukan pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi alat, termasuk perancangan desain yang lebih baik dan penggunaan sensor yang lebih canggih untuk mendeteksi sampah dengan ukuran beragam.

Referensi utama kedua [7] membahas rancang bangun robot pemilah sampah organik dan non organik dengan *machine learning* terdiri dari beberapa hardware

seperti *usbcam* dan motor servo yang terhubung pada raspberry pi sebagai otak utama. Robot pemilah sampah menggunakan fungsi *usbcam* dan *tensorflow* yang telah terinstall pada raspberry pi untuk mengambil gambar berupa foto atau video melalui *usbcam*. Robot ini juga dapat digunakan dengan tingkat keakuratan yang tinggi melalui bantuan *machine learning* sebagai pengolahan sistem.

Referensi utama ketiga [8] membahas tentang pengembangan prototipe lengan robot yang dirancang untuk memisahkan sampah organik dan anorganik, dengan tujuan mengurangi penumpukan sampah di lingkungan. Robot ini dilengkapi dengan berbagai sensor, seperti sensor HCSR04 untuk deteksi jarak dan sensor Proximity Induktif untuk mendeteksi jenis material, yang semuanya diproses oleh Arduino UNO sebagai sistem kontrol. Hasil pengujian menunjukkan bahwa robot dapat berfungsi dengan baik dalam memisahkan sampah sesuai jenisnya, serta dapat mengikuti garis dan menghindari rintangan. Metode pengembangan yang digunakan adalah *prototyping*, yang melibatkan pengumpulan kebutuhan, perancangan cepat, dan evaluasi sistem, sehingga menghasilkan alat yang siap pakai dan efektif dalam pengelolaan sampah.

Referensi utama keempat [3] membahas alat yang diharapkan dapat membuka tutup tempat sampah secara otomatis dan memberikan pemberitahuan jika terdapat sampah yang berbau tidak sedap. Dengan memanfaatkan sensor ultrasonik dan memberikan indikator kepada petugas kebersihan melalui suara yang dihasilkan oleh buzzer, alat ini akan bekerja ketika kaki atau sampah berada dalam jangkauan sensor ping. Selain itu, fungsi buzzer pada alat ini adalah untuk memberikan notifikasi bahwa sampah yang ada telah mengganggu indra penciuman manusia. Hal ini dapat membantu manusia dalam membuang sampah tanpa menyentuh tutup tempat sampah, mengosongkan tempat sampah secara tepat waktu, dan mengurangi paparan bau tidak sedap dari tempat sampah yang ada.

Referensi utama kelima [9] membahas pengembangan sistem deteksi kerusakan pada panel surya dengan menggunakan model machine learning berbasis algoritma FOMO (Faster Object, More Object) yang dikembangkan melalui platform Edge Impulse. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi hotspot dan keretakan secara real-time, dengan training menggunakan gambar panel surya yang

dilabeli secara akurat. Hasil uji menunjukkan model mencapai akurasi di atas 95% dan skor F1 sebesar 80.5%, serta mampu beroperasi secara cepat dalam waktu 10-20 milidetik. Dengan demikian, sistem ini dapat membantu pemeliharaan panel surya secara efisien dan praktis melalui penerapan pada perangkat berbasis smartphone atau perangkat edge lainnya.

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan sebelumnya, pada penelitian tugas akhir ini akan dilakukan penelitian implementasi *arm robot* untuk pemilah sampah berbasis kecerdasan buatan menggunakan metode Convolutional Neural Network – *Faster Object, More Object* (CNN-FOMO). Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem *arm robot* dengan sensor ESP32-CAM menggunakan metode CNN-FOMO yang dapat mengambil, memilah, dan membuang sampah secara otomatis.

1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan latar belakang di atas, berikut rumusan masalah pada penelitian ini yaitu.

1. Bagaimana merancang dan membangun sistem *arm robot* menggunakan sensor ESP32-CAM untuk mendeteksi dan memilah sampah secara otomatis?
2. Bagaimana menguji dan menganalisis kinerja sistem *arm robot* pemilah sampah menggunakan ESP32-CAM dengan metode CNN dalam mendeteksi dan memilah sampah secara otomatis?

1.4. Tujuan

Dari latar belakang dan rumusan masalah maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Merancang dan membangun sistem *arm robot* berbasis ESP32-CAM yang mampu melakukan pemilihan sampah secara otomatis.
2. Menguji dan menganalisis kinerja sistem *arm robot* pemilah sampah menggunakan ESP32-CAM dengan metode CNN berdasarkan akurasi deteksi dan pemilahan.

1.5. Manfaat

Pada penelitian ini terdapat dua manfaat yang ingin di capai yaitu :

1. Manfaat Akademis

Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan di bidang robotika, khususnya pada implementasi teknologi arm robot berbasis kecerdasan buatan dengan sensor ESP32-CAM. Penelitian ini juga dapat menjadi referensi bagi mahasiswa atau peneliti yang ingin mengembangkan teknologi serupa, khususnya terkait pemanfaatan sistem pengolahan citra dan AI untuk pemilahan sampah. Selain itu, penelitian ini memperkaya literatur tentang aplikasi robotika dan AI dalam mendukung pengelolaan lingkungan yang lebih efektif.

2. Manfaat Praktis

Hasil penelitian ini mendukung peningkatan efisiensi dan akurasi dalam proses pemilahan sampah, sehingga dapat membantu mengurangi beban kerja manual dan mempercepat proses daur ulang. Sistem *arm robot* yang dikembangkan menawarkan solusi otomatis dan adaptif, yang tidak hanya ramah lingkungan tetapi juga dapat mengurangi potensi kesalahan manusia dalam pemilahan sampah. Dengan demikian, teknologi ini diharapkan dapat mendukung keberlanjutan lingkungan dan mendukung pengelolaan sampah yang lebih modern dan efektif.

1.6. Batasan Masalah

Batasan yang berhubungan dengan masalah ini sangat luas, maka dari itu perlu adanya batasan masalah dalam penelitian ini, agar yang akan didapat lebih spesifik dan terarah. Batasan masalah ini menitik beratkan pada :

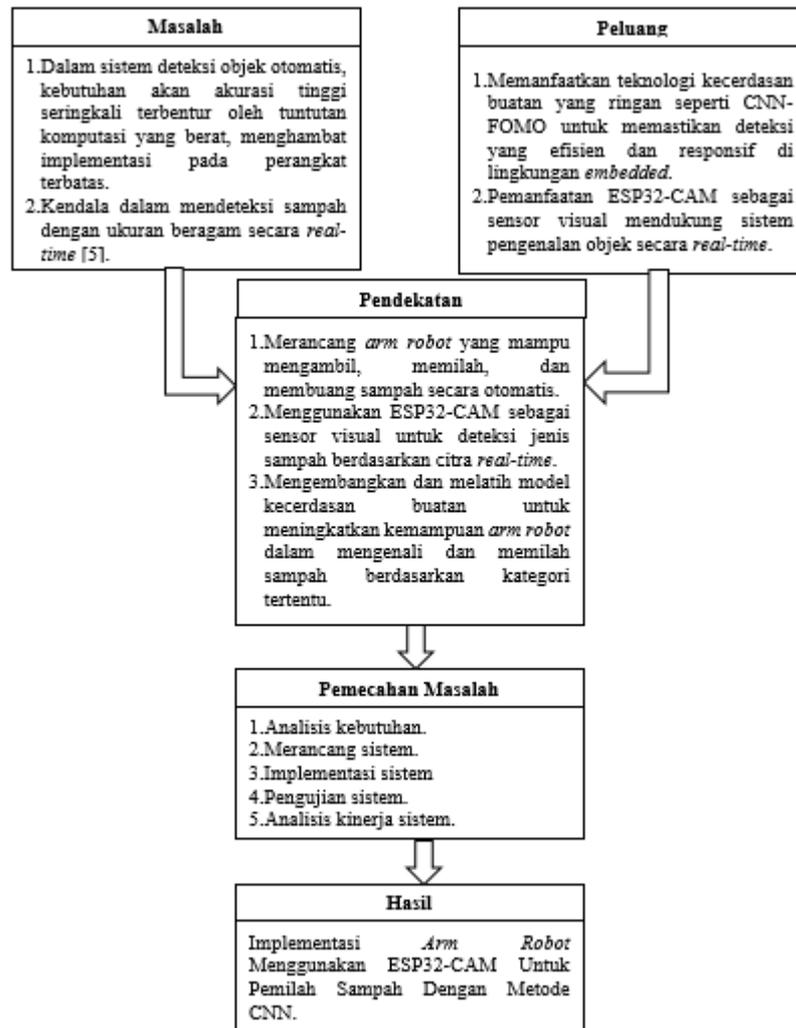
1. Sistem *arm robot* yang dikembangkan dirancang untuk melakukan pemilahan sampah berdasarkan kategori sederhana, tanpa mempertimbangkan parameter material atau kimiawi sampah.
2. Deteksi hanya difokuskan pada dua jenis objek sampah, yaitu kaleng minuman kosong dan gelas plastik sekali pakai (*cup*), sehingga jenis

sampah lain di luar kategori tersebut tidak menjadi fokus pengujian dan tidak diidentifikasi oleh sistem.

3. Bentuk dan kondisi kaleng seperti berbahan alumunium berbentuk tabung (*cylindrical*) berkapasitas 220-330 ml dalam keadaan sudah di remukan.
4. Bentuk dan kondisi *cup* seperti gelas plastik berbentuk kerucut terpancung berkapasitas 200-300 ml dalam keadaan sudah di remukan.
5. Penelitian hanya mencakup deteksi dan pemilahan sampah dalam kondisi kosong.
6. Pelatihan data untuk kecerdasan buatan dilakukan menggunakan dataset yang terbatas pada kondisi ideal dengan pencahayaan yang stabil, tanpa mempertimbangkan variabilitas lingkungan yang ekstrem.
7. Penelitian ini hanya berfokus pada perancangan dan pengujian prototipe *arm* robot pemilah sampah menggunakan ESP32-CAM dengan metode CNN-FOMO. Prototipe ini dibuat untuk mendeteksi dan memilah sampah secara otomatis dalam skala kecil dan belum diterapkan untuk penggunaan industri atau lingkungan luas.
8. Implementasi algoritma kecerdasan buatan menggunakan metode Convolutional Neural Network (CNN) dalam penelitian ini merupakan varian ringan berbasis *Faster Object, More Object (FOMO)*, yang diimplementasikan melalui platform *Edge Impulse*.

1.7. Kerangka Berfikir

Kerangka berpikir yaitu berisi alur pemikiran yang memuat uraian sistematis tentang hasil perumusan masalah penelitian yang diperkirakan dapat diselesaikan melalui pendekatan yang dibutuhkan untuk pengembangan *arm robot* untuk pemilah sampah berbasis kecerdasan buatan menawarkan solusi lebih aman dan andal. Kerangka berpikir penelitian ini dapat dijelaskan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1. Kerangka Berpikir

1.8. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan merupakan suatu tahap penyusunan penulisan dalam proposal penelitian yang terdiri dari enam bab agar dapat menghasilkan penulisan yang baik, diantaranya sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini dimulai dengan latar belakang yang mendalam, meninjau penelitian terdahulu, merumuskan masalah, dan menguraikan manfaat penelitian. Batasan masalah dan kerangka berpikir diperjelas untuk memberikan panduan dalam penyusunan metodologi.

BAB II TEORI DASAR

Bab ini membahas hal-hal penting yang harus dipahami sebelum memulai penelitian. Bab ini menjelaskan dasar dan pemahaman tentang konsep-konsep teoritis yang menjadi dasar sebelum melakukan penelitian. Pemahaman mendalam tentang teori akan membantu dalam mengembangkan langkah penelitian didasarkan pada dasar konseptual yang kuat.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini, diuraikan mengenai metode dan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian seperti tahapan tersebut mencakup studi literatur, identifikasi masalah, analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, dan analisis hasil.

BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Bab ini menjelaskan alur tahap-tahap perancangan, mulai dari analisis kebutuhan hingga implementasi baik dalam segi *software* maupun *hardware* untuk implementasi *arm* robot menggunakan ESP32-CAM untuk pemilah sampah dengan metode CNN-FOMO.

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini memaparkan hasil pengujian-pengujian yang telah dilakukan serta menganalisis data yang diperoleh pada saat pengujian sistem *arm* robot pemilah sampah menggunakan ESP32-CAM dengan metode CNN-FOMO.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan tentang bagian penutup dari penelitian. Bagian ini berisi mengenai kesimpulan dari penelitian, serta saran untuk penelitian-penelitian selanjutnya.