

Implementasi Metode *YOLO* Dalam Mendeteksi Jenis Sampah Berbasis Computer Vision

Muh. Fachrisyam^a, Dolly Indra^b, Mardiyyah Hasnawi^c

Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia

^a13020190149@umi.ac.id; ^bdolly.indra@umi.ac.id; ^cmardiyyah.hasnawi@umi.ac.id

Received: 16-08-2024 | Revised: 16-01-2025 | Accepted: 01-03-2025 | Published: 29-03-2025

Abstrak

Dalam beberapa dekade terakhir, masalah lingkungan, termasuk masalah sampah, telah menjadi isu global. Pengolahan sampah bisa menjadi solusi dalam menangani permasalahan ini, salah satu tantangan utama dalam pengolahan sampah adalah pengenalan dan pemilahan jenis sampah. Oleh karenanya solusi untuk mengatasi masalah ini yaitu dengan memanfaatkan teknologi berbasis komputer, suatu sistem untuk mendeteksi jenis sampah organik dan anorganik. Metode yang digunakan adalah metode *You Only Look Once (YOLO)* salah satu algoritma pendekripsi objek yang dapat digunakan secara *real-time*. Sistem yang dirancang ini menggunakan metode *YOLOv5* dengan penggunaan versi *pre-trained* model *YOLOv5s*. Penelitian ini dibuat melalui beberapa tahap termasuk pengumpulan dataset gambar sampah, pelabelan data, pelatihan model *YOLOv5* hingga pengujian model. Dataset yang digunakan terdiri dari kantong plastik, kertas, kaleng, kulit telur dan tomat. Selanjutnya model akan diuji pada aplikasi *mobile* untuk melakukan deteksi secara langsung menggunakan kamera *smartphone*. Output yang dihasilkan merupakan nama jenis sampah dengan kotak pembatas di sekitar objek yang terdeteksi.

Kata Kunci: *YOLO*, Visi Komputer, Deteksi Objek, Pengolahan Citra, Jenis Sampah

Pendahuluan

Sampah adalah barang atau bahan yang tidak digunakan lagi oleh manusia dan sudah dibuang. Sampah selalu dihasilkan dari aktivitas masyarakat. Agar sampah tidak membahayakan lingkungan, seluruh masyarakat juga bertanggung jawab untuk mengolah sampah[1]. Dalam mengelola sampah, salah satu hal yang penting adalah memilah jenis sampah yang berbeda agar dapat diolah secara terpisah[2]. Namun, tidak semua orang dapat membedakan jenis sampah dengan benar. Sampah organik dan non-organik yang tidak dipisah dapat menyebabkan penyakit karena sampah organik tidak terurai dengan baik apabila menyatu dengan sampah anorganik, menyebabkan bau yang tidak sedap hingga menjadi sarang bakteri dan kuman[3],[4].

Deep Learning adalah salah satu teknologi yang paling cepat berkembang dan mudah beradaptasi dan sering digunakan di banyak bidang pengenalan suara, pemrosesan gambar, grafik, kedokteran, visi komputer, dan banyak lagi[5]. Teknologi ini merupakan salah satu dasar dari pendekripsi objek sehingga menjadi solusi yang menjanjikan dalam mengatasi masalah terkait pengenalan jenis sampah untuk memilah sampah. Deteksi objek adalah suatu proses dalam visi komputer yang menggunakan komputer untuk mendekripsi objek dalam gambar yang dimasukkan dan menandainya pada proses sehingga dapat dilihat pada output[4].

Adapun penelitian terdahulu yang memanfaatkan teknologi pengenalan gambar yang dilakukan oleh Fadhilur Rahman M yang berjudul "Deteksi Sampah pada *Real-time* Video Menggunakan Metode Faster R-CNN" tahun 2020 pada penelitian ini penulis bertujuan menggunakan algoritma Faster R-CNN untuk melakukan klasifikasi dan mendekripsi jenis sampah pada *real-time* video, yang dimana hasil uji coba menunjukkan nilai akurasi sebesar 74% pada 100 gambar objek sampah[4]. Dan pada penelitian yang dibuat oleh Agustina F dan Sukron M yang berjudul "Deteksi Kematangan Buah Pepaya Menggunakan Algoritma *YOLO* Berbasis Android" tahun 2022, penulis melihat masalah berupa menentukan kematangan pepaya secara manual menggunakan mata manusia dapat mengalami kelelahan dan membutuhkan waktu yang lama sehingga penulis membuat aplikasi *mobile* yang menerapkan deteksi objek algoritma *YOLO* untuk melakukan klasifikasi dan mendekripsi tingkat kematangan buah papaya, dari hasil penelitian penulis mendapatkan akurasi sebesar 93%[6].

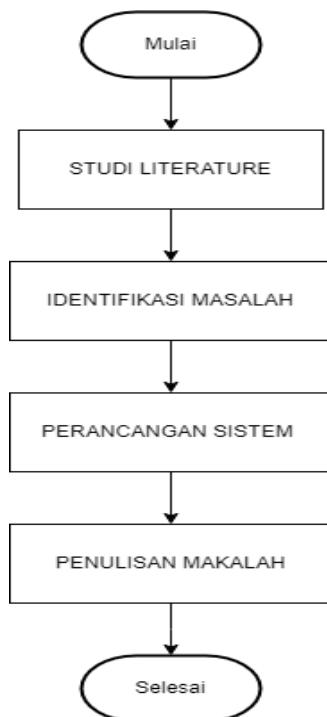
Salah satu algoritma deteksi objek yang sering digunakan dalam tugas pengenalan objek adalah *You Only Look Once (YOLO)* yaitu metode yang dihasilkan oleh Joseph Redmon. Deteksi objek *YOLO* menunjukkan probabilitas kategori dan menampilkan kotak pembatas untuk menunjukkan lokasi objek yang terdeteksi.

Berdasarkan uraian diatas perlu adanya suatu sistem untuk mendekripsi jenis sampah secara cepat, sehingga pada penelitian ini akan dibuat suatu sistem deteksi jenis sampah yang menerapkan algoritma *YOLO* dan berbasis *mobile*. *YOLO* mempunyai performa yang lebih baik dari metode pendekripsi objek lainnya seperti

R-CNN dan DPM. Oleh karena itu dipilih algoritma *YOLO* dikarenakan dapat secara cepat dan akurat menunjukkan informasi objek [7]. Dengan adanya sistem ini diharapkan dapat membantu mendeteksi jenis sampah yaitu sampah organik dan anorganik secara langsung dengan menggunakan *smartphone*. Selain itu, juga dapat menjadi sarana edukasi bagi masyarakat untuk lebih mengetahui jenis sampah yang ada pada lingkungan sekitar.

Metode

Makalah ini dibuat berdasarkan penulisan studi kepustakaan (*library research*) atau studi literatur, dalam studi literatur digunakan berbagai alat perpustakaan, seperti buku referensi, artikel, catatan, dan berbagai jurnal yang relevan. Penelitian dikerjakan dengan cara yang sistematis, data dikelompokkan, dikerjakan, dan disusun berdasarkan program atau metode tertentu yang dapat digunakan guna menemukan solusi dari masalah yang ingin di selesaikan [8]. Berikut tahapannya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Penyusunan Makalah

Berdasarkan Gambar 1, Penulis melakukan penelitian literatur tentang jenis sampah dan algoritma YOLOv5, untuk memahami lebih lanjut konteks dan topik yang akan dibahas. Setelah itu, mengidentifikasi permasalahan, yang dimana dalam penelitian ini ditemukan masalah terkait kurangnya kesadaran masyarakat dalam memilah jenis sampah untuk dibuang dan tidak semua orang dapat membedakan jenis sampah. Langkah berikutnya adalah perancangan sistem atau metodologi penelitian, rencana dan teknik untuk mengumpulkan dan menganalisis data akan dibuat disini. Terakhir, akan dibuat makalah ilmiah yang membahas latar belakang, teknik, dan kesimpulan penelitian. Proses diatas dilakukan agar memastikan penelitian ini dilakukan secara sistematis dan berkelanjutan, dapat berkontribusi dalam pengetahuan dan pemahaman dalam bidang yang diteliti.

A. Computer Vision

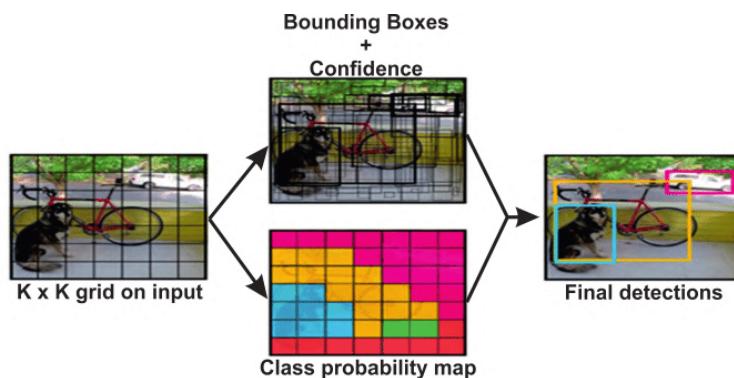
Computer vision adalah subbidang kecerdasan buatan yang mengajarkan komputer untuk memahami dan menafsirkan dunia visual melalui berbagai proses seperti akuisisi gambar, pengolahan gambar, pengenalan gambar hingga pembuatan keputusan[9]. *Computer vision* mencoba meniru cara kerja sistem visual manusia (*human vision*) yang sangat kompleks, bagaimana manusia melihat objek dengan indra penglihatan yaitu mata, kemudian gambar objek diteruskan ke otak untuk diinterpretasi sehingga manusia mengetahui objek apa yang dipandangi oleh mata [10]. Dan kemudian hasil interpretasi ini dipergunakan dalam proses pengambilan keputusan. Pada *Computer Vision*, komputer dapat dengan akurat mengidentifikasi dan mengklasifikasikan objek dengan menggunakan gambar digital dan video yang

ditangkap dengan kamera serta model pembelajaran mendalam. Kemudian, dengan hasilnya komputer dapat bereaksi terhadap apa yang "dilihatnya"[11].

B. You Only Look Once (YOLO)

YOLO, juga dikenal sebagai *You Only Look Once* adalah salah satu teknik pendekripsi objek yang populer karena kecepatannya dalam mendekripsi objek dalam gambar atau video secara *real-time*[12]. *YOLO* hanya menggunakan satu lapisan jaringan untuk memprediksi objek dalam gambar atau video sehingga membuat performa *YOLO* lebih cepat, inilah yang membuat perbedaan dengan algoritma deteksi objek lainnya seperti R-CNN dan turunan CNN lainnya[13].

Gambar 2 menunjukkan bagaimana cara kerja *YOLO* dibagi menjadi beberapa tingkatan. Tingkat pertama yaitu gambar dibagi menjadi beberapa sel jaringan, *YOLO* menerima sebuah *input* gambar yang dibagi menjadi *grid* sebesar $S \times S$ yang kemudian dikirimkan ke sebuah *neural network* yang bertugas untuk membuat *bounding box* dan *class prediction*. Kemudian setiap kotak dalam *grid* memprediksi *bounding box* dan *confidence score*, selain itu tiap kotak juga menghasilkan *class prediction*. Pada tahap akhir kotak pembatas dengan *confidence score* yang tinggi akan dipilih sebagai deteksi akhir[13], [14],[15],[16].



Gambar 2. Alur Kerja *YOLO*

YOLOv5, juga dikenal sebagai *ultralytics YOLO* adalah model deteksi objek generasi ke lima yang dirilis pada tahun 2016. Meski *YOLOv5* menggunakan arsitektur yang hampir sama, *YOLOv5* berhasil mengurangi ukuran model dari yang awalnya sebesar 245 MB menggunakan *YOLOv4*, menjadi hanya 27 MB dengan *YOLOv5* dengan ukuran gambar yang sama. Akan tetapi, *YOLOv5* hanya memiliki AP 36.7%, lebih rendah jika dibandingkan dengan *YOLOv4* yang memiliki AP 41.2% pada konfigurasi dataset dan lingkungan yang sama [13].

C. Confusion Matrix

Confusion Matrix merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengukur performa dari suatu model[14]. terdapat beberapa istilah umum yang dapat dipakai dalam proses pengukuran kinerja dari model klasifikasi yaitu:

1. *True Positive* (TP) merupakan data positif yang diprediksi benar
 2. *True Negative* (TN) merupakan data negatif yang diprediksi benar
 3. *False Positive* (FP) merupakan data negatif namun diprediksi sebagai data positif
 4. *False Negative* (FN) merupakan data positif namun diprediksi sebagai data negatif
- Confusion matrix* tersebut dapat ditunjukkan pada tabel 1 berikut[17] :

Tabel 1. *Confusion Matrix*

<i>Actual Class</i>	<i>Predicted Class</i>			Total
	Yes	TP	FN	
NO	FT	TN	N	
Total	P	N	P+N	

Berdasarkan Tabel 1 *confusion matrix* kita dapat menggunakan variabel-variabel yang ada untuk melakukan evaluasi terhadap model dengan menghitung akurasi, presisi, recall, dan banyak lagi untuk model klasifikasi.

Presisi menunjukkan seberapa tepat suatu model dalam memprediksi kejadian positif dalam serangkaian kegiatan prediksi. Untuk menghitung tingkat presisi dapat digunakan persamaan (1) sebagai berikut[17]:

$$\text{Presisi} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (1)$$

Recall merupakan rasio prediksi benar yang positif dibandingkan dengan hasil yang diprediksi secara keseluruhan positif. *recall* dapat dihitung menggunakan persamaan (2) berikut[17]:

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (2)$$

Salah satu metrik evaluasi yang paling umum digunakan dalam deteksi objek adalah mAP (*Mean Average Precision*), termasuk yang digunakan dalam algoritma *You Only Look Once (YOLO)* dan model deteksi objek lainnya. mAP menggabungkan dua aspek penting dalam deteksi objek yaitu recall dan presisi [18]. mAP hanyalah AP rata-rata di semua kelas yang dapat di formulakan seperti pada persamaan (3):

$$mAP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N AP_i \quad (3)$$

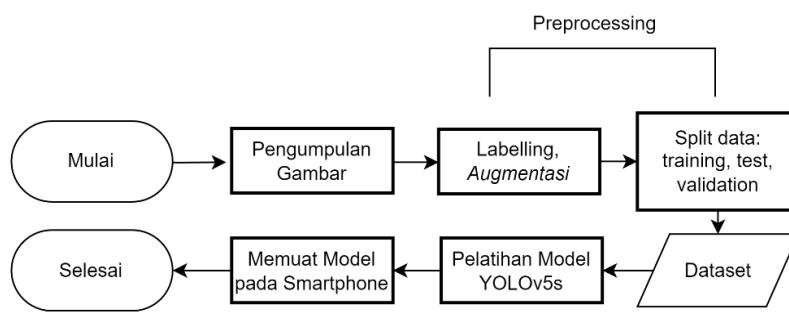
Di mana AP_i adalah AP untuk kelas ke- i dan N adalah jumlah total kelas yang dievaluasi.

D. Google Colaboratory

Colaboratory, juga dikenal sebagai "Colab", adalah produk dari *Google Research*. *Colab* dapat digunakan untuk menulis dan menjalankan kode *python* arbitrer melalui *browser*, sehingga cocok digunakan untuk *machine learning*, analisis data, serta pendidikan. Secara lebih teknis, *Colab* merupakan layanan *notebook Jupyter* yang dihosting dan dapat digunakan secara langsung tanpa penyiapan sehingga pengguna bisa mengerjakan pekerjaan yang membutuhkan spesifikasi tinggi hanya menggunakan *browser*, karena *colab* juga menyediakan akses gratis ke *resource* komputasi termasuk GPU. Untuk memungkinkan *Colab* menyediakan sumber daya secara gratis, sumber daya yang disediakan memiliki sifat terbatas dan batas penggunaannya sering berubah-ubah. Jika pengguna ingin memiliki akses lebih banyak *resource* dan lebih andal dapat menggunakan *Colab Pro*. *Colab Pro* bisa dibilang merupakan versi *premium* dari *colab*, langkah pertama yang diambil *Google* untuk membantu pengguna yang ingin melakukan lebih banyak hal di *Colab*. Tujuan jangka panjang *Google* adalah untuk terus menyediakan versi gratis *Colab* dan berkembang secara berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan pengguna[19],[20].

Perancangan

Peneilitian ini berisikan tahapan-tahapan penelitian yang akan dilakukan, tahapan penelitian ini berdasarkan tahapan metode penelitian yang tercantum pada Gambar 2 dibawah :

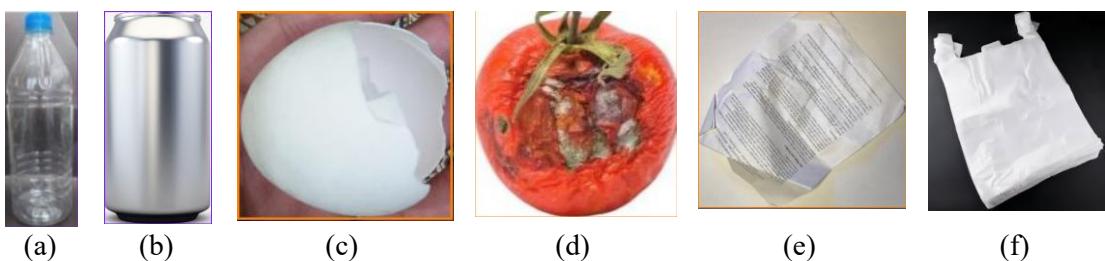


Gambar 2. Bagan Alir Sistem

A. Pengumpulan Gambar

Dataset gambar dikumpulkan dengan cara mencari melalui internet dan dengan memotret objek menggunakan kamera *smartphone*, gambar yang ingin digunakan terdiri dari 100 gambar botol, 100 gambar kaleng, 100 gambar kantong plastik, 100 gambar kertas, 100 gambar kulit telur, 100 gambar tomat

sehingga total data gambar berjumlah 600 dengan format png. Contoh dataset yang dikumpulkan berdasarkan Gambar 3.



Gambar 3. Contoh gambar dataset (a) botol, (b) kaleng, (c) kulit telur, (d) tomat, (e) kertas, (f) kantong plastik

B. Preprocessing

Setelah gambar terkumpul, maka dilakukan proses *preprocessing* untuk mengolah data mentah hingga dapat digunakan dalam proses pelatihan model[5]. Dengan menggunakan aplikasi Roboflow langkah pertama pada proses ini yaitu dengan mengubah ukuran tiap gambar menjadi 640x640 pixels. Kemudian tahapan selanjutnya dari proses ini terdiri dari:

1. Labelling

Labelling merupakan proses pembagian kelas pada setiap citra dengan memberikan kotak pembatas[5]. Dalam penelitian ini gambar objek sampah kantong plastik, kaleng, dan botol akan dimasukkan ke kelas sampah anorganik, sedangkan objek kulit telur, tomat ,dan kertas dimasukkan ke kelas sampah organik.

2. Augmentasi

Memberikan transformasi kepada masing-masing data objek sampah dengan tujuan memperbanyak jumlah dataset[5]. Augmentasi akan dilakukan dengan menggunakan Roboflow, variasi yang akan digunakan adalah rotasi, *flip*, dan *shear*

3. Distribusi data

Dataset yang ada akan dibagi menjadi tiga bagian yaitu 80% data latih untuk melatih model, 10% data validasi, dan 10 % data uji untuk membandingkan performa model setelah pelatihan[5].

C. Pelatihan Model YOLOv5s

Setelah proses *preprocessing*, dataset akan diexport kedalam bentuk *YOLOv5* pytorch agar bisa digunakan pada proses pelatihan model *YOLOv5*. Pelatihan akan dilakukan dengan menggunakan *pre-trained* model *YOLOv5s*. Setelah proses pelatihan, model yang didapatkan akan dijalankan evaluasi untuk melihat nilai mAP, precision, dan recall.

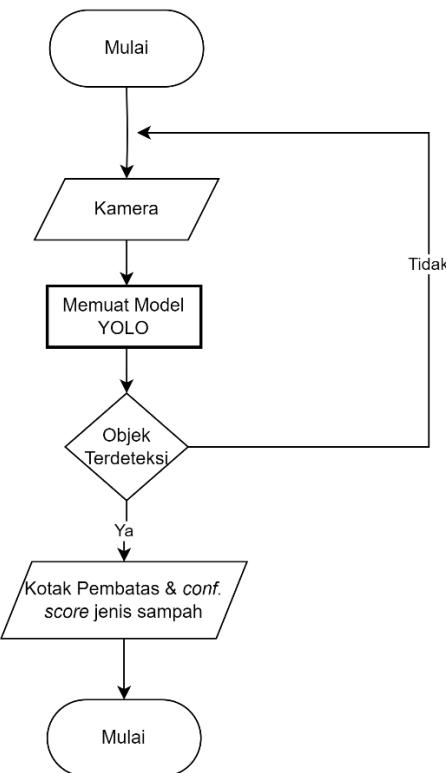
D. Memuat model pada smartphone

Model yang dihasilkan dari proses pelatihan menggunakan *pre-trained* *YOLOv5s* masih harus dikonversi agar dapat dimuat pada *smartphone*. Dalam hal ini akan dilakukan pengubahan format model dari .pt (*pytorch*) menjadi .tflite (*Tensorflow Lite*). Model dengan format .tflite inilah yang akan dimuat di aplikasi untuk melakukan deteksi secara *real-time*. Aplikasi *mobile* akan dibuat menggunakan android studio dengan memuat model *YOLO* yang didapatkan dari proses konversi model.

Pemodelan

Pemodelan terdiri dari gambaran sistem pendekripsi jenis sampah, dalam hal ini akan dibuat dalam bentuk diagram alir sistem dan proses pelatihan model *YOLO*

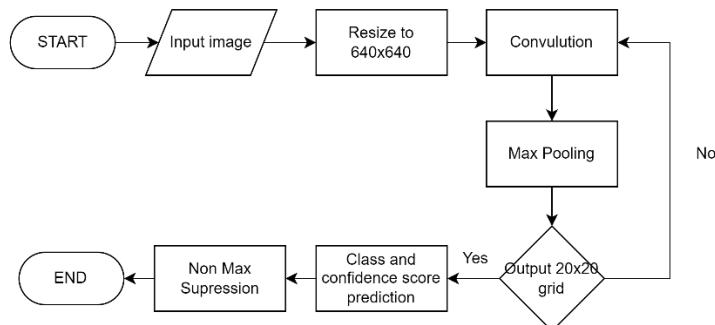
A. Diagram Alir Sistem



Gambar 4. Diagram alir Pendekripsi Jenis Sampah

Gambar 4 merupakan diagram alir yang menunjukkan proses dari sistem deteksi jenis sampah. *Input* merupakan pratinjau kamera secara langsung kemudian sistem juga memuat model file *weight* dari hasil pelatihan algoritma *YOLO*. Jika pada kamera terdapat objek sampah layar akan mendekripsi dan menunjukkan kelas hasil deteksi beserta kotak pembatas dan *confidence score*nya.

B. Proses Algoritma *YOLO*

Gambar 5. Proses Algoritma *YOLO*

Gambar 5 menjelaskan proses dari algoritma *YOLO*, langkah pertama adalah menginputkan dataset berupa gambar dari objek jenis sampah. Setelah itu gambar akan di resize ukurannya menjadi 640x640 pixel setelah gambar di ubah akan dilakukan proses *Convolution* dan *Max Pooling*, dimana gambar akan melewati lapisan konvolusi yang berfungsi mengekstrak fitur-fitur penting dari gambar lalu selanjutnya gambar akan melewati lapisan *pooling* yang mana akan mereduksi dimensi input dengan operasi *downsampling* gambar disederhanakan dengan mengurangi ukurannya , tapi tetap menjaga informasi atau fitur yang penting. Proses ini memperkecil ukuran gambar secara bertahap, dari ukuran 640x640 menjadi 320x320, hingga akhirnya menjadi 20x20. Setelah didapat grid 20x20 , maka setiap sel dalam grid memprediksi *bounding box* dan juga memprediksi kemungkinan kelas jenis sampah, kemudian teknik *non max suppression* menyaring *bounding box* yang memiliki nilai kepercayaan yang rendah.

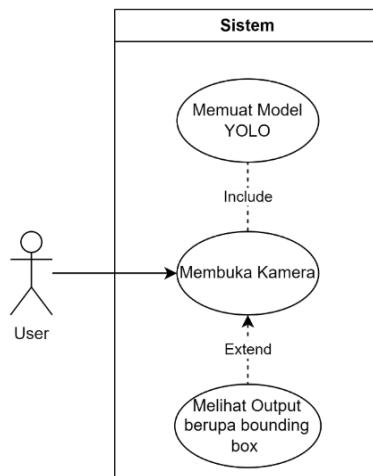
Tabel 2 Berikut merupakan hasil dari pengujian kinerja model *YOLOv5s* dalam mendeteksi jenis sampah yang di latih menggunakan *software google colab* dengan penggunaan 600 dataset pada rasio 80% data latih, 10% data validasi, dan 10% data uji.

Tabel 2. Kinerja model *YOLOv5s*

No	Metrik Evaluasi	Hasil
1	<i>Pretrained Model</i>	<i>YOLOv5s</i>
2	<i>Precision</i>	0.873
3	<i>Recall</i>	0.714
4	mAP	77.5%

Berdasarkan tabel 2 diatas kinerja model dalam mendeteksi jenis sampah cukup baik dengan mAP (*mean average precision*) 77%.

C. Diagram Use Case



Gambar 6. Diagram Use Case

Gambar 6 menjelaskan pengguna dapat menggunakan fungsi membuka kamera sekaligus memuat model *YOLO* dan melihat output berupa kotak pembatas dengan nama jenis sampah.

D. Rancangan Antarmuka



Gambar 7. Halaman depan

Gambar 7 merupakan tampilan depan. Dimana pada halaman ini terdapat *button* yang berfungsi untuk membuka kamera.



Gambar 8. Tampilan pendekripsi jenis sampah

Gambar 8 menampilkan tampilan dari proses pendekripsi jenis sampah dengan menggunakan kamera.

Kesimpulan

Secara keseluruhan, tulisan ini mencoba menawarkan solusi melalui penggunaan teknologi deteksi objek yang dirancang untuk *smartphone* untuk mendekripsi jenis sampah dan menekankan pentingnya proses pemilahan sampah. Dengan menggunakan algoritma deteksi objek *YOLOv5* sistem mampu melakukan deteksi objek jenis sampah dengan cukup baik hal ini ditunjukkan dengan didapatkan hasil dari kinerja model *YOLOv5s* dalam mendekripsi jenis sampah yaitu 77% mAP. Dengan penggunaan *smartphone* dalam mendekripsi jenis sampah selain membantu dalam proses pemilahan sampah sistem ini dapat menjadi sarana pendidikan untuk mengetahui jenis sampah. Diharapkan bahwa dengan perancangan ini dapat membantu dalam proses pemilahan sampah.

Daftar Pustaka

- [1] M. Z. Elamin dkk., “Analisis pengelolaan sampah pada masyarakat desa disanah kecamatan sreseh kabupaten sampang,” *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, vol. 10, no. 4, hlm. 368–375, 2018.
- [2] A. R. Papua, T. Hasanuddin, dan M. Hasnawi, “Decision Support System for Ranking Active Waste Bank in Makassar City Using TOPSIS and VIKOR Methods,” *Jurnal Sisfokom (Sistem Informasi dan Komputer)*, vol. 13, no. 2, hlm. 267–273, 2024.
- [3] N. Andayani, E. Mulatsari, M. Moordiani, S. Khairani, dan G. F. Swandiny, “Edukasi dan Aplikasi Pengelolaan Sampah Berbasis Pemilahan Sampah di Lingkungan Fakultas Farmasi Universitas Pancasila,” *Jurnal Abdimas BSI: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 5, no. 1, hlm. 23–35, 2022.
- [4] M. Fadhilur Rahman, “Deteksi Sampah pada Real-time Video Menggunakan Metode Faster R-CNN,” 2020.
- [5] L. N. Hayati, A. N. Handayani, W. S. G. Irianto, R. A. Asmara, D. Indra, dan M. Fahmi, “Classifying BISINDO alphabet using tensorflow object detection API,” *ILKOM Jurnal Ilmiah*, vol. 15, no. 2, hlm. 358–364, 2023.
- [6] F. Agustina dan M. Sukron, “Deteksi Kematangan Buah Pepaya Menggunakan Algoritma YOLO Berbasis Android,” *Jurnal Ilmiah Infokam*, vol. 18, no. 2, hlm. 70–78, 2022.
- [7] F. Agustina dan M. Sukron, “Deteksi Kematangan Buah Pepaya Menggunakan Algoritma YOLO Berbasis Android,” 2022.
- [8] M. Sari dan A. Asmendri, “Penelitian kepustakaan (library research) dalam penelitian pendidikan IPA,” *Nat Sci (Irvine)*, vol. 6, no. 1, hlm. 41–53, 2020.
- [9] Z. Munawar dkk., *Visi Komputer: Konsep, Metode, dan Aplikasi*. Kaizen Media Publishing, 2023.
- [10] A. N. Tompunu, I. Azro, dan R. D. Kusumanto, “Model simulasi Facetracker Menggunakan metode HAAR LIKE FEATURE dan PID dengan 2 DOF (Degree of Freedom),” *MANAJEMEN INFORMATIKA*, vol. 6, no. 2, 2013.
- [11] A. A. Wijaya dan Y. Prayudi, “Implementasi visi komputer dan segmentasi citra untuk klasifikasi bobot telur ayam ras,” dalam *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI)*, 2010.
- [12] D. Permana dan J. Sutopo, “Aplikasi Pengenalan Abjad Sistem Isyarat Bahasa Indonesia (SIBI) Dengan Algoritma YOLOv5,” *Jurnal Simantec*, vol. 11, no. 2, hlm. 231–240, 2023.
- [13] D. Luthfy, C. Setianingsih, dan M. W. Paryasto, “Indonesian Sign Language Classification Using You Only Look Once,” *eProceedings of Engineering*, vol. 10, no. 1, 2023.

- [14] T. Shafira, "Implementasi Convolutional Neural Networks Untuk Klasifikasi Citra Tomat Menggunakan Keras," 2018.
- [15] C. N. Liunanda, S. Rostianingsih, dan A. N. Purbowo, "Implementasi Algoritma YOLO pada Aplikasi Pendekripsi Senjata Tajam di Android," 2020.
- [16] H. V. Nguyen, J. H. Bae, Y. E. Lee, H. S. Lee, dan K. R. Kwon, "Comparison of Pre-Trained YOLO Models on Steel Surface Defects Detector Based on Transfer Learning with GPU-Based Embedded Devices," *Sensors*, vol. 22, no. 24, Des 2022, doi: 10.3390/s22249926.
- [17] I. R. Sari, "Implementasi Convolutional Neural Networks (CNN) Untuk Klasifikasi Citra Benih Kacang Hijau Berkualitas," 2021.
- [18] M. D. R. P. Dio, B. P. Bayu Priyatna, A. L. H. April Lia Hananto, dan S. S. H. Shofa Shofiah Hilabi, "Deteksi Objek Kecelakaan Pada Kendaraan Roda Empat Menggunakan Algoritma YOLOv5," *Teknologi*, vol. 12, no. 2, hlm. 15–26, Des 2022, doi: 10.26594/teknologi.v12i2.3260.
- [19] I. Kurniawan, S. Aulia, dan A. Hartaman, "Rancang Bangun Sistem Pembelajaran Pengenalan Komponen Elektronika Berbasis Pengolahan Citra," *eProceedings of Applied Science*, vol. 9, no. 1, 2023.
- [20] G. I. E. Soen, M. Marlina, dan R. Renny, "Implementasi Cloud Computing dengan Google Colaboratory pada Aplikasi Pengolah Data Zoom Participants," *JITU: Journal Informatic Technology And Communication*, vol. 6, no. 1, hlm. 24–30, 2022.