



**RANCANG BANGUN SISTEM PEMILAH SAMPAH SECARA
OTOMATIS BERBASIS VISI KOMPUTER MENGGUNAKAN YOLO**

LAPORAN TUGAS AKHIR



Program Studi

S1 Teknik Komputer

**UNIVERSITAS
Dinamika**

Oleh:

ANSELMUS ROMAN

20410200019

**FAKULTAS TEKNOLOGI DAN INFORMATIKA
UNIVERSITAS DINAMIKA
2024**

**RANCANG BANGUN SISTEM PEMILAH SAMPAH SECARA
OTOMATIS BERBASIS VISI KOMPUTER MENGGUNAKAN YOLO**

TUGAS AKHIR

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Sarjana Teknik Komputer**



Disusun Oleh:

Nama : ANSELMUS ROMAN
NIM : 20410200019
Program : S1 (Strata Satu)
Jurusan : Teknik Komputer

**FAKULTAS TEKNOLOGI DAN INFORMATIKA
UNIVERSITAS DINAMIKA**

2024

TUGAS AKHIR

RANCANG BANGUN SISTEM PEMILAH SAMPAH SECARA OTOMATIS BERBASIS VISI KOMPUTER MENGGUNAKAN YOLO

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Anselmus Roman

NIM: 20410200019

Telah Diperiksa, dibahas dan disetujui oleh Dewan Pembahas

Pada: 25 Juli 2024

Susunan Dewan Pembahas

Pembimbing:

I. **Heri Pratikno, M.T., MTCNA., MTCRE.**

NIDN.0716117302

II. **Weny Indah Kusumawati, S.Kom., M.MT.**

NIDN.0721047201



Digitally signed by Heri Pratikno, M.T.
DN: cn=Heri Pratikno, M.T.,
o=Universitas Dinamika, ou=S1 Teknik
Komputer,
email=heri@dinamika.ac.id, c=ID
Date: 2024.07.26 10:48:39 +07'00'
Adobe Acrobat version: 11.0.23



cn=Weny Indah Kusumawati,
o=Undika, ou=Prodi S1 TK - FTI,
email=weny@dinamika.ac.id,
c=ID
2024.07.26 08:43:45 +07'00'

Pembahas:

I. **Pauladie Susanto, S.Kom., M.T.**

NIDN.0729047501



cn=Pauladie Susanto, o=Universitas
Dinamika, ou=PS S1 Teknik Komputer,
email=pauladie@dinamika.ac.id, c=ID
2024.07.26 11:12:31 +07'00'

Tugas akhir ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar sarjana

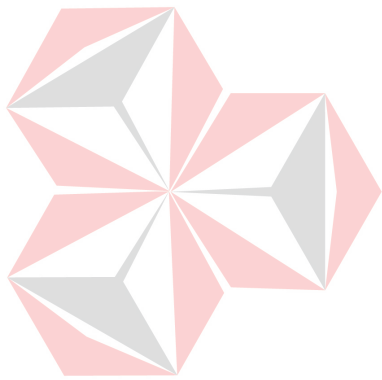


Digitally signed by Anjik Sukmaaji
Date: 2024.07.29 11:44:07 +07'00'

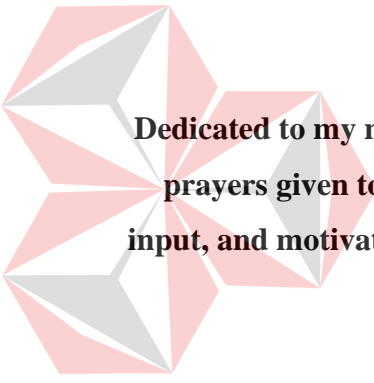
Dr. Anjik Sukmaaji, S.Kom., M.Eng.

NIDN : 0731057301

Dekan Fakultas Teknologi dan Informatika
UNIVERSITAS DINAMIKA



UNIVERSITAS
"A vibe called blessed"
~ Catholic vibe ~
Dinamika



Dedicated to my mother, father and family for their support, motivation and the best prayers given to me. Along with all the people who always help, support, provide input, and motivate me to keep trying and learning to be better and learn to be better.

PERNYATAAN
PERSETUJUAN PUBLIKASI DAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Sebagai mahasiswa Universitas Dinamika, Saya:

Nama : Anselmus Roman

NIM : 20.41020.0019

Program Studi : S1 Teknik Komputer

Fakultas : Fakultas Teknologi dan Informatika

Jenis Karya : Laporan Tugas Akhir

Judul Karya : **RANCANG BANGUN SISTEM PEMILAH SAMPAH
SECARA OTOMATIS BERBASIS VISI KOMPUTER
MENGUNAKAN YOLO**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa:

1. Demi pengembangan Ilmu Pengetahuan, Teknologi dan Seni, Saya menyetujui memberikan kepada Universitas Dinamika Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-Exclusive Royalty Free Right*) atas seluruh isi/sebagian karya ilmiah Saya tersebut diatas untuk disimpan, dialihmediakan, dan dikelola dalam bentuk pangkalan data (*database*) untuk selanjutnya didistribusikan atau dipublikasikan demi kepentingan akademis dengan tetap mencantumkan nama Saya sebagai penulis atau pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.
2. Karya tersebut diatas adalah hasil karya asli Saya, bukan plagiat baik sebagian maupun keseluruhan. Kutipan, karya, atau pendapat orang lain yang ada dalam karya ilmiah ini semata-mata hanya sebagai rujukan yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka Saya.
3. Apabila dikemudian hari ditemukan dan terbukti terdapat tindakan plagiasi pada karya ilmiah ini, maka Saya bersedia untuk menerima pencabutan terhadap gelar keserjanaan yang telah diberikan kepada Saya.

Demikian surat pernyataan ini Saya buat dengan sebenar-benarnya.

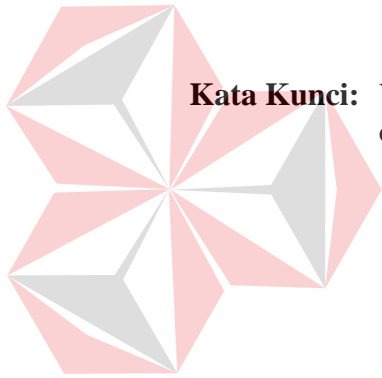
Surabaya, 11 Juli 2024



Anselmus Roman
NIM: 20.41020.0019

ABSTRAK

Pertumbuhan populasi manusia mengakibatkan timbulnya peningkatan volume sampah yang tidak diimbangi dengan sistem pengelolaan yang efektif menjadi salah satu masalah lingkungan yang serius. Untuk mengatasi masalah ini, penelitian ini mengembangkan sebuah sistem pemilah sampah secara otomatis berbasis visi komputer menggunakan algoritma YOLO (*You Only Look Once*). Sistem ini berupa *prototype* yang dirancang untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan tiga jenis sampah umum yakni sampah kertas berbentuk persegi atau persegi panjang, sampah plastik dengan bentuk botol, dan sampah metal dengan bentuk kaleng minuman. *Output* dari proses deteksi sampah tersebut akan membuka kotak sampah secara otomatis berdasarkan jenisnya. Dari hasil pengujian, sistem ini terbukti mampu mengklasifikasikan sampah dan mengontrol kotak sampah dengan tingkat akurasi deteksi plastik 81%, akurasi deteksi sampah kertas 76%, dan akurasi deteksi jenis sampah metal sebesar 75%. Sistem pemilah sampah dapat berjalan secara *realtime*. Harapan penulis, sistem pemilah sampah otomatis ini dapat berkontribusi signifikan dalam mengurangi dampak negatif sampah terhadap lingkungan, mendukung upaya daur ulang yang efektif serta proses interaksinya dapat dilakukan lebih interaktif.



Kata Kunci: YOLO, visi komputer, sampah, *realtime*, *prototype*, kotak sampah otomatis.

UNIVERSITAS
Dinamika

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya yang melimpah, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Matakuliah Tugas Akhir pada Program Studi S1 Teknik Komputer Universitas Dinamika.

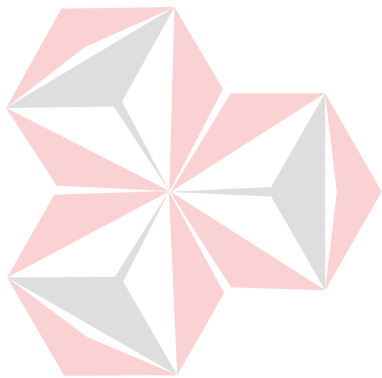
Dalam proses penulisan Laporan Tugas Akhir ini, penulis menerima banyak bantuan baik secara moral maupun materi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Tuhan Yesus, karena dengan rahmat dan berkat-Nya yang berlimpah penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.
2. Orang Tua yang selalu memberikan support selalu dalam berbagai hal sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Anjik Sukmaaji, S.Kom., M.Eng. selaku Dekan Fakultas Teknologi dan Informatika Universitas Dinamika.
4. Bapak Pauladie Susanto, S.kom., M.T. Selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Komputer dan juga sebagai Dosen Pembahas yang telah memberikan banyak masukan penting sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
5. Bapak Heri Pratikno, M.T., MTCNA., MTCRE. Selaku Dosen Pembimbing 1 yang selalu meluangkan waktunya ditengah kesibukannya untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
6. Ibu Weny Indah Kusumawati, S.Kom., M.MT. Selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah membantu mengajarkan dan membagi ilmunya kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
7. Seluruh teman – teman sedulur S1 Teknik Komputer terkhusus angkatan 2020 yang telah membantu penulis berupa dukungan, semangat, dan masih banyak lagi.
8. Semua orang yang membaca Laporan Tugas Akhir ini sebagai pembelajaran maupun sebagai referensi, semoga dapat membantu menyelesaikan permasalahan yang sedang dialami.

Penulis berharap semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi setiap orang yang membacanya sehingga wawasan pembaca menjadi bertambah. Penulis menyadari bahwa penulisan laporan ini terdapat kekurangan. Oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan oleh penulis untuk membantu menyempurnakan laporan ini.

Surabaya, 25 Juli 2024

Penulis



UNIVERSITAS
Dinamika

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Sampah	5
2.2 Object Detection	5
2.3 YOLO	6
2.4 Arduino UNO	9
2.5 Camera Logitech Stream HD Pro C922	10
2.6 Servo Motor	10
2.7 Roboflow	11
2.8 Google Colaboratory	11
2.9 Kaggle	12
2.10 Visual Studio Code	13
2.11 Arduino IDE	13
BAB III METODE PENELITIAN	15
3.1 Studi Literatur	15
3.2 Pengumpulan Dataset	15
3.3 Pengolahan Dataset	16
3.4 Training, Validation & Testing	16

3.5 Perancangan Perangkat Keras.....	17
3.6 Instalasi Environment	19
3.7 Metode Deteksi dengan YOLO	19
3.8 Flowchart	20
BAB IV HASIL PENELITIAN	23
4.1 Validasi Dari Proses Training Data	23
4.2 Pengujian Kontrol Sistem	25
4.3 Pengujian Proses Deteksi Obyek Sistem	29
4.4 Pengujian Jarak Deteksi Terbaik Sistem	32
BAB V PENUTUP.....	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49
BIODATA PENULIS	51
LAMPIRAN.....	52



UNIVERSITAS
Dinamika

DAFTAR TABEL

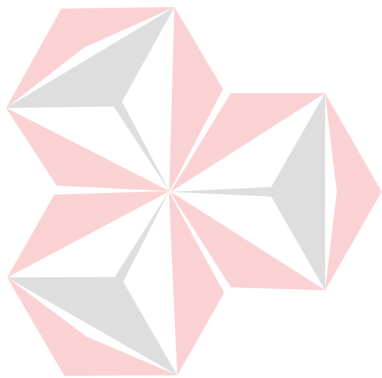
	Halaman
Tabel 4.1 Hasil validasi proses training dataset sampah kertas	24
Tabel 4.2 Hasil validasi proses training dataset sampah plastik	24
Tabel 4.3 Hasil validasi proses training dataset sampah metal	24
Tabel 4. 4 Hasil pengujian kontrol sistem sampah kertas	26
Tabel 4. 5 Hasil pengujian kontrol sistem sampah plastik.....	27
Tabel 4. 6 Hasil pengujian kontrol sistem sampah metal.....	28
Tabel 4. 7 Hasil pengujian proses deteksi obyek sistem sampah kertas	29
Tabel 4. 8 Hasil pengujian proses deteksi obyek sistem sampah plastik.....	30
Tabel 4. 9 Hasil pengujian proses deteksi obyek sistem sampah metal.....	31
Tabel 4. 10 Pengujian jarak 0.5 meter untuk sampah kertas.....	33
Tabel 4. 11 Pengujian jarak 0.5 meter untuk sampah plastik.....	34
Tabel 4. 12 Pengujian jarak 0.5 meter untuk sampah metal	35
Tabel 4. 13 Pengujian jarak 1.0 meter untuk sampah kertas.....	36
Tabel 4. 14 Pengujian jarak 1.0 meter untuk sampah plastik.....	37
Tabel 4. 15 Pengujian jarak 1.0 meter untuk sampah metal	38
Tabel 4. 16 Pengujian jarak 1.5 meter untuk sampah kertas.....	39
Tabel 4. 17 Pengujian jarak 1.5 meter untuk sampah plastik.....	40
Tabel 4. 18 Pengujian jarak 1.5 meter untuk sampah metal	41
Tabel 4. 19 Pengujian jarak 2.0 meter untuk sampah kertas.....	42
Tabel 4. 20 Pengujian jarak 2.0 meter untuk sampah plastik.....	44
Tabel 4. 21 Pengujian jarak 2.0 meter untuk sampah metal	45
Tabel 4. 22 Rangkuman nilai hasil pengujian.....	46

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Struktur YOLO.....	6
Gambar 2. 2 Programmable Gradient Information	8
Gambar 2. 3 Generalized Efficient Layer Aggregation Network	8
Gambar 2. 4 Arduino UNO	9
Gambar 2. 5 Logitech Stream HDPro C922	10
Gambar 2. 6 Servo Motor.....	10
Gambar 2. 7 Roboflow	11
Gambar 2. 8 Google Colaboratory	12
Gambar 2. 9 Kaggle	12
Gambar 2. 10 Visual Studio Code	13
Gambar 2. 11 Arduino IDE.....	13
Gambar 3. 1 Sampel dataset sampah	15
Gambar 3. 2 Proses anotasi dataset.....	16
Gambar 3. 3 Training dataset 150 Epochs	17
Gambar 3. 4 Flowchart perangkat keras	18
Gambar 3. 5 Perancangan perangkat keras	18
Gambar 3. 6 Hasil perancangan perangkat keras	19
Gambar 3. 7 Flowchart YOLO	20
Gambar 3. 8 Flowchart Python pada laptop/komputer	21
Gambar 3. 9 Flowchart Serial Arduino UNO	22

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Program Training Dataset.....	52
Lampiran 2. Program Python	53
Lampiran 3. Program Arduino UNO	59
Lampiran 4 Form Bimbingan Tugas Akhir.....	61
Lampiran 5 Bukti Originalitas Tugas Akhir	62



UNIVERSITAS
Dinamika

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sampah adalah sisa hasil aktivitas manusia dan proses alam. Sampah bukan sekadar benda tak berguna, tapi juga cerminan kebiasaan dan gaya hidup manusia. Di balik tumpukan sampah, terdapat berbagai permasalahan yang perlu diurai dan dicarikan solusinya. Sampah pada awalnya berguna bagi masyarakat, tetapi seiring dengan perkembangan zaman, sampah-sampah yang tidak berguna juga mulai bermunculan.

Masyarakat dekade sekarang memiliki sebuah kebiasaan membuang sampah sembarangan dikarenakan kurangnya pendidikan akan pentingnya membuang sampah pada tempatnya. Masyarakat belum memiliki kesadaran untuk memilah dan membedakan jenis sampah dengan baik dan benar sehingga mengakibatkan pekerjaan pengolahan sampah semakin rumit dan memakan waktu yang lama (Kholis & Utaminingrum, n.d.). Kemajuan teknologi yang pesat sekarang telah membantu menjawab permasalahan sampah dengan cara memberikan edukasi lewat konten-konten video yang interaktif dan bermanfaat, serta mengembangkan dan menciptakan produk pengolahan sampah mulai dari yang sederhana hingga kompleks yang dapat membantu menyadarkan dan membudayakan buang sampah pada tempatnya.

Deep learning merupakan salah satu teknologi di bidang kecerdasan buatan. *Deep learning* bukanlah sekadar tren teknologi yang menarik, melainkan sebuah terobosan dalam kecerdasan buatan yang terus berkembang pesat. *Deep learning* ibarat murid tekun yang menimba ilmu dari data dalam jumlah masif, memetik hikmah dari setiap pola dan hubungan untuk menjadi semakin cerdas.

Salah satu model *deep learning* adalah YOLO (“*You Only Look Once*”). YOLO adalah model deteksi obyek *realtime* yang menggunakan jaringan saraf tiruan untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan obyek dalam gambar atau video. Model ini dilatih dengan menggunakan dataset besar yang berisi gambar dan anotasi obyek, sehingga model dapat mempelajari pola dan ciri-ciri obyek yang ingin dideteksi.

Beberapa penelitian terdahulu yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini yakni: Sistem pencacah sampah berbasis visi komputer yang diteliti oleh Aditya Wijayanto dan kawan-kawan. Pada penelitian ini sistem dibangun untuk memilah sampah organik dan anorganik secara otomatis menggunakan YOLO versi 3.0 dengan menerapkan metode eigenface (Wijayanto et al., 2022). Perbedaan penelitian ini dengan penelitian yang sedang dikerjakan ada beberapa bagian yakni metode yang digunakan adalah perhitungan konvolusi, menggunakan YOLO versi 9.0, dan sampah jenis sampah yang diteliti adalah sampah plastik dan sampah kertas.

Berikutnya adalah Rancang Bangun Drone Pembersih Sampah Menggunakan Arduino Uno Sebagai Pengendali Utama yang diteliti oleh Tito Aminullah. Pada penelitian ini sistem dibuat berbentuk *drone* yang dilengkapi dengan penyaring dan dikendalikan dengan android berbasis *bluetooth*. *Drone* ini akan membersihkan sampah yang mengapung diperairan seperti sungai, tambak, atau kolam (Aminullah, n.d.). Perbedaan penelitian ini dengan penelitian yang sedang dikerjakan terletak pada sistem yang dibangun.

Kemudian ada Tempat Sampah Otomatis Dengan Sistem Pemilah Jenis Sampah Organik, Anorganik, dan Logam yang diteliti oleh A. Rizal Mustofa AA. Pada penelitian ini sistem dapat mendeteksi sampah Organik, Anorganik, dan Logam dengan menggunakan sensor-sensor yang dikendalikan oleh mikrokontroler ATmega16 (Aa, n.d.). Perbedaan penelitian ini dengan penelitian yang sedang dikerjakan adalah sistem yang digunakan yakni IoT dan Deep Learning.

Harapannya penelitian ini dapat mengembangkan sebuah sistem yang akan memudahkan proses pengolahan dan daur ulang sampah dan membantu meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya memilah sampah yang baik dan benar. Sistem ini juga diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan kenyamanan dalam membuang sampah serta mengurangi risiko terkontaminasi, selanjutnya sistem ini diharapkan dapat memastikan dengan benar bahwa sampah yang dibuang adalah sampah yang dapat didaur ulang, sehingga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, dan yang terakhir diharapkan dapat menjadi panduan bagi pengembangan teknologi deteksi sampah di masa yang akan datang sehingga dapat diterapkan di berbagai skala dan kondisi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan beberapa masalah pada Tugas Akhir yang dibuat sebagai berikut:

1. Bagaimana sistem dapat mendeteksi jenis sampah menggunakan model YOLO?
2. Bagaimana sistem dapat mengontrol kotak sampah yang terbuka secara otomatis berdasarkan jenis sampah?
3. Seberapa besar tingkat akurasi sistem dalam memilah pada setiap jenis sampah (sampah plastik, sampah kertas, dan sampah metal)?
4. Berapa jarak akurasi terbaik proses deteksi masing–masing jenis sampah?

1.3 Batasan Masalah

Setiap penelitian butuh diberikan batasan sehingga ketika diteliti tidak melenceng jauh dari apa tujuan utama dari penelitian itu, maka pada Tugas Akhir yang dibuat terdapat beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Hasil penelitian yang dibuat adalah *prototype*.
2. Menggunakan Listrik AC.
3. Jenis sampah yang digunakan dibatasi menjadi tiga jenis sampah yakni sampah kertas (berbentuk persegi), sampah plastik (berbentuk botol), dan sampah metal (berbentuk kaleng).
4. Menggunakan kamera *webcam*, sehingga pencahayaan yang digunakan adalah pencahayaan standar atau pencahayaan merata dan tidak dimasukkan menjadi bahasan dalam penelitian ini.
5. Model pelatihan yang digunakan adalah YOLO versi terbaru yakni versi 9.0 yang dimana versi ini merupakan pembaharuan dari versi sebelumnya.
6. Jenis sampah yang akan digunakan dari penelitian ini adalah sampah plastik dengan bentuk khusus botol, dan sampah kertas dengan bentuk persegi atau persegi panjang, selain dari kedua jenis sampah tersebut akan terdeteksi sebagai sampah umum.

1.4 Tujuan

Dari latar belakang, rumusan masalah, dan batasan masalah yang telah dipaparkan di atas berikut tujuan dari Tugas Akhir yang telah dibuat:

1. Sistem dapat mendeteksi jenis sampah menggunakan model YOLO versi terbaru yakni versi 9.
2. Sistem dapat mengontrol kotak sampah yang terbuka secara otomatis berdasarkan jenis sampah.
3. Mengetahui tingkat akurasi sistem dalam memilah pada setiap jenis sampah (sampah botol, sampah kertas, dan sampah metal).
4. Mengetahui jarak akurasi terbaik proses deteksi masing–masing jenis sampah.

1.5 Manfaat

Manfaat dari produk yang dihasilkan pada pembuatan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Membantu setiap orang untuk membuang sampah dengan mudah hanya dengan menunjukkan sampah pada kamera atau webcam, sehingga kotak sampah akan terbuka berdasarkan jenis sampah yang terdeteksi.
2. Memberikan edukasi kepada setiap orang untuk membedakan jenis–jenis sampah.
3. Proses pembuangan sampah menjadi lebih intuitif dan natural.

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Sampah

Sampah dapat didefinisikan sebagai material yang tidak diinginkan atau tidak terpakai dimana material tidak terjadi secara alami tetapi dihasilkan oleh aktivitas manusia atau proses alam (Zuraidah et al., 2022). Sampah sering kali terdiri dari bahan-bahan seperti plastik, kertas, logam, kaca, dan bahan organik yang telah digunakan dan tidak memiliki nilai ekonomis atau praktis lagi. Sampah dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk rumah tangga, industri, komersial, pertanian, dan konstruksi.

2.2 Object Detection

Object Detection adalah teknik dalam bidang penglihatan komputer yang memungkinkan identifikasi serta penemuan obyek dalam gambar atau video (Tanjung & Juwiantho, n.d.). Cara kerja *Object Detection* dimulai dengan penggunaan encoder untuk mengambil gambar sebagai input. Hasil dari encoder kemudian diproses oleh *decoder*, yang bertugas memprediksi kotak pembatas dan label untuk setiap obyek dalam gambar. Untuk menentukan apakah hasil prediksi tersebut benar atau salah, digunakanlah parameter *Intersection over Union* (IoU). IoU (*Intersection over Union*) adalah nilai yang didasarkan pada statistik kesamaan dan keragaman set sampel dimana digunakan untuk mengevaluasi area tumpang tindih antara dua bounding box: bounding box hasil prediksi dan bounding box ground truth (kebenaran). Berikut rumus dari IoU:

$$IoU = \frac{\text{Area Irisan}}{\text{Area Gabungan}} = \frac{\text{[Diagram: Two overlapping green squares, the intersection area is highlighted in a lighter shade of green.]}}{\text{[Diagram: Two overlapping green squares, the union area is highlighted in a lighter shade of green.]}}$$

Jadi, syarat untuk menerapkan IoU adalah mempunyai kedua bounding box tersebut. Hasil penerapan IoU, dapat digunakan untuk mengetahui nilai-nilai evaluasi yang lainnya, seperti precision, recall dan lain sebagainya.

Deteksi Obyek ini merupakan salah satu bagian dari proses tracking. Tracking itu sendiri adalah proses identifikasi dan pemantauan lokasi obyek dari satu frame ke frame yang lainnya. Adapun tujuan dari tracking sendiri adalah analisis perilaku, pengawasan keamanan, dan interaksi manusia-komputer. Proses tracking umumnya mencakup beberapa langkah dasar, yakni: Deteksi Obyek – Inisialisasi Tracker (berupa bounding box) – Asosiasi Data (pada proses ini parameter IoU bekerja) – Estimasi Posisi (melibatkan model deep learning yang telah dilatih untuk memperdiksi obyek) – Output Tracking (identitas obyek).

2.3 YOLO

YOLO adalah algoritma yang menggunakan konsep jaringan saraf untuk mempelajari pola dan mendeteksi obyek secara real-time. You Only Look Once (YOLO) pertama kali diperkenalkan pada tahun 2015 melalui makalah penelitian berjudul “You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection”. Algoritma ini sangat populer berkat kecepatan dan akurasi, sehingga sering digunakan dalam deteksi obyek.



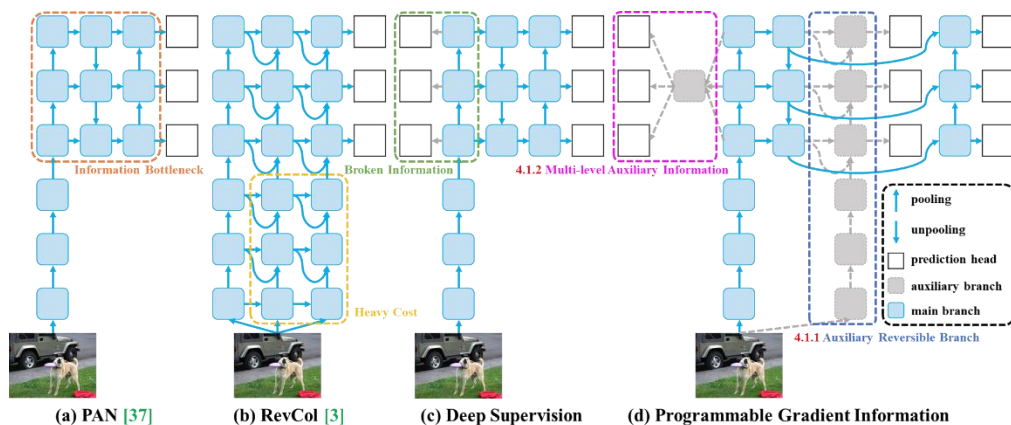
Gambar 2. 1 Struktur YOLO
(Sumber: <https://acesse.dev/YOLOstructure>)

Cara kerja dari YOLO membagi sebuah gambar dataset menjadi beberapa bagian kemudian diolah untuk mendapatkan obyek yang terdeteksi di dalam gambar yang digunakan, berikut detail jelas cara kerja YOLO:

- Memisahkan gambar menjadi grid.
YOLO membagi gambar input menjadi grid dengan ukuran $S \times S$, misalnya 7×7 . Setiap sel di dalam grid bertanggung jawab memprediksi obyek yang terletak di dalamnya (Sarosa & Muna, 2021).
- Ekstraksi fitur dengan CNN.
Gambar input kemudian diserahkan ke jaringan saraf tiruan konvolusional (CNN) untuk mengekstraksi fitur. CNN melakukan serangkaian operasi konvolusi, pooling, dan aktivasi untuk mengekstraksi fitur-fitur penting dari gambar.
- Prediksi obyek dan kotak pembatas
YOLO menggunakan layer klasifikasi dan regresi untuk memprediksi kotak pembatas (*bounding box*) dan probabilitas untuk setiap obyek yang ada dalam setiap sel grid.
- *Non-Maximum Suspension* (NMS)
NMS adalah langkah untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi pendeteksian obyek dengan menghilangkan *bounding box* yang saling tumpang tindih atau memiliki probabilitas rendah dengan yang memiliki probabilitas yang lebih tinggi.
- Prediksi
Hasil dari *bounding box* yang memiliki probabilitas tinggi dengan label kelasnya.

YOLO versi 9.0 atau disingkat YOLOv9 merupakan versi terbaru dari seri YOLO yang dikembangkan oleh Chien-Yao Wang dan timnya, dirilis pada 21 Februari 2024 yang merupakan peningkatan dari YOLO versi 7.0 (YOLOv7). YOLOv9 memperkenalkan dua teknik inovatif, yaitu Programmable Gradient Information (PGI) dan Generalized Efficient Layer Aggregation Network (GELAN).

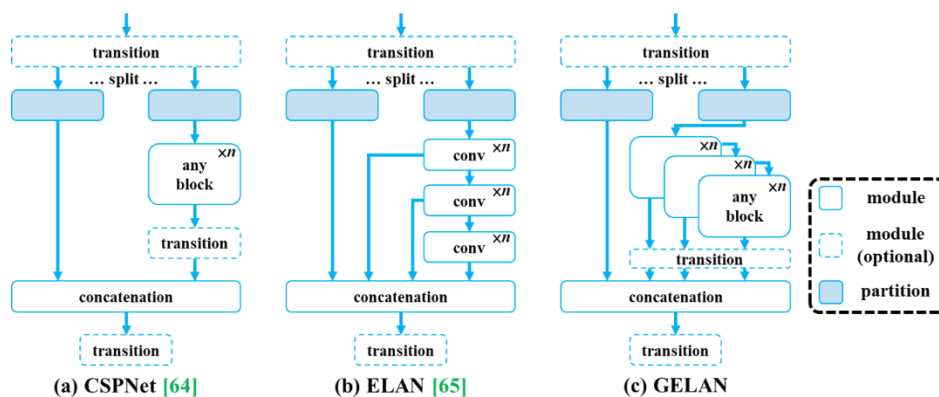
PGI menggabungkan node supervisi tambahan yang dirancang untuk melawan bottleneck informasi dalam jaringan neural yang mendalam, dengan memprioritaskan propagasi balik gradien yang tepat dan efisien. PGI berkembang melalui integrasi tiga komponen, masing-masing memenuhi peran unik namun saling terkait dalam arsitektur model.



Gambar 2. 2 Programmable Gradient Information
(Sumber: <https://arxiv.org/html/2402.13616v1>)

1. Main Branch: Dioptimalkan untuk inferensi, cabang utama memastikan model mempertahankan operasi yang efisien dan sederhana selama fase kritis.
2. Auxiliary Reversible Branch: Branch tambahan ini menjamin generasi gradien yang dapat diandalkan dan memfasilitasi pembaruan parameter yang akurat.
3. Multi-Level Auxiliary Information: Metodologi ini menggunakan jaringan khusus untuk menggabungkan informasi gradien di seluruh lapisan model sehingga mengatasi tantangan kehilangan informasi dalam model supervisi mendalam, memastikan data sepenuhnya dipahami oleh model.

Generalized Efficient Layer Aggregation Network (GELAN) memperkenalkan desain khas yang disesuaikan untuk melengkapi kerangka kerja PGI, sehingga meningkatkan kemampuan model untuk memproses dan mempelajari wawasan dari data dengan lebih mahir.



Gambar 2. 3 Generalized Efficient Layer Aggregation Network
(Sumber: <https://arxiv.org/html/2402.13616v1>)

Dalam YOLOv9, GELAN menggabungkan kualitas terbaik dari perencanaan jalur gradien CSPNet dan optimisasi kecepatan ELAN selama inferensi. Arsitektur serbaguna ini mengintegrasikan karakteristik tersebut secara mulus, meningkatkan keunggulan inferensi real-time yang menjadi ciri khas keluarga YOLO.

2.4 Arduino UNO

Arduino UNO menggunakan mikrokontroler ATmega328 dengan 14 pin input/output digital, 6 di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM dan 6 input analog yang dapat digunakan untuk membaca sinyal analog dari sensor atau perangkat lainnya. Memori yang tersedia adalah 32 KB flash memory untuk menyimpan kode, 2 KB SRAM, dan 1 KB EEPROM. Arduino UNO dilengkapi dengan port USB yang digunakan untuk mengunggah kode dari komputer serta untuk komunikasi serial dengan komputer atau perangkat lain.



Gambar 2. 4 Arduino UNO
(Sumber: <https://www.arduino.cc/>)

Arduino UNO diberi daya melalui port USB atau konektor daya eksternal dengan rentang tegangan yang diterima biasanya antara 7-12V. Papan ini beroperasi pada kecepatan clock 16 MHz, memberikan kinerja yang cukup untuk banyak aplikasi. Arduino UNO memiliki lingkungan pengembangan yang mudah digunakan yakni Arduino Integrated Development Environment (IDE) dengan bahasa pemrograman berbasis C/C++ yang disederhanakan.

2.5 Camera Logitech Stream HD Pro C922

C922 Pro Webcam menawarkan kejernihan tinggi untuk streaming di platform seperti Twitch dan YouTube. Kamera ini mendukung resolusi Full 1080p pada 30fps dan HD 720p pada 60fps, memungkinkan siaran dengan kualitas visual yang baik. Dilengkapi dengan audio no-drop yang andal, autofocus, dan bidang pandang diagonal 78°, kamera ini dapat menghasilkan video yang stabil.



Gambar 2. 5 Logitech Stream HDPro C922

(Sumber: www.logitech.com/en-ph/products/webcams/c922-pro-stream-webcam)

Fitur HD *autofocus* dan koreksi pencahayaan otomatis bekerja untuk mengoptimalkan kondisi pencahayaan, memberikan video yang tajam di berbagai situasi pencahayaan. Selain itu, dua mikrofon omni-directional yang terpasang mampu menangkap audio dari berbagai arah, menghasilkan suara yang alami dan jelas.

2.6 Servo Motor

Motor servo adalah jenis motor listrik yang memiliki sistem umpan balik tertutup untuk mengontrol posisi motor secara otomatis. Motor ini terdiri dari beberapa komponen utama, termasuk motor DC, roda gigi untuk meningkatkan torsi, dan potensiometer untuk mendeteksi posisi.



Gambar 2. 6 Servo Motor

(Sumber: <https://circuitdigest.com/article/servo-motor-working-and-basics/>)

Penggunaan motor servo sangat penting dalam mengatur sudut rotasi atau posisi suatu obyek, seperti dalam aplikasi robotik, pintu otomatis, atau kamera yang dapat bergerak. Potensiometer digunakan untuk memetakan posisi sudut yang diinginkan, sementara sudut rotasi motor servo dikontrol melalui panjang pulsa yang dikirimkan melalui kabel kontrol. Saat mikrokontroler atau rangkaian kontrol mengirimkan pulsa dengan panjang tertentu, motor servo akan bergerak menuju posisi sudut yang diinginkan.

2.7 Roboflow

Roboflow ialah suatu platform yang memfasilitasi pengembang dan peneliti untuk dengan mudah mengelola, menandai, serta mengolah data gambar dengan tujuan untuk digunakan dalam melatih model pembelajaran mesin. Platform ini menyediakan sejumlah perangkat untuk menjalankan berbagai tugas, seperti memperkaya data, membersihkan data, dan mengubah format gambar, yang pada gilirannya mempermudah proses pengembangan model kecerdasan buatan yang berfokus pada pemrosesan gambar.



Gambar 2. 7 Roboflow
(Sumber: <https://app.roboflow.com/image/>)

Roboflow juga menawarkan integrasi dengan sejumlah perangkat dan platform terkenal dalam lingkungan pembelajaran mesin, seperti TensorFlow, PyTorch, dan sebagainya. Dengan begitu, Roboflow mendorong percepatan dalam siklus pengembangan model kecerdasan buatan berbasis gambar dengan cara menyederhanakan manajemen serta pra-pemrosesan data.

2.8 Google Colaboratory

Google Colaboratory, atau biasa disingkat sebagai Google Colab, adalah sebuah platform berbasis cloud computing yang disediakan oleh Google. Platform ini memungkinkan pengguna untuk menulis dan mengeksekusi kode Python

melalui browser web, tanpa perlu melakukan instalasi atau konfigurasi tambahan pada perangkat lokal.



Gambar 2. 8 Google Colaboratory
(Sumber: <https://colab.google/>)

Google Colab menawarkan lingkungan pengembangan yang berbasis pada *jupyter notebook* yang berjalan di *cloud*, dengan berbagai fitur seperti penyimpanan dan akses data yang terintegrasi, akses GPU dan TPU secara gratis, serta kolaborasi *real-time* antar pengguna.

2.9 Kaggle

Salah satu fitur utama Kaggle adalah kompetisi data science-nya, di mana perusahaan atau individu dapat menyelenggarakan kompetisi dengan hadiah uang tunai untuk solusi terbaik dari masalah yang diberikan. Kaggle menyediakan berbagai dataset yang dapat diakses secara gratis, mencakup topik seperti ekonomi, kesehatan, gambar, dan teks. Dataset ini ideal untuk latihan, penelitian, atau proyek pribadi.



Gambar 2. 9 Kaggle
(Sumber: <https://www.kaggle.com/>)

Fitur Notebook di Kaggle memungkinkan pengguna menulis, menjalankan, dan membagikan kode dalam lingkungan berbasis cloud, memfasilitasi kolaborasi, eksperimen, dan dokumentasi proyek. Dengan semua fitur ini, Kaggle menjadi ekosistem yang kaya untuk data scientist dan praktisi machine learning, mendukung pembelajaran, pengembangan keterampilan, dan kolaborasi dalam komunitas global.

2.10 Visual Studio Code

Visual Studio Code (VS Code) merupakan sebuah editor kode sumber yang bisa digunakan di berbagai platform dan dikembangkan oleh Microsoft. Editor ini sangat populer di kalangan pengembang perangkat lunak karena kecepatannya, kemudahan penggunaan, dan fitur-fitur yang handal yang dimilikinya. VS Code dapat digunakan secara gratis dan mendukung banyak bahasa pemrograman, serta memiliki beragam ekstensi dan alat pengembangan yang lengkap.



Gambar 2. 10 Visual Studio Code
(Sumber: <https://code.visualstudio.com/>)

2.11 Arduino IDE

Arduino Integrated Development Environment (IDE) adalah perangkat lunak yang dirancang khusus untuk memprogram dan mengunggah kode ke Arduino. Menyediakan lingkungan yang mudah digunakan untuk menulis kode dalam bahasa pemrograman berdasarkan C/C++. Salah satu fitur utama dari Arduino IDE adalah editor teks yang membantu pengguna menulis kode dengan lebih jelas dan terorganisir. Selain itu, fungsi auto-completion dan error highlighting membantu dalam mendeteksi dan memperbaiki kesalahan pemrograman.



Gambar 2. 11 Arduino IDE
(Sumber: <https://www.arduino.cc/en/software>)

Arduino IDE juga menyediakan banyak contoh kode bawaan yang dapat diakses melalui menu. Contoh-contoh ini mencakup berbagai aplikasi dasar dan lanjutan, seperti mengontrol LED, membaca sensor, dan berkomunikasi dengan

perangkat lain. Pengguna dapat mempelajari konsep dasar dan mempercepat proses pengembangan proyek dengan memodifikasi contoh-contoh ini.



UNIVERSITAS
Dinamika

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Studi Literatur

Tahap ini dimaksudkan untuk menggali lebih dalam mengenai topik serta judul penelitian yang akan dilakukan. Peneliti akan melakukan pencarian dan analisis atas literatur dan informasi terbaru, terutama dalam rentang lima tahun terakhir, yang relevan dengan topik penelitian. Hal ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman yang kuat mengenai dasar teori variabel yang menjadi fokus penelitian, penerapan metode yang sesuai, dan berbagai algoritma yang akan digunakan dalam penelitian ini.

3.2 Pengumpulan Dataset

Penelitian ini memanfaatkan sumber data *open-source* yang diperoleh dari website resmi MDPI yang memiliki judul dataset “*RealWaste: A Novel Real-Life Data Set for Landfill Waste Classification Using Deep Learning*”. Dataset ini terdiri dari berbagai jenis sampah yang dikategorikan dalam beberapa folder yakni: Kardus, Kertas, Kaca, Limbah Organik Makanan, Logam, Sampah Campuran, Plastik, Sampah Tekstil, dan Tumbuhan.



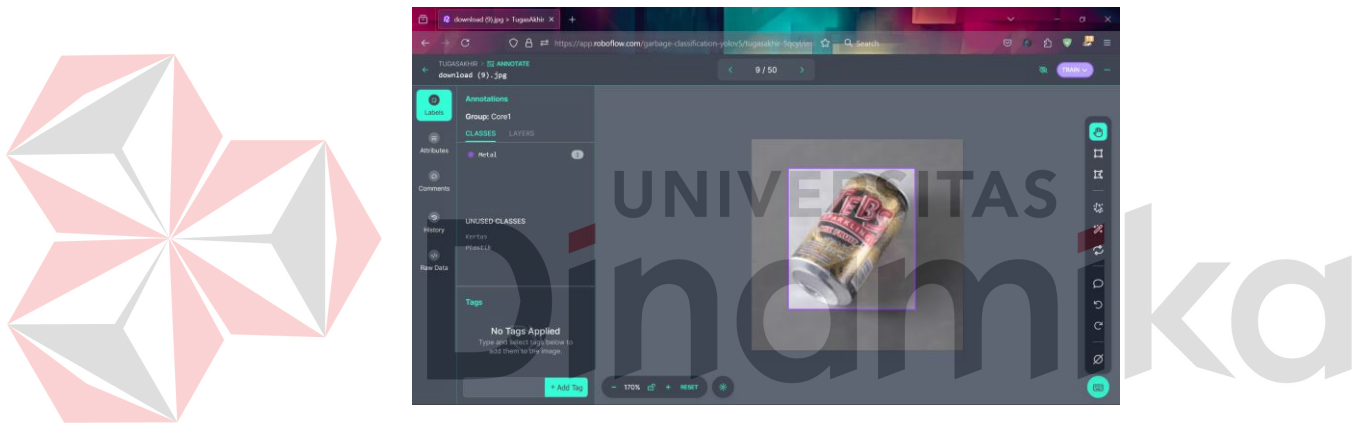
Gambar 3. 1 Sampel dataset sampah

Pada penelitian ini juga menggunakan dataset pribadi yang diperoleh melalui pengambilan gambar menggunakan kamera, yang mencakup sampah plastik dan kertas. Dari dataset yang telah terkumpul kemudian dipilah tiga jenis

sampah yang akan digunakan yakni sampah kertas dengan bentuk persegi panjang, sampah plastik dengan bentuk botol dan sampah metal dengan bentuk kaleng.

3.3 Pengolahan Dataset

Proses pengolahan data yang terjadi di platform roboflow dimulai dengan membuat sebuah proyek pengolahan data lalu diberi nama. Berikutnya adalah pemilihan tipe proyek yang akan dikerjakan, pada Tugas Akhir ini tipe penelitiannya adalah deteksi obyek (*Object Detection*). Setelah create, selanjutnya perlu diinputkan gambar untuk diolah di roboflow. Gambar-gambar yang telah diinputkan akan dianotasi atau diberikan label berdasarkan kelas yang telah dibuat, pada penelitian ini terdapat dua kelas yang digunakan yakni kelas 'plastik' dan kelas 'kertas'.



Gambar 3. 2 Proses anotasi dataset

Semua data yang telah dianotasi selanjutnya akan digenerate, pada proses generate dataset memasuki tahap preprocessing meliputi *resize*, *crop*, *grayscale*, *auto orient*, dan masih banyak lagi yang dapat dipilih sesuai kebutuhan, selanjutnya dataset dibagi menjadi data *training*, data validasi, dan data testing kemudian diaugmentasi sesuai kebutuhan. Setelah selesai dataset di-*deploy*.

3.4 Training, Validation & Testing

Proses *training* dataset menggunakan platform Google Colaboratory atau Kaggle. Dataset dilatih menggunakan model YOLOv9, dapat di download atau dikloning dari platform Github atau Ultralytics. Setelah dikloning program perlu dijalankan untuk mendownload model YOLOv9, kemudian dataset yang telah

diberi label diunduh menggunakan *API Key* roboflow untuk mempermudah dan mempercepat proses *training*.

```

[ ] %cd (HOME)/yolov9

!python train.py \
  --batch 16 --epochs 150 --img 640 --device 0 --min-items 0 --close-mosaic 15 \
  --data (dataset.location)/data.yaml \
  --weights (HOME)/weights/gelan-c.pt \
  --cfg models/detect/gelan-c.yaml \
  --hyp hyp.scratch-high.yaml

/content/yolov9
2024-06-25 04:32:02.323043: E external/local_xla/xla/stream_executor/cuda/cuda_dnn.cc:9261] Unable to register cuDNN factory: Attempting to register
2024-06-25 04:32:02.323093: E external/local_xla/xla/stream_executor/cuda/cuda_fft.cc:607] Unable to register cuFFT factory: Attempting to register
2024-06-25 04:32:02.436058: E external/local_xla/xla/stream_executor/cuda/cuda_blas.cc:1511] Unable to register cuBLAS factory: Attempting to regist
2024-06-25 04:32:02.504847: I tensorflow/core/platform/cpu_feature_guard.cc:182] This TensorFlow binary is optimized to use available CPU instructio
To enable the following instructions: AVX2 FMA, in other operations, rebuild TensorFlow with the appropriate compiler flags.
2024-06-25 04:32:03.716015: W tensorflow/compiler/tf2tensorrt/utils/py_utils.cc:39] TF-TRT Warning: Could not find TensorRT
train: weights/content/weights/gelan-c.pt, cfg=models/detect/gelan-c.yaml, data=/content/yolov9/ugassahin-4/data.yaml, hyp=yp.scratch-high.yaml,
YOLOv5 1e33db Python-3.10.12 torch-2.3.0rcu121 CUDA:0 (Tesla T4, 15102MiB)

hyperparameters: lr=0.01, lr_f=0.01, momentum=0.937, weight_decay=0.0005, warmup_epochs=3.0, warmup_momentum=0.8, warmup_bias_lr=0.1, box=7.5, cls=0
ClearML: run 'pip install clearml' to automatically track, visualize and remotely train YOLO in ClearML
Comet: run 'pip install comet_ml' to automatically track and visualize YOLO runs in Comet
TensorBoard: Start with 'tensorboard --logdir runs/train', view at https://tensorboard.dev
Downloading https://ultralytics.com/assets/Arial.ttf to /root/.config/ultralytics/Arial.ttf...
100% 755k/755k [00:00:00, 26.3MB/s]

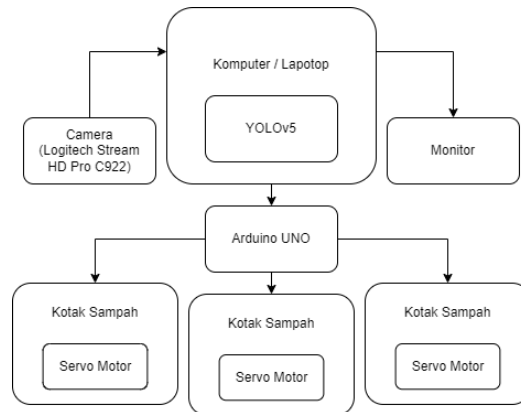
```

Gambar 3. 3 Training dataset 150 Epochs

Dataset kemudian dilatih dengan resolusi gambar default 640x640 px, sampel pelatihan atau *batch size* sebesar 16, *epochs* sebanyak 50, 100, 150 dan 200 dengan menggunakan parameter model “gelan-c.yaml” sebagai titik awal pelatihan. Hasil *training* kemudain dilakukan validasi untuk memastikan akurasi yang didapatkan dari hasil pelatihan. Setelah selesai akan dilakukan proses testing data, yang dimana jika akurasi yang didapatkan kurang dari 50% maka data akan dilatih ulang, dan jika akurasi yang didapatkan lebih dari 50% maka data akan disimpan (Hassadiqin & Utaminingrum, n.d.).

3.5 Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras yang telah disiapkan dirancang sesuai dengan rangkaian hardware yang telah dibuat sebelumnya. Pertama – tama terdapat laptop, kemudian ada kamera, arduino UNO, dan juga ada tiga buah servo yang sudah terpasang pada kotak sampah yang telah disediakan.



Gambar 3. 4 Flowchart perangkat keras

Kamera akan terhubung ke laptop/komputer sebagai inputan, hasil tracking kamera akan diolah dan diproses di dalam komputer/laptop, kemudian ditampilkan pada monitor sebagai output pertama, dan mengirimkan sinyal berupa serial ke arduino UNO, kemudian arduino UNO mengeksekusi sinyal yang diterima dengan menggerakkan servo untuk membuka kotak sampah.



Gambar 3. 5 Perancangan perangkat keras

Kamera akan menangkap gambar sampah yang terdeteksi, sampah yang terdeteksi diproses oleh YOLOv9 dalam laptop/komputer dengan cara menyamakan gambar hasil deteksi dan data hasil *training* yang telah didapatkan, hasil persamaan akan ditampilkan di monitor berdasarkan tingkat keakuratan yang didapatkan.



Gambar 3. 6 Hasil perancangan perangkat keras

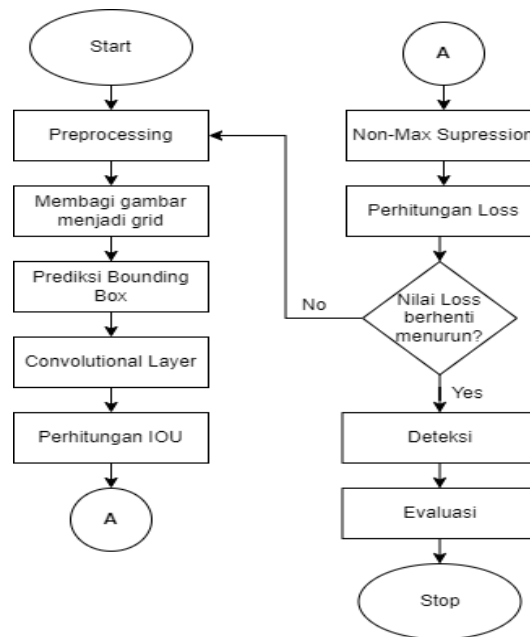
Semakin tinggi hasil yang didapatkan maka semakin baik juga model yang dikembangkan. Sampah yang terdeteksi akan memicu servo membuka kotak sampah berdasarkan jenis sampah yang terdeteksi.

3.6 Instalasi Environment

Sebelum melanjutkan proses berikutnya, penting untuk menyiapkan environment terlebih dahulu. Ini dilakukan untuk memastikan bahwa semua library pemrograman dan aplikasi yang diperlukan untuk menjalankan deteksi obyek dapat diinstal dengan benar sehingga program dapat berjalan tanpa adanya masalah. Proses ini meliputi pemasangan Python dengan versi yang sesuai agar dapat berinteraksi dengan baik dengan perpustakaan yang akan digunakan, serta pemasangan plugin yang diperlukan melalui terminal pip dan Anaconda.

3.7 Metode Deteksi dengan YOLO

Pertama-tama, dalam tahap awal pengolahan data citra, persiapan dilakukan sebelum data dimasukkan ke dalam model. Ini termasuk normalisasi citra dan penyesuaian ukuran jika diperlukan. Setelah itu, citra dibagi menjadi sejumlah grid dengan ukuran tertentu, di mana setiap grid bertanggung jawab untuk mendeteksi obyek di wilayahnya. Selanjutnya, setiap grid memprediksi *bounding box* untuk obyek yang ada di dalamnya, termasuk koordinat *bounding box* dan skor kepercayaan untuk menunjukkan keyakinan model. Melalui lapisan konvolusi, fitur-fitur penting diekstraksi dari gambar.



Gambar 3. 7 Flowchart YOLO

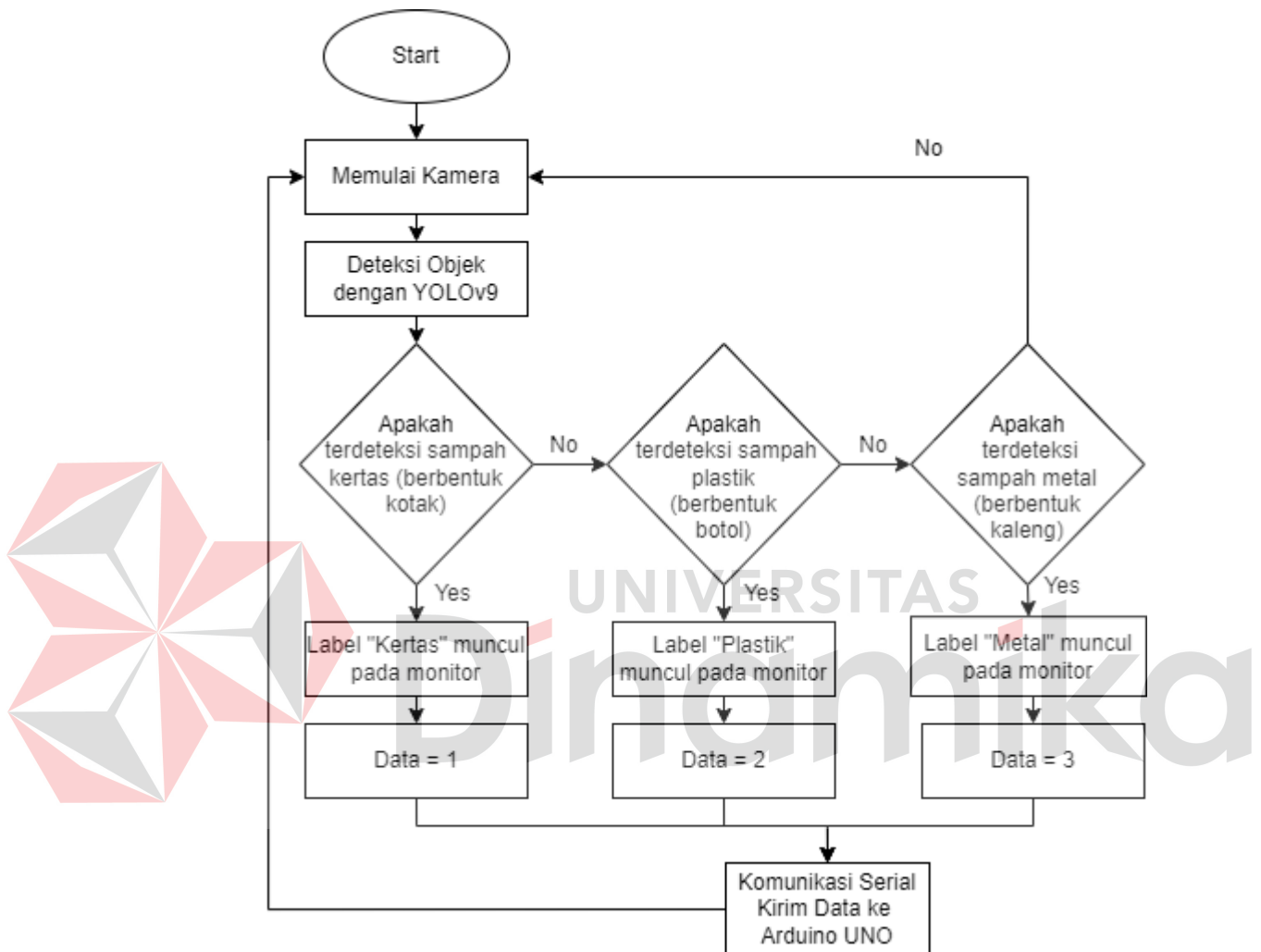
Selanjutnya, menghitung IOU (*Intersection over Union*) untuk mengevaluasi sejauh mana kesesuaian *bounding box* prediksi dengan yang sebenarnya. Langkah *non-max suppression* dilakukan untuk menghapus *bounding box* yang tumpang tindih atau memiliki skor kepercayaan rendah, memastikan satu *bounding box* untuk setiap obyek yang terdeteksi. Setelah itu, perhitungan kerugian (*loss*) dilakukan dengan membandingkan prediksi model dengan label sebenarnya, memungkinkan evaluasi kinerja model dan penyesuaian parameter yang tepat.

Ketika kerugian (*loss*) tidak lagi berkurang secara signifikan, menandakan konvergensi, model dianggap sudah cukup dilatih. Dari sini, model dapat diterapkan untuk mendeteksi obyek pada gambar atau video baru. Terakhir, evaluasi model dilakukan menggunakan berbagai metrik seperti akurasi, presisi, dan *recall*.

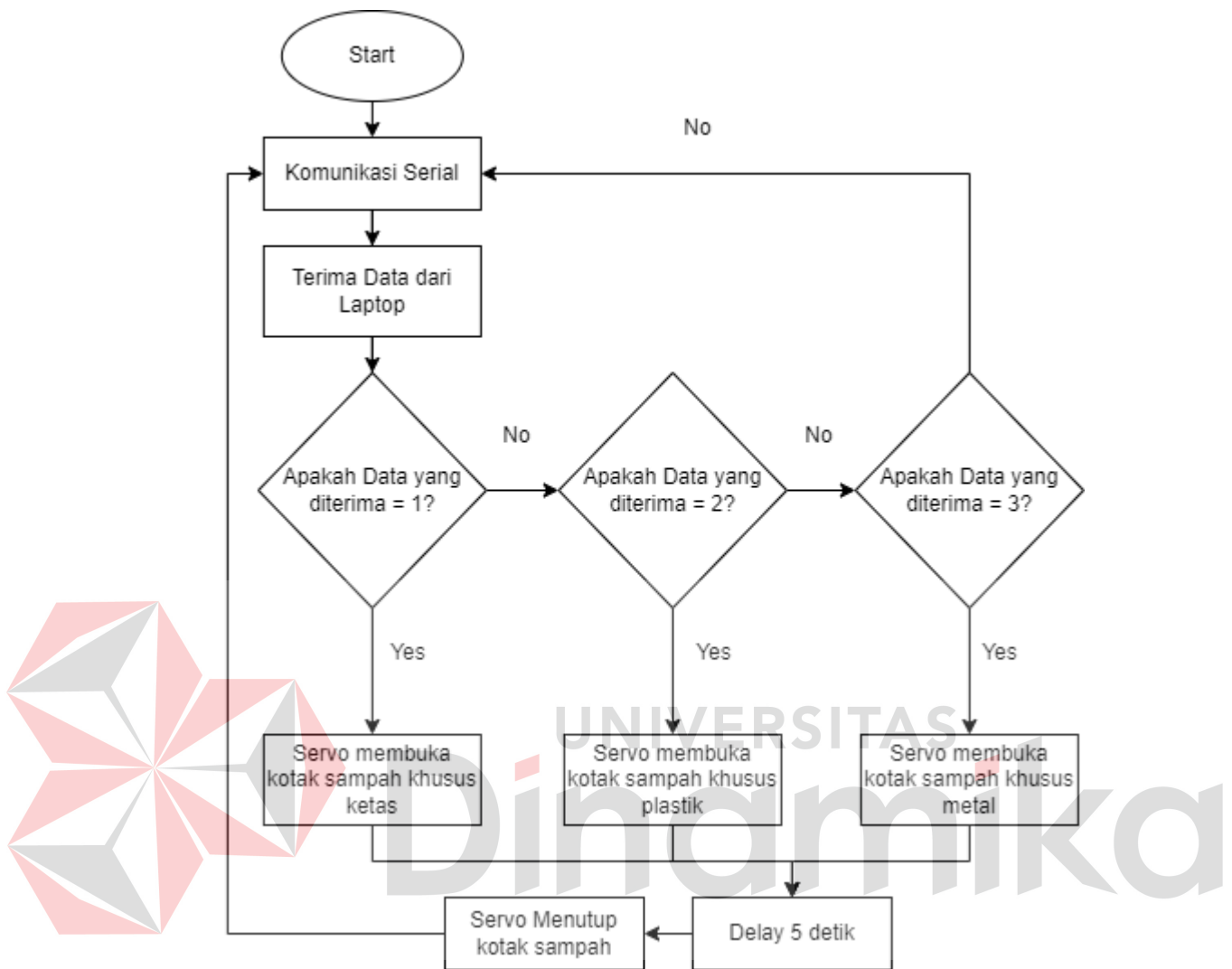
3.8 Flowchart

Pada proses ini kamera mendeteksi apakah ada obyek sampah, kemudian model YOLOv9 akan memproses gambar tersebut untuk menentukan jenis sampah apa yang terdeteksi. Apabila sampah yang terdeteksi adalah sampah plastik maka model akan memunculkan labeling plastik pada obyek yang terdeteksi di monitor.

Data yang terdeteksi diberikan label berupa angka 1 untuk sampah kertas, angka 2 untuk sampah plastik, dan angka 3 untuk sampah metal. Data – data tersebut dikirim lewat komunikasi serial.



Gambar 3. 8 Flowchart Python pada laptop/komputer



Gambar 3. 9 Flowchart Serial Arduino UNO

Data yang diterima menggunakan komunikasi serial kemudian diolah oleh arduino agar dapat memerintahkan servo untuk membuka kotak sampah berdasarkan label yang diterima yakni angka 1 untuk sampah kertas, 2 untuk sampah plastik, dan 3 untuk sampah metal, setelah delay sekitar 5 detik, kotak sampah akan tertutup kembali secara otomatis.

BAB IV HASIL PENELITIAN

4.1 Validasi Dari Proses Training Data

4.1.1 Tujuan Validasi Dari Proses Training Data

Pengujian Validasi Proses Training Data bertujuan untuk mengetahui seberapa besar nilai *Accuracy*, *Box_Loss* (*Box_loss* adalah cara untuk mengukur seberapa baik sistem tersebut melingkari obyek yang benar.) dan *Class_Loss* (*Class_loss* adalah cara untuk mengukur seberapa baik sistem tersebut mengenali jenis obyek yang benar).

4.1.2 Alat Validasi Dari Proses Training Data

Alat Validasi Dari Proses Training Data adalah:

1. Laptop
2. Google Colaboratory Notebook
3. Kaggle Notebook
4. Roboflow

4.1.3 Prosedur Validasi Dari Proses Training Data

Prosedur Validasi Dari Proses Training Data adalah sebagai berikut:

1. Login ke akun Google Colab, Kaggle dan Roboflow.
2. Mengunduh environment proses training dataset berupa program dari sumber YOLOv9 yakni ultralytics.
3. Menjalankan environment untuk *epochs* 50 dan 100 gunakan google colab, untuk *epochs* 150 dan 200 gunakan Kaggle.
4. Mengunduh dataset menggunakan API roboflow.
5. Melakukan training dataset.

4.1.4 Hasil Validasi Dari Proses Training Data

Data Validasi yang diperoleh dari hasil training tersebut terdapat beberapa nilai penting yang menjelaskan hasil training, dari ketiga jenis dataset yang dilatih tersebut diambil nilai akurasi, *box_loss*, dan *class_loss*.

Tabel 4.1 Hasil validasi proses training dataset sampah kertas

<i>Epochs</i>	Kertas		
	<i>Accuration</i>	<i>Box_Loss</i>	<i>Class_Loss</i>
50	0.85	0.37	0.28
100	0.89	0.28	0.21
150	0.93	0.24	0.18
200	0.93	0.21	0.15

Tabel 4.1 di atas menunjukkan hasil validasi training dataset kertas. Hasil *epoch* 50 – 200 menghasilkan data akurasi yang berkisar pada 0.85 – 0.93, untuk hasil *box_loss* mengalami penurunan yang signifikan dimulai dari 0.37 – 0.21 serta untuk *class_loss* mengalami penurunan yang signifikan dari 0.28 – 0.15, hasil ini menandakan bahwa model yang dilatih telah belajar dengan baik.

Tabel 4.2 Hasil validasi proses training dataset sampah plastik

<i>Epochs</i>	Plastik		
	<i>Accuration</i>	<i>Box_Loss</i>	<i>Class_Loss</i>
50	0.93	0.37	0.28
100	0.95	0.28	0.21
150	0.97	0.24	0.18
200	0.94	0.21	0.15

Pada Tabel 4.2 menunjukkan hasil validasi training dataset plastik. Hasil *epoch* 50 – 200 menghasilkan data akurasi yang berkisar pada 0.93 – 0.94, untuk hasil *box_loss* mengalami penurunan yang signifikan dimulai dari 0.37 – 0.21 serta untuk *class_loss* mengalami penurunan yang signifikan dari 0.28 – 0.15, hasil ini menandakan bahwa model yang dilatih telah belajar dengan baik.

Tabel 4.3 Hasil validasi proses training dataset sampah metal

<i>Epochs</i>	Metal		
	<i>Accuration</i>	<i>Box_Loss</i>	<i>Class_Loss</i>
50	0.89	0.37	0.28
100	0.85	0.28	0.21
150	0.83	0.24	0.18
200	0.85	0.21	0.15

Tabel 4.3 menunjukkan hasil validasi training dataset metal. Hasil *epoch* 50 – 200 menghasilkan data akurasi yang berkisar pada 0.85 – 0.89, untuk hasil *box_loss* mengalami penurunan yang signifikan dimulai dari 0.37 – 0.21 serta untuk *class_loss* mengalami penurunan yang signifikan dari 0.28 – 0.15, hasil ini menandakan bahwa model yang dilatih telah belajar dengan baik.

Berdasarkan hasil validasi dari proses training dataset kertas, plastik, dan metal, pemilihan 200 epoch sebagai model deteksi ditentukan dengan melihat penurunan signifikan pada *Box_Loss* dan *Class_Loss*. Pada dataset kertas, *Box_Loss* menurun dari 0.37 pada epoch 50 menjadi 0.21 pada epoch 200, dan *Class_Loss* turun dari 0.28 menjadi 0.15. Hasil serupa terlihat pada dataset plastik dan metal, dengan penurunan *Box_Loss* dari 0.37 menjadi 0.21 dan *Class_Loss* dari 0.28 menjadi 0.15. Penurunan ini menunjukkan peningkatan performa model dalam mengurangi kesalahan prediksi bounding box dan klasifikasi. Dengan tren ini, 200 epoch dipilih sebagai titik optimal karena model telah belajar secara signifikan dan mencapai performa yang baik tanpa mengalami overfitting, sehingga memberikan keseimbangan antara waktu pelatihan dan kualitas hasil.

4.2 Pengujian Kontrol Sistem

4.2.1 Tujuan Pengujian Kontrol Sistem

Pengujian kontrol sistem ini bertujuan untuk mengetahui seberapa baik sistem mengirimkan eksekusi ke output berupa servo. Alat pengujian kontrol sistem adalah:

1. Laptop (Python)
2. Visual Studio Code
3. Arduino UNO
4. Servo
5. Kotak Sampah

4.2.2 Prosedur Pengujian Kontrol Sistem

Prosedur pengujian Kontrol Sistem adalah sebagai berikut:

1. Melakukan instalasi environment untuk Jetson Nano.
2. Menyambungkan Jetson Nano ke Arduino UNO.

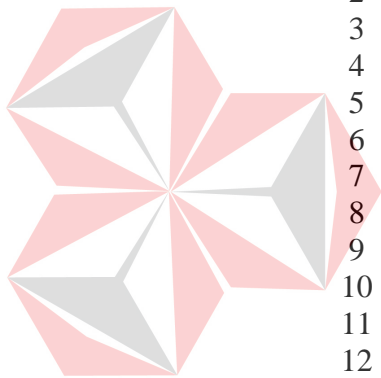
3. Menyambungkan Servo ke pin 9, 10 dan 11 pada Arduino UNO.
4. Memasang Servo pada kotak sampah.
5. Menjalankan program pengujian kontrol sistem.
6. Menjalankan program komunikasi serial di Arduino.

4.2.3 Hasil Pengujian Kontrol Sistem

Data yang didapatkan dari hasil training ini adalah berupa data bagaimana sistem dapat mengontrol output untuk membuka kotak sampah sesuai dengan jenis sampah yang terdeteksi.

Tabel 4. 4 Hasil pengujian kontrol sistem sampah kertas

Iterasi	Prediksi yang Diterima	Servo yang Bekerja			Nilai IoU
		Kertas	Plastik	Metal	
1	Kertas	✓	-	-	0.73
2	Kertas	✓	-	-	0.76
3	Kertas	✓	-	-	0.92
4	Kertas	✓	-	-	0.80
5	Kertas	✓	-	-	0.76
6	Kertas	✓	-	-	0.78
7	Kertas	✓	-	-	0.85
8	Kertas	✓	-	-	0.86
9	Kertas	✓	-	-	0.90
10	Kertas	✓	-	-	0.72
11	Kertas	✓	-	-	0.70
12	Kertas	✓	-	-	0.80
13	Kertas	✓	-	-	0.81
14	Kertas	✓	-	-	0.77
15	Kertas	✓	-	-	0.74
16	Kertas	✓	-	-	0.84
17	Kertas	✓	-	-	0.89
18	Kertas	✓	-	-	0.81
19	Kertas	✓	-	-	0.66
20	Kertas	✓	-	-	0.87
21	Kertas	✓	-	-	0.85
22	Kertas	✓	-	-	0.67
23	Kertas	✓	-	-	0.72
24	Kertas	✓	-	-	0.73
25	Kertas	✓	-	-	0.76
26	Kertas	✓	-	-	0.92
27	Kertas	✓	-	-	0.80
28	Kertas	✓	-	-	0.76
29	Kertas	✓	-	-	0.78
30	Kertas	✓	-	-	0.85



Pada Tabel 4.4 menunjukkan hasil pengujian kontrol sistem sampah kertas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengujian kontrol berjalan dengan baik dimana dari 30 kali percobaan semuanya terprediksi sebagai kertas, untuk akurasi yang dihasilkan berkisar antar 0.70 – 0.92, hasil ini menunjukkan bahwa kontrol sistem berjalan dengan telah memprediksi dengan baik.

Tabel 4. 5 Hasil pengujian kontrol sistem sampah plastik

Iterasi	Prediksi yang Diterima	Servo yang Bekerja			Nilai IoU
		Kertas	Plastik	Metal	
1	Plastik	-	✓	-	0.73
2	Plastik	-	✓	-	0.76
3	Plastik	-	✓	-	0.92
4	Plastik	-	✓	-	0.80
5	Plastik	-	✓	-	0.76
6	Plastik	-	✓	-	0.78
7	Plastik	-	✓	-	0.85
8	Plastik	-	✓	-	0.86
9	Plastik	-	✓	-	0.90
10	Plastik	-	✓	-	0.72
11	Plastik	-	✓	-	0.70
12	Plastik	-	✓	-	0.80
13	Plastik	-	✓	-	0.81
14	Plastik	-	✓	-	0.77
15	Plastik	-	✓	-	0.74
16	Plastik	-	✓	-	0.84
17	Plastik	-	✓	-	0.89
18	Plastik	-	✓	-	0.81
19	Plastik	-	✓	-	0.66
20	Plastik	-	✓	-	0.87
21	Plastik	-	✓	-	0.85
22	Plastik	-	✓	-	0.87
23	Plastik	-	✓	-	0.72
24	Plastik	-	✓	-	0.80
25	Plastik	-	✓	-	0.86
26	Plastik	-	✓	-	0.85
27	Plastik	-	✓	-	0.73
28	Plastik	-	✓	-	0.80
29	Plastik	-	✓	-	0.77
30	Plastik	-	✓	-	0.76

Pada Tabel 4.5 menunjukkan hasil pengujian kontrol sistem sampah plastik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengujian kontrol berjalan dengan baik dimana dari 30 kali percobaan semuanya terprediksi sebagai plastik, untuk akurasi

yang dihasilkan berkisar antar 0.70 – 0.92, hasil ini menunjukkan bahwa kontrol sistem berjalan dengan telah memprediksi dengan baik.

Tabel 4. 6 Hasil pengujian kontrol sistem sampah metal

Iterasi	Prediksi yang Diterima	Servo yang Bekerja			Nilai IoU
		Kertas	Plastik	Metal	
1	Metal	-	-	✓	0.79
2	Metal	-	-	✓	0.71
3	Metal	-	-	✓	0.92
4	Metal	-	-	✓	0.81
5	Metal	-	-	✓	0.72
6	Metal	-	-	✓	0.79
7	Metal	-	-	✓	0.85
8	Metal	-	-	✓	0.86
9	Metal	-	-	✓	0.91
10	Metal	-	-	✓	0.72
11	Metal	-	-	✓	0.70
12	Metal	-	-	✓	0.80
13	Metal	-	-	✓	0.81
14	Metal	-	-	✓	0.78
15	Metal	-	-	✓	0.74
16	Metal	-	-	✓	0.81
17	Metal	-	-	✓	0.87
18	Metal	-	-	✓	0.80
19	Metal	-	-	✓	0.86
20	Metal	-	-	✓	0.87
21	Metal	-	-	✓	0.85
22	Metal	-	-	✓	0.67
23	Metal	-	-	✓	0.72
24	Metal	-	-	✓	0.80
25	Metal	-	-	✓	0.86
26	Metal	-	-	✓	0.85
27	Metal	-	-	✓	0.73
28	Metal	-	-	✓	0.68
29	Metal	-	-	✓	0.77
30	Metal	-	-	✓	0.70

Pada Tabel 4.6 menunjukkan hasil pengujian kontrol sistem sampah metal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengujian kontrol berjalan dengan baik dimana dari 30 kali percobaan semuanya terprediksi sebagai metal, untuk akurasi yang dihasilkan berkisar antar 0.70 – 0.92, hasil ini menunjukkan bahwa kontrol sistem berjalan dengan telah memprediksi dengan baik.

4.3 Pengujian Proses Deteksi Obyek Sistem

4.3.1 Tujuan Pengujian Proses Deteksi Obyek Sistem

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar akurasi dan ketepatan model setelah selesai *training* ketika mendeteksi sampel sampah yang digunakan sebagai obyek.

4.3.2 Alat Pengujian Proses Deteksi Obyek Sistem

Alat pengujian Proses Deteksi Obyek Sistem adalah:

1. Prototype Kotak Sampah Otomatis
2. Sampel Obyek Sampah

4.3.3 Prosedur Pengujian Proses Deteksi Obyek Sistem

Prosedur pengujian Proses Deteksi Obyek Sistem adalah sebagai berikut:

1. Menyalakan Prototype.
2. Menjalankan program pada prototype.
3. Mendekatkan sampah pada kamera yang terdapat pada prototype.

4.3.4 Hasil Pengujian Proses Deteksi Obyek Sistem

Hasil pengujian ini berupa akurasi benar atau salah yang didapatkan dimana dapat dilihat pada monitor yang akan menampilkan sampah yang terdeteksi, dan juga akurasi *servo* membuka kotak sampah berdasarkan jenis sampah yang terdeteksi.

Tabel 4. 7 Hasil pengujian proses deteksi obyek sistem sampah kertas

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Nilai IoU	Monitor
		Kertas	Plastik	Metal		Prediksi yang Diterima
1	T	✓	-	-	0.73	Kertas
2	T	✓	-	-	0.76	Kertas
3	T	✓	-	-	0.92	Kertas
4	T	✓	-	-	0.80	Kertas
5	T	✓	-	-	0.76	Kertas
6	T	✓	-	-	0.78	Kertas
7	T	✓	-	-	0.85	Kertas
8	T	✓	-	-	0.86	Kertas
9	T	✓	-	-	0.90	Kertas

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Monitor	
		Kertas	Plastik	Metal	Nilai IoU	Prediksi yang Diterima
10	T	✓	-	-	0.72	Kertas
11	T	✓	-	-	0.70	Kertas
12	T	✓	-	-	0.80	Kertas
13	T	✓	-	-	0.81	Kertas
14	T	✓	-	-	0.77	Kertas
15	T	✓	-	-	0.74	Kertas
16	T	✓	-	-	0.84	Kertas
17	T	✓	-	-	0.89	Kertas
18	T	✓	-	-	0.81	Kertas
19	T	✓	-	-	0.66	Kertas
20	T	✓	-	-	0.87	Kertas
21	T	✓	-	-	0.85	Kertas
22	T	✓	-	-	0.79	Kertas
23	T	✓	-	-	0.72	Kertas
24	T	✓	-	-	0.80	Kertas
25	T	✓	-	-	0.86	Kertas
26	T	✓	-	-	0.85	Kertas
27	T	✓	-	-	0.73	Kertas
28	T	✓	-	-	0.68	Kertas
29	T	✓	-	-	0.77	Kertas
30	T	✓	-	-	0.70	Kertas

Pada Tabel 4.7 menunjukkan hasil pengujian proses deteksi sistem pada obyek sampah kertas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengujian kontrol berjalan dengan baik dimana dari 30 kali percobaan menunjukkan status benar (True = T), untuk akurasi yang dihasilkan berkisar antar 0.70 – 0.92 dengan monitor menunjukkan sampah yang terdeteksi adalah sampah kertas, hasil ini menunjukkan bahwa kontrol sistem berjalan dengan telah memprediksi dengan baik.

Tabel 4. 8 Hasil pengujian proses deteksi obyek sistem sampah plastik

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Monitor	
		Kertas	Plastik	Metal	Nilai IoU	Prediksi yang Diterima
1	T	-	✓	-	0.73	Plastik
2	T	-	✓	-	0.76	Plastik
3	T	-	✓	-	0.92	Plastik
4	T	-	✓	-	0.80	Plastik
5	T	-	✓	-	0.76	Plastik
6	T	-	✓	-	0.78	Plastik
7	T	-	✓	-	0.85	Plastik

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Monitor	
		Kertas	Plastik	Metal	Nilai IoU	Prediksi yang Diterima
8	T	-	✓	-	0.86	Plastik
9	T	-	✓	-	0.90	Plastik
10	T	-	✓	-	0.72	Plastik
11	T	-	✓	-	0.70	Plastik
12	T	-	✓	-	0.80	Plastik
13	T	-	✓	-	0.81	Plastik
14	T	-	✓	-	0.77	Plastik
15	T	-	✓	-	0.74	Plastik
16	T	-	✓	-	0.84	Plastik
17	T	-	✓	-	0.89	Plastik
18	T	-	✓	-	0.81	Plastik
19	T	-	✓	-	0.66	Plastik
20	T	-	✓	-	0.87	Plastik
21	T	-	✓	-	0.85	Plastik
22	T	-	✓	-	0.87	Plastik
23	T	-	✓	-	0.72	Plastik
24	T	-	✓	-	0.80	Plastik
25	T	-	✓	-	0.86	Plastik
26	T	-	✓	-	0.85	Plastik
27	T	-	✓	-	0.73	Plastik
28	T	-	✓	-	0.68	Plastik
29	T	-	✓	-	0.77	Plastik
30	T	-	✓	-	0.77	Plastik

Pada Tabel 4.8 menunjukkan hasil pengujian proses deteksi sistem pada obyek sampah plastik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengujian kontrol berjalan dengan baik dimana dari 30 kali percobaan menunjukkan status benar (True = T), untuk akurasi yang dihasilkan berkisar antar 0.70 – 0.92 dengan monitor menunjukkan sampah yang terdeteksi adalah sampah plastik, hasil ini menunjukkan bahwa kontrol sistem berjalan dengan telah memprediksi dengan baik.

Tabel 4. 9 Hasil pengujian proses deteksi obyek sistem sampah metal

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Monitor	
		Kertas	Plastik	Metal	Nilai IoU	Prediksi yang Diterima
1	T	-	-	✓	0.70	Metal
2	T	-	-	✓	0.76	Metal
3	T	-	-	✓	0.92	Metal
4	T	-	-	✓	0.80	Metal
5	T	-	-	✓	0.76	Metal

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Monitor	
		Kertas	Plastik	Metal	Nilai IoU	Prediksi yang Diterima
6	T	-	-	✓	0.78	Metal
7	T	-	-	✓	0.85	Metal
8	T	-	-	✓	0.86	Metal
9	T	-	-	✓	0.90	Metal
10	T	-	-	✓	0.72	Metal
11	T	-	-	✓	0.70	Metal
12	T	-	-	✓	0.80	Metal
13	T	-	-	✓	0.81	Metal
14	T	-	-	✓	0.77	Metal
15	T	-	-	✓	0.74	Metal
16	T	-	-	✓	0.84	Metal
17	T	-	-	✓	0.89	Metal
18	T	-	-	✓	0.81	Metal
19	T	-	-	✓	0.66	Metal
20	T	-	-	✓	0.87	Metal
21	T	-	-	✓	0.85	Metal
22	T	-	-	✓	0.77	Metal
23	T	-	-	✓	0.72	Metal
24	T	-	-	✓	0.80	Metal
25	T	-	-	✓	0.86	Metal
26	T	-	-	✓	0.85	Metal
27	T	-	-	✓	0.73	Metal
28	T	-	-	✓	0.68	Metal
29	T	-	-	✓	0.77	Metal
30	T	-	-	✓	0.79	Metal

Pada Tabel 4.9 menunjukkan hasil pengujian proses deteksi sistem pada obyek sampah metal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengujian kontrol berjalan dengan baik dimana dari 30 kali percobaan menunjukkan status benar (True = T), untuk akurasi yang dihasilkan berkisar antar 0.70 – 0.92 dengan monitor menunjukkan sampah yang terdeteksi adalah sampah metal, hasil ini menunjukkan bahwa kontrol sistem berjalan dengan telah memprediksi dengan baik.

4.4 Pengujian Jarak Deteksi Terbaik Sistem

4.4.1 Tujuan Pengujian Jarak Deteksi Terbaik Sistem

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa jauh jarak yang bisa didapatkan oleh sistem ketika mendeteksi obyek sampah. Untuk jarak yang telah ditentukan sebelumnya adalah 0.5 sampai 2 meter.

4.4.2 Alat Pengujian Jarak Deteksi Terbaik Sistem

Alat yang digunakan untuk pengujian jarak deteksi terbaik adalah sebagai berikut:

1. *Prototype* Kotak Sampah Otomatis
2. Meteran

4.4.3 Prosedur Pengujian Jarak Deteksi Terbaik Sistem

Prosedur pengujian Proses Deteksi Obyek Sistem adalah sebagai berikut:

1. Menyalakan *Prototype*.
2. Menjalankan program pada *prototype*.
3. Mendekatkan atau menjauhkan sampah dari kamera yang pada *prototype*, sesuai dengan jarak yang ditentukan pada table pengujian.

4.4.4 Hasil Pengujian Jarak Deteksi Terbaik Sistem

Hasil pengukuran jarak yang didapatkan yang dimulai dari 0.5 sampai 2 meter berupa nilai akurasi dan respon kotak sampah terbuka secara otomatis.

Tabel 4. 10 Pengujian jarak 0.5 meter untuk sampah kertas

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Nilai IoU	Monitor Prediksi yang Diterima
		Kertas	Plastik	Metal		
1	T	✓	-	-	0.85	Kertas
2	T	✓	-	-	0.84	Kertas
3	T	✓	-	-	0.80	Kertas
4	T	✓	-	-	0.83	Kertas
5	T	✓	-	-	0.76	Kertas
6	T	✓	-	-	0.78	Kertas
7	T	✓	-	-	0.83	Kertas
8	T	✓	-	-	0.86	Kertas
9	T	✓	-	-	0.83	Kertas
10	T	✓	-	-	0.82	Kertas
11	T	✓	-	-	0.81	Kertas
12	T	✓	-	-	0.86	Kertas
13	T	✓	-	-	0.88	Kertas
14	T	✓	-	-	0.80	Kertas
15	T	✓	-	-	0.79	Kertas
16	T	✓	-	-	0.78	Kertas
17	T	✓	-	-	0.73	Kertas
18	T	✓	-	-	0.82	Kertas

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Monitor	
		Kertas	Plastik	Metal	Nilai IoU	Prediksi yang Diterima
19	T	✓	-	-	0.86	Kertas
20	T	✓	-	-	0.88	Kertas
21	T	✓	-	-	0.80	Kertas
22	T	✓	-	-	0.73	Kertas
23	T	✓	-	-	0.80	Kertas
24	T	✓	-	-	0.77	Kertas
25	T	✓	-	-	0.85	Kertas
26	T	✓	-	-	0.81	Kertas
27	T	✓	-	-	0.81	Kertas
28	T	✓	-	-	0.81	Kertas
29	T	✓	-	-	0.83	Kertas
30	T	✓	-	-	0.86	Kertas

Pada Tabel 4.10 menunjukkan hasil pengujian jarak deteksi terbaik sistem pada obyek sampah kertas dengan jarak 0.5 meter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengujian jarak 0.5 meter sebanyak 30 kali percobaan menunjukkan status benar (True = T), untuk akurasi yang dihasilkan berkisar antar 0.73 – 0.88 dengan monitor menunjukkan sampah yang terdeteksi adalah sampah kertas, hasil ini menunjukkan bahwa sistem pada jarak 0.5 meter telah memprediksi dengan baik.

Tabel 4. 11 Pengujian jarak 0.5 meter untuk sampah plastik

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Monitor	
		Kertas	Plastik	Metal	Nilai IoU	Prediksi yang Diterima
1	T	-	✓	-	0.80	Plastik
2	T	-	✓	-	0.72	Plastik
3	T	-	✓	-	0.72	Plastik
4	T	-	✓	-	0.84	Plastik
5	T	-	✓	-	0.86	Plastik
6	T	-	✓	-	0.85	Plastik
7	T	-	✓	-	0.83	Plastik
8	T	-	✓	-	0.86	Plastik
9	T	-	✓	-	0.86	Plastik
10	T	-	✓	-	0.83	Plastik
11	T	-	✓	-	0.81	Plastik
12	T	-	✓	-	0.81	Plastik
13	T	-	✓	-	0.72	Plastik
14	T	-	✓	-	0.85	Plastik
15	T	-	✓	-	0.80	Plastik
16	T	-	✓	-	0.82	Plastik

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Monitor	
		Kertas	Plastik	Metal	Nilai IoU	Prediksi yang Diterima
17	T	-	✓	-	0.89	Plastik
18	T	-	✓	-	0.80	Plastik
19	T	-	✓	-	0.83	Plastik
20	T	-	✓	-	0.87	Plastik
21	T	-	✓	-	0.83	Plastik
22	T	-	✓	-	0.72	Plastik
23	T	-	✓	-	0.81	Plastik
24	T	-	✓	-	0.73	Plastik
25	T	-	✓	-	0.71	Plastik
26	T	-	✓	-	0.75	Plastik
27	T	-	✓	-	0.86	Plastik
28	T	-	✓	-	0.88	Plastik
29	T	-	✓	-	0.82	Plastik
30	T	-	✓	-	0.72	Plastik

Pada Tabel 4.11 menunjukkan hasil pengujian jarak deteksi terbaik sistem pada obyek sampah plastik dengan jarak 0.5 meter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengujian jarak 0.5 meter sebanyak 30 kali percobaan menunjukkan status benar (True = T), untuk akurasi yang dihasilkan berkisar antar 0.71 – 0.89 dengan monitor menunjukkan sampah yang terdeteksi adalah sampah plastik, hasil ini menunjukkan bahwa sistem pada jarak 0.5 meter telah memprediksi dengan baik.

Tabel 4. 12 Pengujian jarak 0.5 meter untuk sampah metal

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Monitor	
		Kertas	Plastik	Metal	Nilai IoU	Prediksi yang Diterima
1	T	-	-	✓	0.85	Metal
2	T	-	-	✓	0.83	Metal
3	T	-	-	✓	0.88	Metal
4	T	-	-	✓	0.81	Metal
5	T	-	-	✓	0.85	Metal
6	T	-	-	✓	0.89	Metal
7	T	-	-	✓	0.90	Metal
8	T	-	-	✓	0.84	Metal
9	T	-	-	✓	0.82	Metal
10	T	-	-	✓	0.82	Metal
11	T	-	-	✓	0.82	Metal
12	T	-	-	✓	0.79	Metal
13	T	-	-	✓	0.79	Metal
14	T	-	-	✓	0.86	Metal

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Monitor	
		Kertas	Plastik	Metal	Nilai IoU	Prediksi yang Diterima
15	T	-	-	✓	0.88	Metal
16	T	-	-	✓	0.88	Metal
17	T	-	-	✓	0.88	Metal
18	T	-	-	✓	0.86	Metal
19	T	-	-	✓	0.83	Metal
20	T	-	-	✓	0.89	Metal
21	T	-	-	✓	0.77	Metal
22	T	-	-	✓	0.89	Metal
23	T	-	-	✓	0.74	Metal
24	T	-	-	✓	0.91	Metal
25	T	-	-	✓	0.91	Metal
26	T	-	-	✓	0.84	Metal
27	T	-	-	✓	0.80	Metal
28	T	-	-	✓	0.79	Metal
29	T	-	-	✓	0.85	Metal
30	T	-	-	✓	0.87	Metal

Pada Tabel 4.12 menunjukkan hasil pengujian jarak deteksi terbaik sistem pada obyek sampah metal dengan jarak 0.5 meter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengujian jarak 0.5 meter sebanyak 30 kali percobaan menunjukkan status benar (True = T), untuk akurasi yang dihasilkan berkisar antar 0.74 – 0.90 dengan monitor menunjukkan sampah yang terdeteksi adalah sampah metal, hasil ini menunjukkan bahwa sistem pada jarak 0.5 meter telah memprediksi dengan baik.

Tabel 4. 13 Pengujian jarak 1.0 meter untuk sampah kertas

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Monitor	
		Kertas	Plastik	Metal	Nilai IoU	Prediksi yang Diterima
1	T	✓	-	-	0.70	Kertas
2	T	✓	-	-	0.81	Kertas
3	T	✓	-	-	0.84	Kertas
4	T	✓	-	-	0.86	Kertas
5	T	✓	-	-	0.85	Kertas
6	T	✓	-	-	0.85	Kertas
7	T	✓	-	-	0.72	Kertas
8	T	✓	-	-	0.75	Kertas
9	T	✓	-	-	0.82	Kertas
10	T	✓	-	-	0.80	Kertas
11	T	✓	-	-	0.76	Kertas
12	T	✓	-	-	0.85	Kertas

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Monitor	
		Kertas	Plastik	Metal	Nilai IoU	Prediksi yang Diterima
13	T	✓	-	-	0.88	Kertas
14	T	✓	-	-	0.70	Kertas
15	T	✓	-	-	0.72	Kertas
16	T	✓	-	-	0.78	Kertas
17	T	✓	-	-	0.84	Kertas
18	T	✓	-	-	0.83	Kertas
19	T	✓	-	-	0.82	Kertas
20	T	✓	-	-	0.83	Kertas
21	T	✓	-	-	0.70	Kertas
22	T	✓	-	-	0.72	Kertas
23	T	✓	-	-	0.82	Kertas
24	T	✓	-	-	0.78	Kertas
25	T	✓	-	-	0.84	Kertas
26	T	✓	-	-	0.84	Kertas
27	T	✓	-	-	0.85	Kertas
28	T	✓	-	-	0.75	Kertas
29	T	✓	-	-	0.85	Kertas
30	T	✓	-	-	0.80	Kertas

Pada Tabel 4.13 menunjukkan hasil pengujian jarak deteksi terbaik sistem pada obyek sampah kertas dengan jarak 1.0 meter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengujian jarak 1.0 meter sebanyak 30 kali percobaan menunjukkan status benar (True = T), untuk akurasi yang dihasilkan berkisar antar 0.70 – 0.88 dengan monitor menunjukkan sampah yang terdeteksi adalah sampah kertas, hasil ini menunjukkan bahwa sistem pada jarak 1.0 meter telah memprediksi dengan baik.

Tabel 4. 14 Pengujian jarak 1.0 meter untuk sampah plastik

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Monitor	
		Kertas	Plastik	Metal	Nilai IoU	Prediksi yang Diterima
1	T	-	✓	-	0.80	Plastik
2	T	-	✓	-	0.82	Plastik
3	T	-	✓	-	0.76	Plastik
4	T	-	✓	-	0.76	Plastik
5	T	-	✓	-	0.76	Plasti
6	T	-	✓	-	0.73	Plastik
7	T	-	✓	-	0.71	Plastik
8	T	-	✓	-	0.75	Plastik
9	T	-	✓	-	0.76	Plastik
10	T	-	✓	-	0.77	Plastik

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Monitor	
		Kertas	Plastik	Metal	Nilai IoU	Prediksi yang Diterima
11	T	-	✓	-	0.80	Plastik
12	T	-	✓	-	0.78	Plastik
13	T	-	✓	-	0.81	Plastik
14	T	-	✓	-	0.80	Plastik
15	T	-	✓	-	0.76	Plastik
16	T	-	✓	-	0.81	Plastik
17	T	-	✓	-	0.77	Plastik
18	T	-	✓	-	0.79	Plastik
19	T	-	✓	-	0.84	Plastik
20	T	-	✓	-	0.85	Plastik
21	T	-	✓	-	0.86	Plastik
22	T	-	✓	-	0.86	Plastik
23	T	-	✓	-	0.86	Plastik
24	T	-	✓	-	0.85	Plastik
25	T	-	✓	-	0.85	Plastik
26	T	-	✓	-	0.84	Plastik
27	T	-	✓	-	0.84	Plastik
28	T	-	✓	-	0.84	Plastik
29	T	-	✓	-	0.84	Plastik
30	T	-	✓	-	0.85	Plastik

Pada Tabel 4.14 menunjukkan hasil pengujian jarak deteksi terbaik sistem pada obyek sampah plastik dengan jarak 1.0 meter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengujian jarak 1.0 meter sebanyak 30 kali percobaan menunjukkan status benar (True = T), untuk akurasi yang dihasilkan berkisar antar 0.75 – 0.86 dengan monitor menunjukkan sampah yang terdeteksi adalah sampah plastik, hasil ini menunjukkan bahwa sistem pada jarak 1.0 meter telah memprediksi dengan baik.

Tabel 4. 15 Pengujian jarak 1.0 meter untuk sampah metal

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Monitor	
		Kertas	Plastik	Metal	Nilai IoU	Prediksi yang Diterima
1	T	-	-	✓	0.74	Metal
2	T	-	-	✓	0.83	Metal
3	T	-	-	✓	0.85	Metal
4	T	-	-	✓	0.81	Metal
5	T	-	-	✓	0.85	Metal
6	T	-	-	✓	0.84	Metal
7	T	-	-	✓	0.81	Metal
8	T	-	-	✓	0.86	Metal

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Monitor	
		Kertas	Plastik	Metal	Nilai IoU	Prediksi yang Diterima
9	T	-	-	✓	0.86	Metal
10	T	-	-	✓	0.86	Metal
11	T	-	-	✓	0.81	Metal
12	T	-	-	✓	0.84	Metal
13	T	-	-	✓	0.85	Metal
14	T	-	-	✓	0.86	Metal
15	T	-	-	✓	0.86	Metal
16	T	-	-	✓	0.85	Metal
17	T	-	-	✓	0.85	Metal
18	T	-	-	✓	0.78	Metal
19	T	-	-	✓	0.85	Metal
20	T	-	-	✓	0.84	Metal
21	T	-	-	✓	0.86	Metal
22	T	-	-	✓	0.84	Metal
23	T	-	-	✓	0.81	Metal
24	T	-	-	✓	0.89	Metal
25	T	-	-	✓	0.86	Metal
26	T	-	-	✓	0.85	Metal
27	T	-	-	✓	0.73	Metal
28	T	-	-	✓	0.78	Metal
29	T	-	-	✓	0.77	Metal
30	T	-	-	✓	0.76	Metal

Pada Tabel 4.15 menunjukkan hasil pengujian jarak deteksi terbaik sistem pada obyek sampah metal dengan jarak 1.0 meter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengujian jarak 1.0 meter sebanyak 30 kali percobaan menunjukkan status benar (True = T), untuk akurasi yang dihasilkan berkisar antar 0.74 – 0.89, hasil ini menunjukkan bahwa sistem pada jarak 1.0 meter telah memprediksi dengan baik.

Tabel 4. 16 Pengujian jarak 1.5 meter untuk sampah kertas

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Monitor	
		Kertas	Plastik	Metal	Nilai IoU	Prediksi yang Diterima
1	T	✓	-	-	0.73	Kertas
2	T	✓	-	-	0.91	Kertas
3	T	✓	-	-	0.85	Kertas
4	T	✓	-	-	0.86	Kertas
5	T	✓	-	-	0.90	Kertas
6	T	✓	-	-	0.89	Kertas
7	T	✓	-	-	0.88	Kertas
8	F	-	-	-	-	No detection

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Monitor	
		Kertas	Plastik	Metal	Nilai IoU	Prediksi yang Diterima
9	T	✓	-	-	0.72	Kertas
10	T	✓	-	-	0.73	Kertas
11	T	✓	-	-	0.88	Kertas
12	T	✓	-	-	0.90	Kertas
13	T	✓	-	-	0.90	Kertas
14	T	✓	-	-	0.87	Kertas
15	F	-	-	-	-	No detection
16	T	✓	-	-	0.72	Kertas
17	T	✓	-	-	0.85	Kertas
18	T	✓	-	-	0.81	Kertas
19	T	✓	-	-	0.87	Kertas
20	T	✓	-	-	0.84	Kertas
21	T	✓	-	-	0.83	Kertas
22	T	✓	-	-	0.84	Kertas
23	T	✓	-	-	0.87	Kertas
24	F	-	-	-	-	No detection
25	F	-	-	-	-	No detection
26	F	-	-	-	-	No detection
27	F	-	-	-	-	No detection
28	F	-	-	-	-	No detection
29	T	✓	-	-	0.81	Kertas
30	T	✓	-	-	0.80	Kertas

Pada Tabel 4.16 menunjukkan hasil pengujian jarak deteksi terbaik sistem pada obyek sampah kertas dengan jarak 1.5 meter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengujian jarak 1.5 meter sebanyak 30 kali percobaan menunjukkan status benar (True = T) sebanyak 23 kali dan status salah (False = F) sebanyak 7 kali, untuk akurasi yang dihasilkan berkisar antar 0.72 – 0.91, hasil ini menunjukkan bahwa sistem pada jarak 1.5 meter memprediksi dengan kurang baik.

Tabel 4. 17 Pengujian jarak 1.5 meter untuk sampah plastik

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Monitor	
		Kertas	Plastik	Metal	Nilai IoU	Prediksi yang Diterima
1	T	-	✓	-	0.79	Plastik
2	T	-	✓	-	0.73	Plastik
3	F	-	-	-	-	No detection
4	F	-	-	-	-	No detection
5	F	-	-	-	-	No detection
6	F	-	-	-	-	No detection

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Monitor	
		Kertas	Plastik	Metal	Nilai IoU	Prediksi yang Diterima
7	T	-	✓	-	0.71	Plastik
8	T	-	✓	-	0.70	Plastik
9	T	-	✓	-	0.80	Plastik
10	T	-	✓	-	0.77	Plastik
11	F	-	-	-	-	No detection
12	T	-	✓	-	0.79	Plastik
13	T	-	✓	-	0.72	Plastik
14	T	-	✓	-	0.76	Plastik
15	T	-	✓	-	0.78	Plastik
16	T	-	✓	-	0.72	Plastik
17	T	-	✓	-	0.78	Plastik
18	T	-	✓	-	0.74	Plastik
19	T	-	✓	-	0.71	Plastik
20	T	-	✓	-	0.73	Plastik
21	T	-	✓	-	0.75	Plastik
22	T	-	✓	-	0.76	Plastik
23	T	-	✓	-	0.79	Plastik
24	T	-	✓	-	0.82	Plastik
25	T	-	✓	-	0.83	Plastik
26	T	-	✓	-	0.83	Plastik
27	T	-	✓	-	0.83	Plastik
28	T	-	✓	-	0.82	Plastik
29	T	-	✓	-	0.84	Plastik
30	T	-	✓	-	0.83	Plastik

Pada Tabel 4.17 menunjukkan hasil pengujian jarak deteksi terbaik sistem pada obyek sampah plastik dengan jarak 1.5 meter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengujian jarak 1.5 meter sebanyak 30 kali percobaan menunjukkan status benar (True = T) sebanyak 25 kali dan status salah (False = F) sebanyak 5 kali, untuk akurasi yang dihasilkan berkisar antar 0.70 – 0.84, hasil ini menunjukkan bahwa sistem pada jarak 1.5 meter memprediksi dengan kurang baik.

Tabel 4. 18 Pengujian jarak 1.5 meter untuk sampah metal

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Monitor	
		Kertas	Plastik	Metal	Nilai IoU	Prediksi yang Diterima
1	T	-	-	✓	0.72	Metal
2	T	-	-	✓	0.77	Metal
3	F	-	-	-	-	No detection
4	F	-	-	-	-	No detection

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Monitor	
		Kertas	Plastik	Metal	Nilai IoU	Prediksi yang Diterima
5	F	-	-	-	-	No detection
6	F	-	-	-	-	No detection
7	F	-	-	-	-	No detection
8	F	-	-	-	-	No detection
9	F	-	-	-	-	No detection
10	F	-	-	-	-	No detection
11	F	-	-	-	-	No detection
12	F	-	-	-	-	No detection
13	F	-	-	-	-	No detection
14	T	-	-	✓	0.71	Metal
15	T	-	-	✓	0.70	Metal
16	T	-	-	✓	0.75	Metal
17	T	-	-	✓	0.79	Metal
18	T	-	-	✓	0.72	Metal
19	T	-	-	✓	0.74	Metal
20	T	-	-	✓	0.76	Metal
21	T	-	-	✓	0.78	Metal
22	T	-	-	✓	0.76	Metal
23	T	-	-	✓	0.74	Metal
24	T	-	-	✓	0.77	Metal
25	T	-	-	✓	0.76	Metal
26	T	-	-	✓	0.76	Metal
27	T	-	-	✓	0.76	Metal
28	T	-	-	✓	0.76	Metal
29	T	-	-	✓	0.79	Metal
30	T	-	-	✓	0.79	Metal

Pada Tabel 4.18 menunjukkan hasil pengujian jarak deteksi terbaik sistem pada obyek sampah metal dengan jarak 1.5 meter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengujian jarak 1.5 meter sebanyak 30 kali percobaan menunjukkan status benar (True = T) sebanyak 19 kali dan status salah (False = F) sebanyak 11 kali, untuk akurasi yang dihasilkan berkisar antar 0.70 – 0.79, hasil ini menunjukkan bahwa sistem pada jarak 1.5 meter memprediksi dengan kurang baik.

Tabel 4. 19 Pengujian jarak 2.0 meter untuk sampah kertas

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Monitor	
		Kertas	Plastik	Metal	Nilai IoU	Prediksi yang Diterima
1	F	-	-	-	-	No detection
2	F	-	-	-	-	No detection

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Nilai IoU	Monitor
		Kertas	Plastik	Metal		
3	T	✓	-	-	0.75	Kertas
4	F	-	-	-	-	No detection
5	T	✓	-	-	0.73	Kertas
6	F	-	-	-	-	No detection
7	F	-	-	-	-	No detection
8	T	✓	-	-	0.77	Kertas
9	F	-	-	-	-	No detection
10	T	✓	-	-	0.72	Kertas
11	F	-	-	-	-	No detection
12	T	✓	-	-	0.78	Kertas
13	T	✓	-	-	0.74	Kertas
14	F	-	-	-	-	No detection
15	F	-	-	-	-	No detection
16	F	-	-	-	-	No detection
17	T	✓	-	-	0.76	Kertas
18	T	✓	-	-	0.71	Kertas
19	F	-	-	-	-	No detection
20	F	-	-	-	-	No detection
21	F	-	-	-	-	No detection
22	T	✓	-	-	0.72	Kertas
23	T	✓	-	-	0.78	Kertas
24	F	-	-	-	-	No detection
25	F	-	-	-	-	No detection
26	T	✓	-	-	0.77	Kertas
27	F	-	-	-	-	No detection
28	F	-	-	-	-	No detection
29	F	-	-	-	-	No detection
30	F	-	-	-	-	No detection

Pada Tabel 4.19 menunjukkan hasil pengujian jarak deteksi terbaik sistem pada obyek sampah kertas dengan jarak 2.0 meter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengujian jarak 2.0 meter sebanyak 30 kali percobaan menunjukkan status benar (True = T) sebanyak 11 kali dan status salah (Flase = F) sebanyak 19 kali, untuk akurasi yang dihasilkan berkisar antar 0.71 – 0.78, hasil ini menunjukkan bahwa sistem pada jarak 2.0 meter memprediksi dengan kurang baik.

Tabel 4. 20 Pengujian jarak 2.0 meter untuk sampah plastik

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Monitor	
		Kertas	Plastik	Metal	Nilai IoU	Prediksi yang Diterima
1	F	-	-	-	-	No detection
2	F	-	-	-	-	No detection
3	F	-	-	-	-	No detection
4	F	-	-	-	-	No detection
5	F	-	-	-	-	No detection
6	F	-	-	-	-	No detection
7	F	-	-	-	-	No detection
8	F	-	-	-	-	No detection
9	F	-	-	-	-	No detection
10	F	-	-	-	-	No detection
11	T	-	✓	-	0.76	Plastik
12	T	-	✓	-	0.71	Plastik
13	F	-	-	-	-	No detection
14	F	-	-	-	-	No detection
15	F	-	-	-	-	No detection
16	T	-	✓	-	0.70	Plastik
17	F	-	-	-	-	No detection
18	T	-	✓	-	0.70	Plastik
19	T	-	✓	-	0.70	Plastik
20	F	-	-	-	-	No detection
21	F	-	-	-	-	No detection
22	T	-	✓	-	0.73	Plastik
23	T	-	✓	-	0.72	Plastik
24	T	-	✓	-	0.73	Plastik
25	T	-	✓	-	0.71	Plastik
26	T	-	✓	-	0.71	Plastik
27	F	-	-	-	-	No detection
28	F	-	-	-	-	No detection
29	F	-	-	-	-	No detection
30	F	-	-	-	-	No detection

Pada Tabel 4.20 menunjukkan hasil pengujian jarak deteksi terbaik sistem pada obyek sampah plastik dengan jarak 2.0 meter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengujian jarak 2.0 meter sebanyak 30 kali percobaan menunjukkan status benar (True = T) sebanyak 10 kali dan status salah (Flase = F) sebanyak 20 kali, untuk akurasi yang dihasilkan berkisar antar 0.70 – 0.76, hasil ini menunjukkan bahwa sistem pada jarak 2.0 meter memprediksi dengan kurang baik.

Tabel 4. 21 Pengujian jarak 2.0 meter untuk sampah metal

Iterasi	Status	Servo yang Bekerja			Monitor	
		Kertas	Plastik	Metal	Nilai IoU	Prediksi yang Diterima
1	F	-	-	-	-	No detection
2	F	-	-	-	-	No detection
3	F	-	-	-	-	No detection
4	F	-	-	-	-	No detection
5	F	-	-	-	-	No detection
6	F	-	-	-	-	No detection
7	F	-	-	-	-	No detection
8	F	-	-	-	-	No detection
9	F	-	-	-	-	No detection
10	F	-	-	-	-	No detection
11	F	-	-	-	-	No detection
12	F	-	-	-	-	No detection
13	F	-	-	-	-	No detection
14	T	-	-	✓	0.71	Metal
15	T	-	-	✓	0.70	Metal
16	T	-	-	✓	0.72	Metal
17	T	-	-	✓	0.70	Metal
18	T	-	-	✓	0.72	Metal
19	T	-	-	✓	0.71	Metal
20	T	-	-	✓	0.73	Metal
21	T	-	-	✓	0.73	Metal
22	T	-	-	✓	0.73	Metal
23	T	-	-	✓	0.73	Metal
24	T	-	-	✓	0.73	Metal
25	T	-	-	✓	0.73	Metal
26	T	-	-	✓	0.73	Metal
27	T	-	-	✓	0.70	Metal
28	F	-	-	-	-	No detection
29	F	-	-	-	-	No detection
30	F	-	-	-	-	No detection

Pada Tabel 4.21 menunjukkan hasil pengujian jarak deteksi terbaik sistem pada obyek sampah metal dengan jarak 2.0 meter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengujian jarak 2.0 meter sebanyak 30 kali percobaan menunjukkan status benar (True = T) sebanyak 14 kali dan status salah (Flase = F) sebanyak 16 kali, untuk akurasi yang dihasilkan berkisar antar 0.70 – 0.73, hasil ini menunjukkan bahwa sistem pada jarak 2.0 meter memprediksi dengan kurang baik.

Tabel 4. 22 Rangkuman nilai hasil pengujian

Jarak (meter)	Jumlah Percobaan	Σ Keberhasilan (%)		
		Kertas	Plastik	Metal
0.5	30	100	100	100
1.0	30	100	100	100
1.5	30	76	83	63
2.0	30	36	33	46

Berdasarkan hasil pengujian jarak deteksi sampah yang dapat dilihat pada Tabel 4.22 menunjukkan performa model dalam mendeteksi tiga jenis sampah (kertas, plastik, dan metal) pada beberapa jarak yang berbeda. Pengujian dilakukan sebanyak 30 kali percobaan untuk setiap jenis sampah pada setiap jarak. Pada jarak 0.5 meter dan 1.0 meter, model deteksi sampah menunjukkan kinerja yang sangat baik. Ketiga jenis sampah, yaitu kertas, plastik, dan metal, berhasil terdeteksi dengan tingkat keberhasilan mencapai 100%.

Ketika jarak ditingkatkan menjadi 1.5 meter, tingkat keberhasilan deteksi mulai menurun. Pada jarak ini, sampah kertas terdeteksi dengan tingkat keberhasilan sebesar 76%, sampah plastik sebesar 83%, dan sampah metal sebesar 63%. Penurunan ini menandakan bahwa model mulai mengalami kesulitan dalam mendeteksi sampah dengan jarak yang lebih jauh dari 1.0 meter, terutama untuk sampah metal yang memiliki tingkat keberhasilan paling rendah di antara ketiga jenis sampah pada jarak ini.

Pada jarak yang lebih jauh lagi, yaitu 2.0 meter, tingkat keberhasilan deteksi menurun secara signifikan. Sampah kertas hanya terdeteksi dengan tingkat keberhasilan sebesar 36%, sampah plastik sebesar 33%, dan sampah metal sebesar 46%. Tingkat keberhasilan yang rendah ini menunjukkan bahwa model memiliki keterbatasan dalam mendeteksi sampah pada jarak yang lebih jauh dari 1.5 meter.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan akhir yang didapatkan dari hasil pengerjaan Tugas Akhir dengan judul Rancang Bangun Sistem Pemilah Sampah Secara Otomatis Berbasis Visi Komputer Menggunakan YOLO adalah sebagai berikut:

1. Hasil validasi training dataset menggunakan *epoch* sebesar 50 menghasilkan model dengan akurasi 0.85 untuk kertas, 0.93 untuk plastic, dan 0.89 untuk metal. *Epoch* sebesar 100 menghasilkan model dengan akurasi 0.89 untuk kertas, 0.95 untuk plastic, dan 0.85 untuk metal. *Epoch* sebesar 150 menghasilkan model dengan akurasi 0.93 untuk kertas, 0.97 untuk plastic, dan 0.83 untuk metal. *Epoch* sebesar 200 menghasilkan model dengan akurasi 0.93 untuk kertas, 0.94 untuk plastic, dan 0.85 untuk metal. Dapat disimpulkan bahwa sistem dapat mendeteksi jenis sampah menggunakan model YOLO.
2. Hasil pengujian kontrol sistem sebesar 30 kali percobaan untuk kontrol sistem sampah kertas mendapatkan rata – rata akurasi sebesar 0.76 dengan servo membuka kotak sampah jenis kertas sebanyak 30 kali, kontrol sistem sampah plastik mendapatkan akurasi sebesar rata – rata 0.81 dengan servo membuka kotak sampah jenis plastik sebanyak 30 kali, dan kontrol sistem sampah metal mendapatkan rata – rata akurasi sebesar 0.75 dengan servo membuka kotak sampah jenis metal sebanyak 30 kali. Dapat disimpulkan bahwa sistem sukses 100% mengontrol kotak sampah untuk terbuka secara otomatis berdasarkan jenis sampah yang terdeteksi secara otomatis.
3. Hasil pengujian proses deteksi sistem sebanyak 30 kali percobaan pada obyek yang terdeteksi sukses 100% dan mendapatkan rata – rata akurasi sebesar 0.76 untuk sampah jenis kertas, rata – rata akurasi sebesar 0.81 untuk sampah jenis plastik, dan rata–rata akurasi sebesar 0.75 untuk sampah jenis metal. Dapat disimpulkan bahwa tingkat akurasi sistem dalam memilah pada setiap jenis sampah (sampah plastik, sampah kertas, dan sampah metal) diatas 70%.

4. Hasil pengujian jarak deteksi terbaik dari sistem yang telah dibuat untuk jarak 0.5 meter sebanyak 30 kali percobaan pada sampah kertas, sampah plastik, dan sampah semuanya sukses 100% terdeteksi sesuai dengan hasil yang diinginkan. Untuk jarak 1.0 meter sebanyak 30 kali percobaan pada sampah kertas, sampah plastik, dan sampah metal semuanya sukses 100% terdeteksi sesuai dengan hasil yang diinginkan. Untuk jarak 1.5 meter sebanyak 30 kali percobaan terdapat beberapa kali kegagalan dalam proses deteksi, untuk sampah kertas terdapat 7 kali kegagalan percobaan, untuk sampah plastik terdapat 5 kali kegagalan percobaan dan untuk sampah metal terdapat 10 kali. Untuk jarak 2 meter sebanyak 30 kali percobaan terdapat beberapa kali kegagalan dalam proses deteksi, untuk sampah kertas sebanyak 13 kali kegagalan percobaan, untuk sampah plastik sebanyak 20 kali kegagalan percobaan dan untuk sampah metal sebanyak 16 kali kegagalan percobaan. Dapat disimpulkan bahwa jarak ideal untuk proses deteksi sampah yang dianjurkan adalah sejauh 1 meter terhitung dari kamera.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian ini, ada beberapa hal yang disarankan untuk penelitian selanjutnya yakni sebagai berikut:

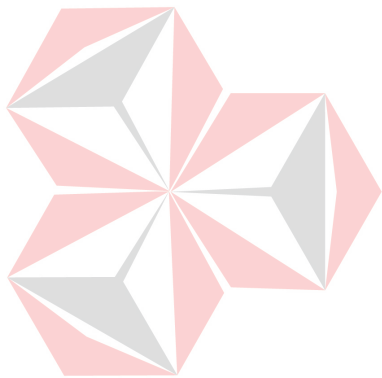
1. Ketika akan melakukan proses training data disarankan untuk melatih menggunakan nilai *epoch* yang lebih besar dengan minimal 300 *epochs* sesuai dengan anjuran *training data image*.
2. Untuk menghasilkan system deteksi sampah yang lebih stabil maka disarankan pengecekan ulang selama beberapa kali.
3. Untuk proses keamanan dan kenyamanan interaksi antara manusia dan kotak sampah diberikan *delay* beberapa detik untuk tutup kotak sampah menutup secara otomatis.
4. Ketika dalam proses pengambilan data usahakan berada di tempat yang memiliki cahaya ideal atau terang sehingga dalam proses pengambilan data dapat berjalan dengan mulus.

DAFTAR PUSTAKA

- AA Rizal Mustofa, A. (2018). *Tempat Sampah Otomatis Dengan Sistem Pemilah Jenis Sampah Organik, Anorganik, dan Logam*.
- Aminullah Tito. (2020). *Rancang Bangun Drone Pembersih Sampah Menggunakan Arduino Uno Sebagai Pengendali Utama*.
- Bijak, R., Kholis, N., & Utaminingrum, F. (2022). *Rancang Bangun Sistem Klasifikasi Sampah Anorganik Kantor menggunakan Deep Learning Arsitektur Xception berbasis NVIDIA Jetson Nano* (Vol. 6, Nomor 6). <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- Dikairono R., Faticah C., & Husnan (2023). *Deteksi Obyek Menggunakan Metode Yolo dan Implementasinya pada Robot Bawah Air* (Vol.12 Nomor 3).
- Hassadiqin, H., & Utaminingrum, F. (2023). *Sistem Pengklasifikasi Jenis Sampah Plastik berdasarkan Resin Identification Code menggunakan Metode YOLOv5s berbasis Raspberry Pi* (Vol. 7, Nomor 7). <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- Honainah, & Pawening R. E. (2023). *Deteksi Otomatis Terhadap Pelanggaran Pembuang Sampah Menggunakan Metode You Only Look Once (YOLO)*. (Vol. 4, Nomor 2).
- Kholis, R. B. N., & Utaminingrum, F. (n.d.). *Rancang Bangun Sistem Klasifikasi Sampah Anorganik Kantor menggunakan Deep Learning Arsitektur Xception berbasis NVIDIA Jetson Nano*. *Informatika Budidarma*, 6(4), 2094. <https://doi.org/10.30865/mib.v6i4.4636>
- Priana K. A., & Karyawati A. A. I. N. E. (2023). *Sistem Pendeteksi Sampah Secara Realtime Menggunakan Metode YOLO* (Vol. 2, Nomor 1).
- Reynaldi Tanjung, K., & Juwiantho, H. (t.t.). *Klasifikasi Benda Organik dan Anorganik Dengan Metode YOLOv3 dan ResNet50*.
- Sarosa, M., & Muna, N. (2021). *Implementasi Algoritma You Only Look Once (Yolo) Untuk Deteksi Korban Bencana Alam*. 8(4). <https://doi.org/10.25126/jtiik.202184407>
- Tjandra B., Nata Negara M. S., & Christoper H. (2023). *Deteksi Sampah Di Permukaan Dan Dalam Perairan Pada Obyek Video Dengan Metode Robust and Efficient Post-Processing Dan Tubelet-Level Bounding Box Linking*.
- Wijayanto, A., Tirta, A. J., & Ramadhani, A. D. (2022). *Sistem Pencacah Sampah Berbasis Computer Vision Menggunakan Metode Eigenface*. *Jurnal Media Informatika Budidarma*, 6(4), 2094. <https://doi.org/10.30865/mib.v6i4.4636>

Wujaya M. C., & Santoso Leo W. (2021). *Klasifikasi Pakaian Berdasarkan Gambar Menggunakan Metode YOLOv3 dan CNN* (Vol. 9, Nomor 1).

Zuraidah, Z., Rosyidah, L. N., & Zulfi, R. F. (2022). *Edukasi Pengelolaan Dan Pemanfaatan Sampah Anorganik Di Mi Al Munir Desa Gadungan Kecamatan Puncu Kabupaten Kediri. Budimas: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 4(2). <https://doi.org/10.29040/budimas.v4i2.6547>



UNIVERSITAS
Dinamika