



## IMPLEMENTASI OBJECT DETECTION KLASIFIKASI SAMPAH ORGANIK DAN ANORGANIK MENGGUNAKAN RASPBERRY PI DENGAN ALGORITMA YOLO

Devano Arayudha Adlim<sup>1</sup>, Iksan Ramadhan<sup>2</sup>, Bambang Irawan<sup>3</sup>, Sawali Wahyu<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Teknik Informatika, Universitas Esa Unggul

<sup>1</sup>[devan.adlim@gmail.com](mailto:devan.adlim@gmail.com), <sup>2</sup>[iksan.ramadhan@esaunggul.ac.id](mailto:iksan.ramadhan@esaunggul.ac.id),

<sup>3</sup>[bambang.irawan@esaunggul.ac.id](mailto:bambang.irawan@esaunggul.ac.id), <sup>4</sup>[sawaliwahyu@esaunggul.ac.id](mailto:sawaliwahyu@esaunggul.ac.id)

### Abstract

*Waste management, particularly the separation of organic and inorganic waste, remains a challenge in campus environments. This study aims to develop an automatic waste classification system using the YOLOv8 algorithm and Raspberry Pi 5. The YOLOv8n model was selected for its lightweight and high efficiency, making it suitable for edge devices with limited resources. The dataset consists of 2,623 images divided into two classes: organic and inorganic. Training was conducted on the Kaggle platform, and model evaluation yielded a precision of 0.93, recall of 0.852, and mAP50 of 0.929. The model was then converted into NCNN format and deployed on the Raspberry Pi 5. The system successfully performed real-time object detection at an average speed of 6.5 FPS and controlled a servo motor based on classification results. Testing showed that the system operates accurately and efficiently, with potential application as an IoT-based smart waste sorting tool in real-world environments.*

**Keyword:** YOLOv8, Raspberry Pi, waste classification, deep learning, NCNN, real-time.

### Article History:

Received: August 2025

Reviewed: August 2025

Published: August 2025

Plagiarism Checker No 234

Prefix DOI :

10.8734/Kohesi.v1i2.365

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## I. PENDAHULUAN

Masalah pengelolaan sampah menjadi isu lingkungan yang semakin mendesak untuk diselesaikan, terutama di lingkungan perkotaan yang memiliki kepadatan penduduk tinggi dan aktivitas yang beragam. Pertumbuhan populasi di perkotaan juga berdampak langsung pada peningkatan volume sampah yang dihasilkan, baik sampah organik maupun anorganik. Sampah yang tidak dikelola dengan baik berpotensi mencemari tanah, air, dan udara serta menimbulkan berbagai masalah kesehatan. Di lingkungan kampus, permasalahan serupa juga terjadi, di mana aktivitas mahasiswa, staf, dan kegiatan lainnya menghasilkan volume sampah yang cukup besar. Kampus yang tidak memiliki sistem pengelolaan sampah yang efisien akan menghadapi tantangan dalam menjaga kebersihan dan kenyamanan lingkungan.

Kampus Esa Unggul Bekasi, sebagai salah satu institusi pendidikan yang aktif dalam mendukung keberlanjutan lingkungan, memiliki komitmen untuk mengelola sampah dengan lebih baik dan efisien. Namun, sistem pemisahan sampah yang ada masih dilakukan secara manual, yang rentan terhadap kesalahan klasifikasi serta membutuhkan banyak tenaga dan waktu. Pemisahan yang tidak tepat dapat memperlambat proses daur ulang dan penanganan sampah, serta berdampak negatif pada efektivitas pengelolaan sampah secara keseluruhan. Oleh karena itu, diperlukan sistem yang mampu mengotomatisasi klasifikasi sampah organik dan anorganik secara cepat dan akurat.



Di era teknologi saat ini, penerapan Machine Learning (ML) dan kecerdasan buatan (AI) telah membuka peluang untuk meningkatkan efektivitas dalam berbagai bidang, termasuk pengelolaan sampah. Teknologi ML dapat menganalisis data secara canggih untuk mengenali pola yang tidak mudah diidentifikasi secara manual, sehingga memungkinkan klasifikasi yang lebih akurat. Salah satu model ML yang sangat cocok untuk klasifikasi objek dalam gambar adalah YOLO (You Only Look Once), yang memiliki kemampuan deteksi objek secara real-time dengan akurasi tinggi. Dengan menggunakan YOLO, sistem dapat mengenali dan mengklasifikasikan objek sampah secara langsung melalui analisis gambar, sehingga menghasilkan pemisahan sampah organik dan anorganik secara otomatis dan efektif.

Untuk mendukung implementasi sistem ini, platform komputasi kecil seperti Raspberry Pi memiliki peran penting dalam membangun perangkat keras yang fleksibel dan mudah diintegrasikan dengan kamera, sensor, serta model ML. Raspberry Pi memiliki kemampuan pemrosesan yang cukup untuk menjalankan model deteksi objek seperti YOLO, sekaligus mengendalikan aktuator atau komponen tambahan seperti servo motor untuk proses pemisahan fisik sampah. Dengan integrasi ini, Raspberry Pi akan berfungsi sebagai pusat kendali sistem, mulai dari akuisisi gambar, deteksi dan klasifikasi objek, hingga pengendalian mekanik dalam proses pemisahan.

Lingkungan Kampus Esa Unggul Bekasi dipilih sebagai sarana studi kasus untuk pengumpulan data, analisis kebutuhan, dan simulasi konteks penerapan system.

Dengan adanya sistem klasifikasi otomatis berbasis YOLO dan Raspberry Pi ini, diharapkan dapat memberikan gambaran dan solusi konseptual terhadap tantangan pemisahan sampah di lingkungan kampus. Sistem ini dapat menjadi dasar pengembangan teknologi pengelolaan sampah yang lebih cerdas dan efisien di masa depan, sekaligus mendukung upaya edukasi dalam meningkatkan kesadaran akan pentingnya pemilahan sampah sejak dari sumbernya.

## **II. LANDASAN TEORI**

### **A. Deep Learning**

Deep Learning adalah cabang dari Machine Learning yang berfokus pada penggunaan jaringan saraf tiruan (Artificial Neural Networks) dengan banyak lapisan (deep architectures) untuk mempelajari representasi data yang kompleks secara otomatis. Dalam dekade terakhir, Deep Learning telah menjadi fondasi utama dalam pengembangan teknologi Artificial Intelligence (AI), seperti pengenalan wajah, kendaraan otonom, sistem rekomendasi, hingga deteksi objek.

### **B. Algoritma YOLO**

YOLO (You Only Look Once) adalah sebuah pendekatan baru untuk sistem pendeteksian objek, yang ditargetkan untuk pemrosesan secara real-time. YOLO meringkas pendeteksian objek sebagai masalah regresi tunggal, dimana dari piksel gambar langsung ke kotak pembatas (bounding box) spasial yang terpisah dan probabilitas kelas yang terkait. YOLO melakukan pendeteksian dan pengenalan objek dengan sebuah jaringan syaraf tunggal (single memprediksi neural kotak-kotak network), pembatas yang dan probabilitas kelas secara langsung dalam satu evaluasi (Sri Wisna et al., 2020).

### **C. YOLOv8**

Algoritma YOLO versi terbaru yakni versi YOLOv8, peneliti menggunakan algoritma ini untuk membuktikan fitur algoritma YOLOv8 yang baru saja di tawarkan. State-Of-The-Art adalah salah satu fitur utama YOLOv8, fitur ini dirancang menjadi kerangka kerja yang mendukung seluruh versi YOLO sebelumnya. Dengan menggunakan algoritma YOLOv8, diharapkan bisa memberikan hasil yang baik. (Hayati et al., 2023).



#### **D. Pengelolaan Sampah Organik dan Anorganik**

Sampah secara umum di bagi menjadi dua yaitu sampah organik dan anorganik. Kedua sampah ini memiliki manfaat untuk kita, namun juga ada dampaknya untuk lingkungan. Sampah organik adalah limbah yang bersal dari sisa makhluk hidup (alam) seperti hewan, manusia, tumbuhan yang mengalami pembusukan atau pelapukan. Sampah ini tergolong sampah yang ramah lingkungan karena dapat di urai oleh bakteri secara alami dan berlangsungnya cepat. Sampah Anorganik adalah sampah yang berasal dari sisa manusia yang sulit untuk di urai oleh bakteri, sehingga membutuhkan waktu yang cukup lama hingga ratusan tahun untuk dapat di uraikan (Cynthia et al., n.d.)

#### **E. Raspberry Pi**

Raspberry Pi merupakan sebuah komputer mikro berukuran kartu kredit yang dikembangkan oleh British Raspberry Pi Foundation. Komputer papan tunggal ini dikembangkan untuk mengajarkan dasar-dasar ilmu komputer dan pemrograman kepada siswa dari seluruh dunia. Raspberry Pi juga mempunyai port / koneksi untuk display yang bisa dihubungkan ke perangkat keras seperti TV atau Monitor Komputer serta koneksi USB untuk Keyboard serta Mouse. Raspberry Pi adalah perangkat keras terbuka, Digunakan untuk berbagai keperluan, bekerja seperti komputer. Sejauh ini, Rasberry Pi memiliki Raspberry dari Raspberry Pi Model A, hingga Raspberry Pi 5 model B yang akan digunakan dalam pembuatan skripsi ini. Raspberry Pi 5 Model B merupakan versi terbaru dari minicomputer yang dirilis oleh Raspberry Pi. (Wijaya Kusuma & Eric Faustin, 2023).

#### **F. OpenCV**

Computer Vision merupakan ilmu pemrograman komputer untuk memproses, memahami dan juga melihat gambar dan video. OpenSource Computer Vision Library atau yang biasa disebut dengan OpenCV, merupakan sebuah library open source yang dikembangkan intel yang berfokus untuk menyederhanakan pemrograman terkait citra digital real time.. (Wijaya Kusuma & Eric Faustin, 2023).

#### **G. Python**

Python adalah bahasa pemrograman tingkat tinggi yang dirancang dengan filosofi yang menekankan keterbacaan kode dan sintaks yang bersih. Dibuat oleh Guido van Rossum dan dirilis pertama kali pada tahun 1991, Python telah berkembang menjadi salah satu bahasa pemrograman yang paling populer di dunia. Python adalah bahasa pemrograman yang sering digunakan dalam pengembangan aplikasi web, perangkat lunak, ilmu data, dan machine learning (ML). Para pengembang memilih Python karena efisiensinya, kemudahan belajar, dan kemampuannya berjalan di berbagai platform. Python dapat diunduh secara gratis, terintegrasi dengan baik ke semua jenis sistem, dan mempercepat proses pengembangan.

#### **H. Roboflow**

Roboflow merupakan platform web yang memiliki fungsi berhubungan dengan kumpulan dataset. Roboflow adalah kerangka kerja pengembang computer vision untuk pengumpulan data yang lebih baik hingga prapemrosesan, dan teknik pelatihan model. Dengan menggunakan Roboflow dapat membagikan dataset sekaligus memproses dataset tersebut melakukan annotate atau menandai objek yang akan di deteksi menggunakan bounding box, selain itu dapat digunakan juga pre-processing pada dataset misalnya melakukan grayscale, dan juga augmentasidengan menggunakan Roboflow. Untuk melakukan pengujian deteksi objek diperlukan sebuah dataset pada tahap akuisisi data (pengumpulan data), dimana tahap tersebut merupakan sebuah tantangan bagi peneliti untuk mengumpulkan sekumpulan data citra kendaraan yang baik untuk melakukan pendeteksian objek. (Hayati et al., 2023).



## **I. Object Detection**

Deteksi objek adalah salah satu cabang dari computer vision yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan menemukan objek tertentu dalam gambar atau video. Deteksi objek tidak hanya mengklasifikasikan objek yang terdapat dalam gambar, tetapi juga memberikan informasi mengenai lokasi objek tersebut dalam bentuk bounding box. Menurut Zhao et al. (2019), deteksi objek dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu metode berbasis region proposal seperti R-CNN, Fast R-CNN, dan Faster R-CNN, serta metode berbasis deteksi langsung seperti YOLO dan SSD (Single Shot MultiBox Detector).

### **J. Kaggle**

Kaggle merupakan salah satu platform terkemuka di bidang Data Science dan Machine Learning secara global, dengan lebih dari 6000 dataset dan komunitas ilmuwan terbesar saat ini (Ali Hafid & Ade Kurniawan, 2024). Kaggle menyediakan platform bagi pengguna untuk bekerja sama dengan orang lain, menemukan dan membagikan kumpulan data, menggunakan notebook berbasis GPU, serta berkompetisi dengan data scientist lainnya dalam menyelesaikan tantangan data science

## **III. METODE**

### **A. Metode Indikasi Masalah**

Untuk mengidentifikasi permasalahan yang ada di lingkungan kampus terkait pengelolaan sampah, penelitian ini menggunakan metode observasi langsung (direct observation). Observasi dilakukan secara sistematis dengan mencatat fakta-fakta yang tampak di lapangan tanpa adanya intervensi dari peneliti.

#### **Tujuan Observasi**

- Mengetahui bagaimana perilaku warga kampus dalam membuang sampah.
- Mengidentifikasi apakah sistem pemisahan sampah organik dan anorganik sudah berjalan.

#### **Langkah-Langkah Observasi**

- Lokasi Observasi

Observasi dilakukan di beberapa titik lokasi tempat sampah di lingkungan kampus Esa Unggul Bekasi, terutama area yang ramai seperti kantin, taman, dan gedung perkuliahan.

- Pembuatan Checklist Observasi
- Pengamatan Langsung

Peneliti melakukan pengamatan pada waktu-waktu tertentu seperti pada waktu mahasiswa aktif untuk melihat pola perilaku warga kampus.

- Dokumentasi.

Hasil observasi didokumentasikan dalam bentuk catatan lapangan dan dokumentasi foto untuk mendukung data temuan.

### **B. Teknik Pengumpulan data**

Untuk Data yang digunakan dalam penelitian ini dikumpulkan melalui beberapa teknik, antara lain:

- Pengumpulan Gambar: Mengambil foto sampah organik dan anorganik di lingkungan kampus. Foto diambil dengan kamera ponsel atau kamera digital dengan resolusi yang memadai.
- Labeling Manual: Setiap gambar diberi label secara manual oleh tim penelitian untuk memastikan keakuratan klasifikasi, di mana sampah akan diberi label organik atau anorganik.



- Preprocessing Data: Data gambar diproses dengan teknik augmentasi, seperti rotasi, pemotongan, atau perubahan pencahayaan, untuk meningkatkan variasi data dan mencegah model mengalami overfitting

### C. Prosedur Pelaksanaan

Prosedur penelitian meliputi beberapa tahapan:

- Pengumpulan Data Gambar: Pengambilan dan pelabelan gambar sampah organik dan anorganik.
- Pelatihan Model YOLO: Model YOLO dilatih menggunakan dataset yang telah dilabeli.
- Integrasi Sistem: Menghubungkan model YOLO dengan platform Arduino dan modul kamera untuk mendukung klasifikasi sampah real-time.
- Pengujian Sistem: Sistem diuji di lingkungan kampus untuk menilai akurasi dan efektivitas model.
- Evaluasi Kinerja: Menganalisis performa sistem klasifikasi dengan menggunakan metrik seperti akurasi dan waktu pemrosesan

### D. YOLOv8

YOLOv8 Input (Masukan) Gambar atau Video YOLOv8 bekerja dengan menerima data berupa gambar atau video, baik langsung dari kamera secara real-time atau dari file yang sudah tersedia

- Tahap Awal (Preprocessing):  
Pada tahap awal (preprocessing), gambar atau video tersebut disesuaikan ukurannya, misalnya menjadi ukuran 640x640 piksel. Selanjutnya, warna dan nilai piksel juga diatur agar memudahkan proses analisis berikutnya..
- Backbone (Ekstraksi Fitur)  
Model Dalam tahap backbone (ekstraksi fitur), YOLOv8 menganalisis gambar atau video untuk mengenali pola dasar seperti garis, sudut, atau tekstur tertentu. Pola-pola tersebut kemudian diubah menjadi peta fitur, yang merupakan representasi digital dari fitur-fitur penting dalam gambar.
- Neck (Gabungan Fitur Multi-Scale)  
Selanjutnya, tahap neck berfungsi menggabungkan fitur dari objek-objek dengan berbagai ukuran (besar, sedang, kecil) sehingga YOLOv8 mampu mendeteksi objek dengan ukuran yang beragam dalam satu gambar.
- Head (Prediksi)  
Pada tahap head atau prediksi, model menentukan lokasi objek dengan menggambar kotak pembatas (bounding box), mengidentifikasi jenis objek (seperti manusia, mobil, atau hewan), serta memberikan skor keyakinan (confidence score) yang menunjukkan seberapa yakin model terhadap prediksi tersebut.
- Postprocessing (Penyempurnaan Hasil)  
Kemudian, pada tahap postprocessing, hasil prediksi disempurnakan dengan cara menghapus kotak-kotak ganda yang menandai objek yang sama, serta menyaring prediksi dengan skor keyakinan rendah untuk memastikan akurasi dan relevansi hasil.
- Output (Hasil Akhir)  
Bounding Akhirnya, output dari YOLOv8 adalah kotak pembatas (bounding box) yang menunjukkan lokasi objek, label yang menjelaskan jenis objek, dan skor keyakinan yang menunjukkan tingkat kepercayaan model terhadap hasil prediksi. Hasil ini kemudian ditampilkan secara visual pada gambar atau video asli, dilengkapi dengan kotak pembatas, label objek, dan skor keyakinan.



#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan secara rinci hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan terkait akurasi deteksi objek dalam konteks pemilahan sampah organik dan anorganik.

##### A. Dataset

Proses pembuatan dataset dilakukan dengan mencari dan mengumpulkan gambar melalui media online dari berbagai sumber terbuka di internet. Dataset yang dikumpulkan mencakup gambar sampah yang dapat di bagi berdasarkan kategori berikut.

- Sampah Organik  
Kategori ini terdiri dari beberapa gambar sampah organik berupa sampah buah-buahan, sayur-sayuran, dan daun-daunan
- Sampah Anorganik  
Kategori ini terdiri dari beberapa gambar sampah anorganik berupa sampah botol, kaleng, dan tisu

TABEL 1. Jumlah Data

No	Nama Kelas	Jumlah Data
1	Sampah Anorganik	1199
2	Sampah Organik	1424

##### B. Hasil Training

Berdasarkan hasil pelatihan, model berhasil mencapai performa yang baik, di mana untuk keseluruhan data (all), model mencatat nilai precision sebesar 0.93, recall sebesar 0.852, dan mAP50 sebesar 0.929.

Untuk kelas Anorganik, precision dan recall masing-masing mencapai 0.938 dan 0.944, dengan nilai mAP50 sebesar 0.967.

Sementara itu, untuk kelas Organik, nilai precision adalah 0.923 dan recall sebesar 0.76, dengan mAP50 sebesar 0.891.

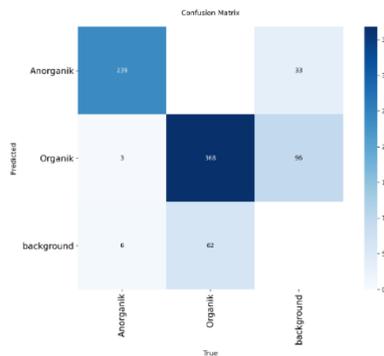
```
Ultralytics 8.3.155 Python-3.11.11 torch-2.6.0+cu124 CUDA:0 (Tesla T4, 15095MiB)
Model summary (fused): 72 layers, 3,006,038 parameters, 0 gradients, 8.1 GFLOPs
Class      Images  Instances  Box(P  R      mAP50  m
/usr/local/lib/python3.11/dist-packages/matplotlib/colors.py:721: RuntimeWarning: invalid value encountered in less
  xa[xa < 0] = -1
/usr/local/lib/python3.11/dist-packages/matplotlib/colors.py:721: RuntimeWarning: invalid value encountered in less
  xa[xa < 0] = -1
          all          519          678          0.93          0.852          0.929          0.749
        Anorganik          225          248          0.938          0.944          0.967          0.754
          Organik          294          430          0.923          0.76          0.891          0.743
Speed: 0.3ms preprocess, 3.4ms inference, 0.0ms loss, 2.5ms postprocess per image
Results saved to runs/detect/train2
```

Nilai mAP50 yang tinggi, terutama pada kelas Anorganik yang mencapai lebih dari 0.96, menunjukkan bahwa model mampu mengenali objek dengan tingkat akurasi yang sangat baik pada ambang batas Intersection over Union (IoU) sebesar 50%. Selain itu, sistem juga mencatat waktu pemrosesan yang efisien, yaitu rata-rata 0.3 milidetik untuk preprocessing, 3.4 milidetik untuk inferensi, dan 2.5 milidetik untuk postprocessing per gambar. Efisiensi ini membuktikan bahwa model sangat cocok untuk digunakan dalam aplikasi real-time dan deployment di perangkat terbatas seperti Raspberry Pi.

Secara keseluruhan, hasil evaluasi menunjukkan bahwa model YOLOv8n tidak hanya memiliki akurasi deteksi yang tinggi, tetapi juga efisiensi komputasi yang baik, sehingga layak digunakan pada tahap implementasi lebih lanjut dalam sistem deteksi objek



### C. Confusion Matrix



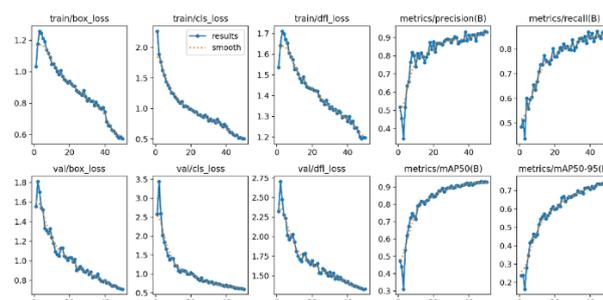
Selain menggunakan metrik seperti precision, recall, dan mAP50, evaluasi model juga dilakukan dengan menggunakan Confusion Matrix. Confusion Matrix memberikan gambaran visual mengenai kinerja model dalam mengklasifikasikan setiap kelas, dengan membandingkan antara label sebenarnya (true labels) dan label yang diprediksi oleh model (predicted labels). Pada Confusion Matrix ini, terdapat tiga kategori yang diamati, yaitu Anorganik, Organik, dan background (latar belakang).

Dari matriks yang dihasilkan, dapat dilihat bahwa:

- Sebanyak 239 objek Anorganik berhasil diklasifikasikan dengan benar sebagai Anorganik. Namun, sebanyak 33 objek Anorganik salah diklasifikasikan sebagai background, dan 3 objek dikira Organik.
- Untuk kelas Organik, terdapat 368 objek yang terdeteksi dengan benar, sementara 96 objek Organik salah diklasifikasikan sebagai background, dan 62 lainnya bahkan tidak dikenali (masuk background).
- Sementara itu, background terdeteksi cukup baik, namun masih terdapat beberapa instance dari Anorganik dan Organik yang terklasifikasi sebagai background, yang mencerminkan adanya false negatives.

Berdasarkan hasil Confusion Matrix, dapat disimpulkan bahwa model YOLOv8n memiliki kemampuan klasifikasi yang cukup baik, terutama dalam mendeteksi objek dari kelas Anorganik. Hal ini ditunjukkan oleh jumlah prediksi benar (true positive) yang tinggi untuk kelas tersebut. Namun demikian, masih terdapat beberapa kekeliruan dalam klasifikasi, khususnya pada kelas Organik yang relatif lebih sering terdeteksi sebagai latar belakang (background). Kesalahan ini menunjukkan bahwa model masih memiliki kelemahan dalam membedakan objek Organik dengan area di sekitarnya, yang kemungkinan disebabkan oleh kemiripan fitur visual atau variasi bentuk objek. Meskipun demikian, secara keseluruhan model telah menunjukkan performa deteksi yang baik, dengan kesalahan klasifikasi yang masih dalam batas wajar.

### D. Grafik Pelatihan Model





Grafik hasil pelatihan memberikan gambaran visual mengenai proses pembelajaran model selama 50 epoch. Setiap grafik merepresentasikan komponen penting dalam optimisasi model, baik dari sisi loss function maupun metrik evaluasi. Berikut penjelasan masing-masing grafik.

- train/box\_loss

Grafik ini menunjukkan nilai loss untuk prediksi posisi bounding box pada data pelatihan. Terlihat penurunan yang stabil dari awal hingga akhir epoch, yang menandakan bahwa model semakin akurat dalam memprediksi lokasi objek seiring berjalannya pelatihan.

- train/box\_loss

Grafik ini menunjukkan nilai loss untuk prediksi posisi bounding box pada data pelatihan. Terlihat penurunan yang stabil dari awal hingga akhir epoch, yang menandakan bahwa model semakin akurat dalam memprediksi lokasi objek seiring berjalannya pelatihan.

- train/cls\_loss

Grafik ini menggambarkan loss klasifikasi pada data pelatihan. Nilainya turun secara konsisten, menunjukkan bahwa model semakin tepat dalam mengidentifikasi kelas objek.

- train/df\_loss

DFL (Distribution Focal Loss) digunakan untuk meningkatkan prediksi posisi bounding box secara presisi. Penurunan nilai ini secara bertahap mengindikasikan bahwa model semakin mampu mempelajari distribusi posisi objek secara optimal..

- val/box\_loss

Sama seperti box\_loss pada data pelatihan, namun diaplikasikan pada data validasi. Grafik ini juga menunjukkan penurunan, yang berarti model tidak hanya belajar dari data pelatihan, tetapi juga mampu mempertahankan akurasi lokasi objek pada data baru (generalization).

- val/cls\_loss

Grafik ini menunjukkan kemampuan model dalam mengklasifikasikan objek pada data validasi. Penurunannya menandakan bahwa model tidak mengalami overfitting dan mampu mengenali kelas objek dengan baik di luar data pelatihan.

- val/df\_loss

Penurunan grafik DFL pada validasi mendukung kesimpulan bahwa model memiliki kemampuan prediksi posisi objek yang konsisten dan tidak hanya terbatas pada data pelatihan.

- metrics/precision(B)

Precision model meningkat secara signifikan hingga mendekati 0.95, artinya sebagian besar prediksi positif yang dihasilkan oleh model benar-benar merupakan objek target. Ini mencerminkan ketepatan model dalam menghindari false positive..

- metrics/recall(B)

Nilai recall juga mengalami peningkatan yang stabil, hingga di atas 0.85. Hal ini menunjukkan bahwa model berhasil mendeteksi sebagian besar objek yang ada dalam gambar (menghindari false negative).

- metrics/mAP50(B)

Grafik ini menunjukkan nilai mean Average Precision pada IoU 0.5. Nilainya naik konsisten hingga lebih dari 0.9, yang mengindikasikan akurasi tinggi dalam mendeteksi objek dengan tumpang tindih minimal 50% terhadap ground truth.

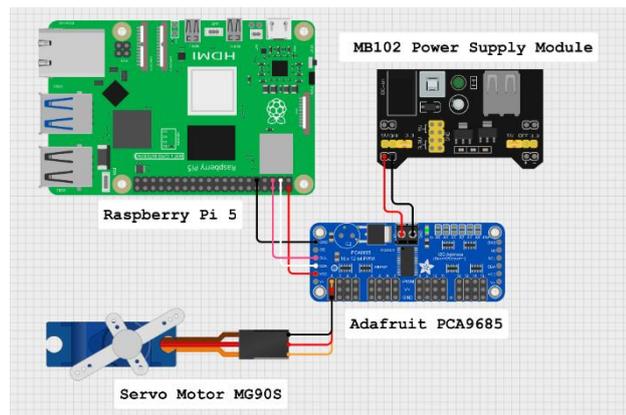


- metrics/mAP50-95(B)

Meskipun tidak difokuskan dalam evaluasi utama, grafik ini juga memperlihatkan peningkatan yang baik, mencerminkan performa model dalam berbagai tingkat ketelitian prediksi.

### E. Circuit Diagram

Gambar berikut menunjukkan diagram sirkuit yang digunakan dalam implementasi sistem deteksi dan kontrol berbasis Raspberry Pi 5. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu Raspberry Pi 5, servo motor MG90S, driver servo Adafruit PCA9685, dan MB102 power supply module untuk memberikan daya eksternal yang stabil.



Rangkaian disusun dengan menghubungkan Raspberry Pi 5 ke modul driver servo Adafruit PCA9685 melalui antarmuka I2C, yang menggunakan pin SDA dan SCL. Modul PCA9685 selanjutnya dikoneksikan dengan servo motor MG90S, yang akan dikontrol berdasarkan hasil inferensi model deteksi objek. Untuk mendukung kestabilan tegangan, digunakan MB102 Power Supply Module sebagai sumber daya eksternal 5V, terutama untuk mendukung arus yang dibutuhkan oleh motor.

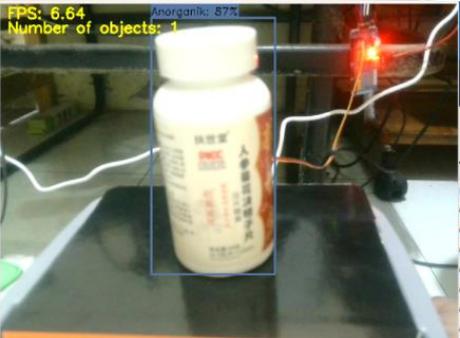
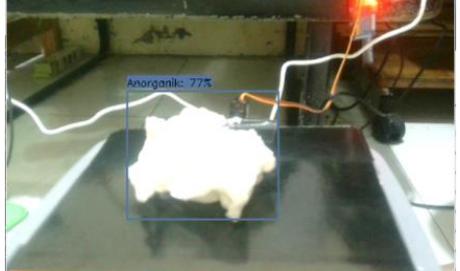
Diagram rangkaian dapat dilihat pada Gambar diatas. Setiap koneksi dibuat dengan memperhatikan referensi pin dan tegangan antar komponen, agar sistem dapat berjalan secara stabil dan aman. Raspberry Pi hanya menyediakan sinyal kendali dan komunikasi I2C, sedangkan suplai daya utama ke servo disuplai dari sumber terpisah melalui PCA9685. Rangkaian ini memungkinkan Raspberry Pi untuk mengendalikan aktuator (servo) secara presisi berdasarkan output dari sistem pendeteksi objek berbasis YOLOv8n.

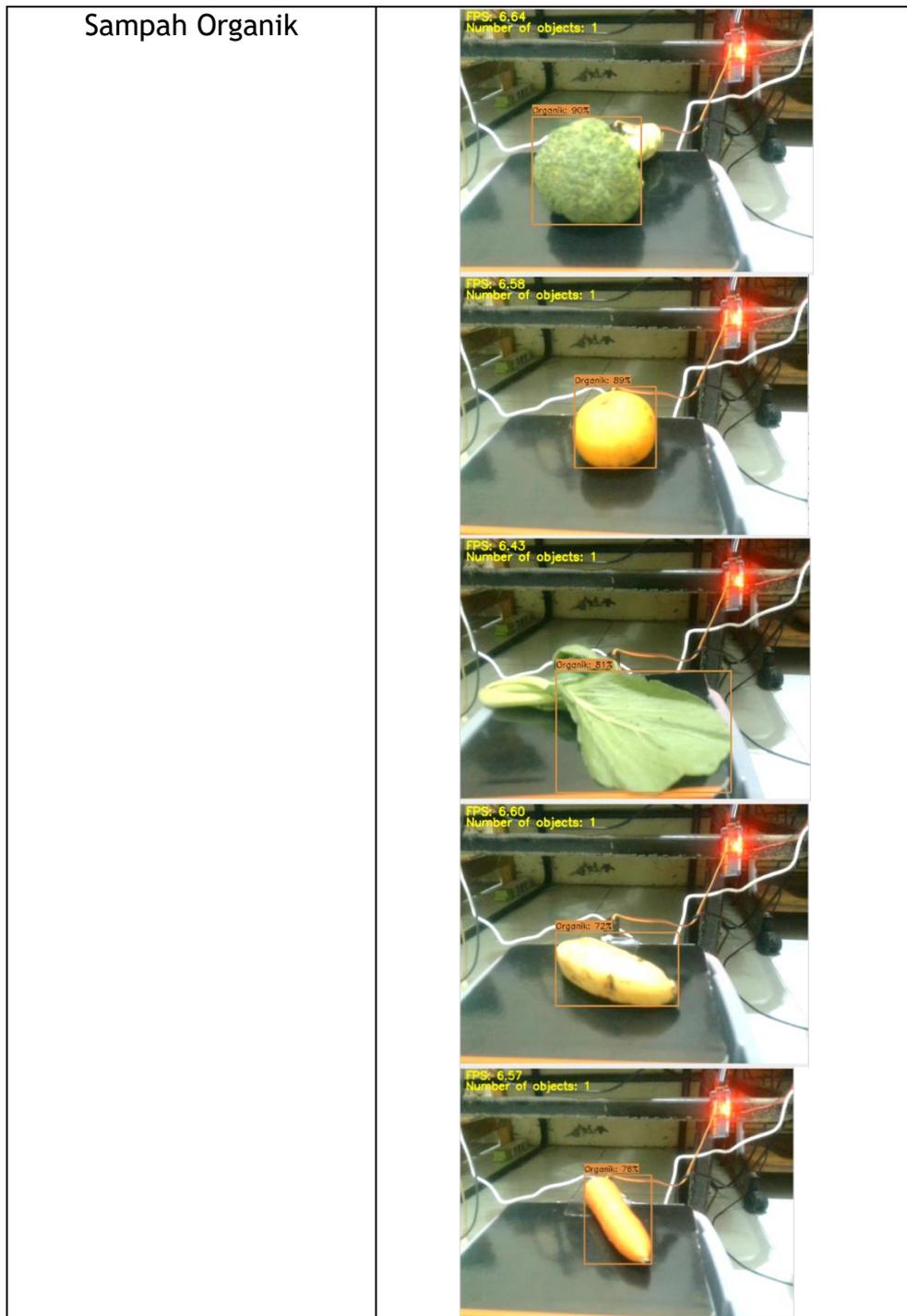
### F. Hasil Deteksi

Pengujian model dilakukan untuk memastikan bahwa model YOLOv8n yang telah dilatih dapat bekerja dengan baik saat dijalankan di Raspberry Pi, baik dalam hal akurasi deteksi maupun kecepatan respon. Model yang digunakan adalah hasil pelatihan sebelumnya dan telah dikonversi ke format NCNN agar kompatibel dan ringan dijalankan di perangkat edge seperti Raspberry Pi 5.

Pengujian dilakukan dengan memberikan berbagai gambar atau objek nyata yang termasuk dalam dua kelas utama, yaitu Organik dan Anorganik, di hadapan kamera yang terhubung ke Raspberry Pi. Model akan memproses input secara real-time, melakukan deteksi objek, dan mengeluarkan hasil klasifikasi berupa nama kelas serta koordinat bounding box).



Nama Kelas	Gambar Hasil Deteksi
Sampah Anorganik	
	
	
	
	



Hasil pengujian menunjukkan bahwa model mampu mendeteksi objek dengan cukup akurat, terutama pada kondisi pencahayaan yang baik dan sudut pandang yang jelas. Objek anorganik dan organik dapat dikenali dengan tingkat kesalahan yang rendah. Model juga dapat berjalan dengan rata-rata waktu inferensi di bawah 100 ms per gambar dan rata-rata Frame Per Second sebesar 6,5 FPS, menjadikannya cukup ideal untuk aplikasi real-time. Selain itu, hasil klasifikasi model berhasil memicu pergerakan servo sesuai logika sistem, dengan tambahan logika bahwa servo akan berputar setelah mendeteksi objek yang sama selama 2 detik untuk menghindari false detection, yang berarti integrasi antara deteksi dan kendali berjalan dengan baik



## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian sistem klasifikasi sampah otomatis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

1. **Model deteksi objek YOLOv8n** berhasil diimplementasikan untuk membedakan sampah organik dan anorganik secara real-time. Model ini dipilih karena ukurannya yang ringan dan efisien, namun tetap mampu memberikan hasil deteksi yang akurat dan cepat, sehingga sangat cocok dijalankan di perangkat dengan sumber daya terbatas seperti Raspberry Pi.
2. Hasil pelatihan model menunjukkan performa yang sangat baik, dengan nilai **precision sebesar 0.93, recall sebesar 0.852, dan mAP50 sebesar 0.929**. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa model memiliki tingkat ketepatan dan sensitivitas yang tinggi dalam mengenali objek sampah, serta akurasi klasifikasi yang dapat diandalkan.
3. **Raspberry Pi 5** berhasil digunakan sebagai perangkat utama untuk menjalankan model dalam format NCNN, dengan hasil yang efisien dan stabil. Model dapat melakukan inferensi dalam waktu kurang dari 100 milidetik per gambar, dengan rata-rata kecepatan mencapai **6,5 FPS**, yang menunjukkan kemampuan sistem untuk beroperasi secara real-time.
4. Sistem mampu mengintegrasikan **deteksi visual dengan kontrol aktuator** secara efektif. Setelah objek terdeteksi dan diklasifikasikan, sistem dapat memberikan perintah ke servo motor untuk bergerak sesuai arah yang ditentukan berdasarkan hasil klasifikasi. Hal ini menunjukkan bahwa komunikasi antara software dan hardware berjalan dengan baik.
5. Untuk meningkatkan keandalan sistem, diterapkan **logika tunda selama 2 detik** setelah objek yang sama terdeteksi, guna menghindari respon servo terhadap deteksi yang tidak stabil. Strategi ini terbukti efektif dalam mengurangi kemungkinan deteksi palsu (false detection) akibat noise atau deteksi tidak konsisten.
6. Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan terbukti **berfungsi sesuai tujuan**, yaitu mampu melakukan klasifikasi dan pemisahan sampah secara otomatis. Sistem ini tidak hanya mendukung efisiensi dalam pengelolaan sampah, tetapi juga memberikan kontribusi terhadap upaya penerapan teknologi cerdas dalam mendukung lingkungan yang bersih dan berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdillah, H., Naufal Syahbana, A., Ishaq, G., Husain, A., & Agustin, S. (2024). Detektif Sampah: Klasifikasi Jenis Sampah Organik dan Anorganik Menggunakan Metode YOLOv5 Berbasis Website. In Agustus (Vol. 3, Issue 2).
- [2] Sri Wisna, J. H., Matulatan, T., Hayaty, N., Informatika, J., Teknik, F., Maritim Raja Ali Haji Jl Politeknik Senggarang, U., & Author, C. (2020). Jurnal Sustainable: Jurnal Hasil Penelitian dan Industri Terapan. 09(01), 8-14
- [3] Surbakti, N. M., Angelyca Angelyca, Anita Talia, Cecilia Br Perangin-Angin, Dina Olivia Nainggolan, Nia Devi Friskauly, & Sikap Ruth Br Tumorang. (2024). Penggunaan Bahasa Pemrograman Python dalam Pembelajaran Kalkulus Fungsi Dua Variabel. *Algoritma : Jurnal Matematika, Ilmu Pengetahuan Alam, Kebumihan Dan Angkasa*, 2(3), 98-107. <https://doi.org/10.62383/algoritma.v2i3.67>
- [4] Wijaya Kusuma, A., & Eric Faustin, J. (2023). SISTEM PENGAMANAN PINTU RUMAH DENGAN RASPBERRY PI BERBASIS INTERNET OF THINGS. *Jurnal Publikasi Riset Bersama Dosen Dan Mahasiswa*, 2(6). <https://www.raspberrypi.org/>



- [5] Ali Hafid, M., & Ade Kurniawan, M. (2024). Deteksi Akun Kaggle Bot Menggunakan Linear Regression. Journal Homepage: Journal of Electrical Engineering and Computer (JEECOM), 6(2). <https://doi.org/10.33650/jeecom.v4i2>.
- [6] Aprisia Bahagia, G., Akbar Teknik Informatika, M., & buana Yogyakarta Gejayan Jembatan Merah Yogyakarta, M. (2024). KLASIFIKASI SAMPAH ORGANIK DAN ANORGANIK MENGGUNAKAN METODE CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN). In Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika (Vol. 8, Issue 5)
- [7] Cynthia, G., Hasibuan, R., & Dalimunthe, N. F. (n.d.). Penyuluhan Mengenai Pentingnya Pemilahan Sampah Organik dan Non-Organik ke Anak-anak SD Muhammadiyah 02 Medan..
- [8] Dwi Prasetya, B., Putri Amalia, E., Devita Juliana, P., & Kumalasari Niswatin, R. (2025). Implementasi Object Detection Berbasis Web untuk Klasifikasi Jenis Sampah Menggunakan YOLOv8 (Vol. 4)..
- [9] Haris, M., Pustaka, T., Diponegoro, M. H., Kusumawardani, S., & Hidayah, I. (2021). Tinjauan Pustaka Sistematis: Implementasi Metode Deep Learning pada Prediksi Kinerja Murid (Implementation of Deep Learning Methods in Predicting Student Performance: A Systematic Literature Review). In Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi | (Vol. 10, Issue 2)..
- [10] Hayati, N. J., Singasatia, D., Muttaqin, M. R., Informatika, T., Tinggi, S., & Wastukencana, T. (2023). OBJECT TRACKING MENGGUNAKAN ALGORITMA YOU ONLY LOOK ONCE (YOLO)v8 UNTUK MENGHITUNG KENDARAAN. KOMPUTA: Jurnal Ilmiah Komputer Dan Informatika, 12(2). <https://universe.roboflow.com//>
- [11] Malik, M., Sharma, S., Uddin, M., Chen, C. L., Wu, C. M., Soni, P., & Chaudhary, S. (2022). Waste Classification for Sustainable Development Using Image Recognition with Deep Learning Neural Network Models. Sustainability (Switzerland), 14(12). <https://doi.org/10.3390/su14127222F>
- [12] Ramadhan Hendri, F., & Utaminingrum, F. (2022). Rancang Bangun Sistem Pengklasifikasi Jenis Sampah Organik dan Anorganik menggunakan metode You Only Look Once versi 3 berbasis Raspberry Pi (Vol. 6, Issue 7). <http://j-ptiik.ub.ac.id>.
- [13] Rasyid, M., & Hasibuan, R. (n.d.). MANFAAT DAUR ULANG SAMPAH ORGANIK DAN ANORGANIK UNTUK KESEHATAN LINGKUNGAN..
- [14] Reza Fahcruroji, A., Yunita Wijaya, M., Fauziah, I., Sains dan Teknologi, F., Syarif Hidayatullah Jakarta Jl Ir Juanda No, U. H., Ciputat Tim, K., & Tangerang Selatan, K. (n.d.). IMPLEMENTASI ALGORITMA CNN MOBILENET UNTUK KLASIFIKASI GAMBAR SAMPAH DI BANK SAMPAH