BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Masalah limbah di area perkotaan semakin memburuk seiring dengan semakin banyaknya penduduk dan konsumsi masyarakat. Menurut data dari Kementerian Lingkungan Hidup, sampah di Indonesia masih didominasi oleh sisa makanan yang mencapai 39% dan limbah plastik sebesar 18% (Marzuki dkk., 2024). Situasi ini semakin parah karena masyarakat belum terbiasa melakukan pemisahan sampah dari rumah, sehingga sistem pengelolaan sampah yang ada tidak dapat berfungsi dengan baik. Akibatnya, terlihat adanya peningkatan emisi karbon, meningkatnya biaya operasional pengelolaan sampah, serta rendahnya tingkat daur ulang yang bisa dimanfaatkan kembali (Qhuroyhan dkk., 2025).

Sebaiknya, pengelolaan limbah di kota-kota besar dapat dilakukan dengan cepat, tepat, dan secara otomatis dengan bantuan teknologi *Internet of Things*. Namun, dalam kenyataan, proses pemilahan limbah masih sangat bergantung pada tenaga kerja manusia, yang dapat menyebabkan keterlambatan, meningkatkan risiko kesehatan, dan mengakibatkan kontaminasi pada bahan yang seharusnya bisa didaur ulang (Bahaswan dkk., 2025). Keterbatasan perangkat keras, rendahnya integrasi IoT dengan kecerdasan buatan, dan sistem pemantauan yang belum efisien adalah tantangan nyata yang dihadapi oleh lapangan saat ini.

Berbagai penelitian terbaru telah berusaha menggunakan teknologi pembelajaran mesin (ML) untuk meningkatkan ketepatan dalam pemisahan sampah. Contohnya, studi oleh (Marzuki dkk., 2024). yang menerapkan CNN untuk mengidentifikasi jenis sampah botol, tetapi hanya berhasil mencapai ketepatan sebesar 57,5%. Sementara itu, penelitian oleh Zaman & Mubarok (2025). meraih ketepatan 90% dalam pemisahan sampah organik dan anorganik dengan memadukan CNN dan sistem robotik yang berbasis ESP32. Meskipun begitu, masalah mengenai kecepatan pemrosesan dan batasan daya komputasi pada perangkat edge masih meninggalkan peluang untuk pengembangan lebih lanjut.

Sejumlah studi mengenai IoT hanya menitikberatkan pada pemantauan jumlah limbah menggunakan sensor *ultrasonic* (Qhuroyhan dkk., 2025). tanpa mengambil keuntungan dari pengenalan visual berbasis gambar. Padahal, integrasi

data dari sensor dengan teknologi visi komputer bisa memberikan hasil klasifikasi yang jauh lebih tepat. Kekurangan dalam penelitian ini memberikan kesempatan untuk menciptakan sistem pemilahan sampah otomatis yang lebih cerdas, efisien, dan dapat diimplementasikan pada perangkat dengan kinerja rendah (Bahaswan dkk., 2025).

Studi ini bertujuan untuk menciptakan sistem pemisahan sampah otomatis yang menggunakan IoT dan didukung oleh model *Machine Learning* demi meningkatkan ketepatan deteksi serta efisiensi dalam operasional (Zaman & Mubarok, 2025). Sistem ini direncanakan dengan memanfaatkan kamera, sensor ultrasonik, dan model CNN yang sudah dioptimalkan agar dapat berfungsi dengan cepat dan stabil pada perangkat yang memiliki konsumsi daya rendah. Dengan cara ini, penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi nyata dalam pelaksanaan Manajemen Sampah Pintar untuk mendukung pembangunan kota yang lebih bersih dan berkelanjutan (Hafis Ali dkk., 2026).

Kebutuhan untuk penelitian ini semakin mendesak karena berkaitan dengan kebijakan nasional yang fokus pada pengurangan limbah plastik dan promosi ekonomi sirkular. Diperkirakan bahwa sistem pemisahan sampah otomatis yang menggunakan ML-IoT(Salma Nur'aini dkk., 2026). tidak hanya akan membantu pemerintah dalam meringankan tanggung jawab pengelolaan sampah, tetapi juga akan meningkatkan kualitas hidup masyarakat dengan menciptakan lingkungan yang lebih bersih, sehat, dan teratur (Muchtar dkk., 2022).

Penelitian ini memiliki kebaruan pada integrasi sistem IoT dengan model *Machine Learning* YOLOv8 berbasis lightweight yang dioptimalkan untuk perangkat edge seperti ESP32. Berbeda dari penelitian sebelumnya, sistem yang dikembangkan tidak hanya melakukan klasifikasi visual, tetapi juga menggabungkan deteksi *Real-time*, mekanisme pemilahan otomatis, dan monitoring kapasitas dalam satu sistem terpadu. (Rozaq Rais & Rokhmah, 2025). Selain itu, penggunaan sensor ultrasonik sebagai pemicu inferensi menjadi inovasi untuk meningkatkan efisiensi energi dan kinerja sistem. Pendekatan ini menghasilkan solusi pemilahan sampah yang lebih efisien, adaptif, dan siap diterapkan pada lingkungan nyata Hastuti & Barata (2026).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem pemilahan sampah otomatis berbasis IoT dengan integrasi model *Machine Learning* yang mampu melakukan klasifikasi sampah secara akurat dan efisien?
2. Bagaimana integrasi antara sensor IoT (seperti sensor ultrasonik) dengan sistem pengenalan citra dapat meningkatkan efektivitas pemantauan dan pemilahan sampah?
3. Sejauh mana sistem pemilahan sampah otomatis berbasis ML-IoT dapat meningkatkan efisiensi operasional dan mendukung implementasi *Smart Waste Management* di lingkungan perkotaan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem pemilahan sampah otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) yang terintegrasi dengan model *Machine Learning*.
2. Menganalisis dan mengevaluasi integrasi sensor IoT, khususnya sensor ultrasonik, dengan sistem pengenalan citra berbasis *Machine Learning*, dalam meningkatkan efektivitas pemantauan kondisi tempat sampah serta ketepatan proses pemilahan sampah secara otomatis.
3. Menilai tingkat efisiensi operasional sistem pemilahan sampah otomatis berbasis *Machine Learning* dan IoT (ML-IoT).

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan sistem pemilahan sampah otomatis yang lebih efisien, akurat, dan adaptif terhadap kondisi lingkungan.
2. Menambah referensi ilmiah terkait integrasi teknologi IoT dan *Machine Learning* dalam pengelolaan sampah.
3. Menjadi dasar pengembangan sistem pemilahan sampah skala besar atau implementasi di area publik