



**RANCANG BANGUN SISTEM PEMILAHAN,
EFISIENSI DAN MONITORING KAPASITAS
PENYIMPANAN TEMPAT SAMPAH PINTAR
BERBASIS INTERNET OF THINGS**

Sub-Judul:

**RANCANG BANGUN SISTEM PEMILAH SAMPAH
OTOMATIS BERBASIS INTERNET OF THINGS DAN
MACHINE LEARNING MENGGUNAKAN
ALGORITMA YOLO11**

SKRIPSI

Muhammad Zharfan khalisindra

2207421018

**PROGRAM STUDI TEKNIK MULTIMEDIA DAN JARINGAN
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA DAN KOMPUTER
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

2026



**RANCANG BANGUN SISTEM PEMILAH SAMPAH
OTOMATIS BERBASIS INTERNET OF THINGS DAN
MACHINE LEARNING MENGGUNAKAN
ALGORITMA YOLO11**

SKRIPSI

**Dibuat untuk Melengkapi Syarat – Syarat yang Diperlukan untuk
Memperoleh Diploma Empat Politeknik**

Muhammad Zharfan khalisindra

2207421018

**PROGRAM STUDI TEKNIK MULTIMEDIA DAN JARINGAN
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA DAN KOMPUTER
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Zharfan
NIM : 2207421018
Jurusan/Program Studi : Teknik Informatika dan Komputer /
Teknik Multimedia dan Jaringan
Judul skripsi : Rancang Bangun Sistem Pemilah Sampah Otomatis
Berdasarkan Internet of Things dan Machine Learning
Menggunakan Algoritma YOLO11

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bebas dari peniruan terhadap karya dari orang lain. Kutipan pendapat dan tulisan orang lain ditunjuk sesuai dengan cara-cara penulisan karya ilmiah yang berlaku.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa dalam skripsi ini terkandung ciri-ciri plagiat dan bentuk-bentuk peniruan lain yang dianggap melanggar peraturan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Depok, 9 Juni 2026

Yang membuat pernyataan



Muhammad Zharfan Khalisindra

NIM. 2207421018

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi diajukan oleh:

Nama : Muhammad Zharfan Khalisindra

NIM : 2207421018

Program Studi : Teknik Multimedia dan Jaringan

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Skripsi pada hari Jumat
Tanggal 26, Bulan Juni, Tahun 2026 dan
dinyatakan LULUS.

Disahkan oleh

Pembimbing I : Chandra Wirawan, S.Kom., M.Kom.

Penguji I : Dr. Indra Hermawan, S.Kom., M.Kom.

Penguji II : Maria Agustin, S.Kom., M.Kom.

Penguji III : Ariawan Andi Subandana, S.Kom., M.T.I.

Mengetahui :

Jurusan Teknik Informatika dan Komputer
Ketua



Dr. Anita Hidayati, S.Kom., M.Kom.

NIP. 197908032003122003



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, nikmat, pertolongan, dan kemudahan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Pemilah Sampah Otomatis Berbasis Internet of Things dan Machine Learning Menggunakan Algoritma YOLO11”. Selama proses penyusunan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak dukungan, dan segala bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT atas segala kekuatan, petunjuk, dan kemudahan yang diberikan kepada penulis.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dukungan, serta menjadi alasan penulis untuk terus berusaha menyelesaikan pendidikan ini.
3. Bapak Chandra Wirawan, S.Kom., M.Kom. selaku dosen pembimbing yang dengan sabar telah memberikan arahan, bimbingan, masukan, serta kepercayaan dan ruang bagi penulis untuk belajar dan berproses dari awal hingga akhir penyusunan skripsi ini.
4. Irfan Apriliano selaku rekan kelompok penulis yang bersedia bekerja sama dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Orang-orang berharga yang telah memberikan nasihat, semangat, dan keyakinan kepada penulis untuk tetap menyelesaikan proses ini.
6. Seluruh dosen, civitas akademika Politeknik Negeri Jakarta, khususnya Program Studi Teknik Multimedia dan Jaringan, serta teman-teman seperjuangan yang telah memberikan ilmu, pengalaman, bantuan, dan dukungan selama masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diterima. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan menjadi kontribusi dalam pengembangan teknologi Internet of Things, khususnya pada bidang sistem monitoring lingkungan.

Depok, 9 Juni 2026

Muhammad Zharfan Khalisindra



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Politeknik Negeri Jakarta, saya bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Zharfan khalisindra
NIM : 2207421018
Jurusan / Program Studi : Teknik Informatika dan Komputer /
Teknik Multimedia dan Jaringan

Demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Politeknik Negeri Jakarta Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Rancang Bangun Sistem Pemilah Sampah Otomatis Berbasis Internet of Things dan Machine Learning Menggunakan Algoritma YOLO11

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Politeknik Negeri Jakarta Berhak menyimpan, mengalihmediakan/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Depok, 9 Juni 2026

menyatakan,



Muhammad Zharfan Khalisindra
NIM. 2207421018

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber ;
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Rancang Bangun Sistem Pemilah Sampah Otomatis Berbasis Internet of Things dan Machine Learning Menggunakan Algoritma YOLO11

ABSTRAK

Manajemen limbah rumah tangga memerlukan pemisahan spesifik, khususnya komoditas kaca dari anorganik demi keamanan daur ulang. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan tempat sampah pintar (*smart trash bin*) pemilah otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) dan *Machine Learning* YOLOv11 dengan arsitektur *hybrid Edge-to-Cloud*. Raspberry Pi di sisi lokal bertindak sebagai unit *edge* untuk mengolah sensor ultrasonik HC-SR04 dan kamera USB, lalu mengirim citra via HTTP ke Virtual Private Server (VPS). Di dalam VPS, komputasi *Two-Stage* dieksekusi secara sekuensial: Stage 1 menggunakan YOLOv11 Nano untuk lokalisasi objek (*object detection*), dilanjutkan pemotongan citra dinamis ke Stage 2 menggunakan YOLOv11 Medium untuk klasifikasi (*image classification*) menjadi kelas organik, anorganik, dan kaca. Data hasil keputusan dikirim kembali ke perangkat lokal untuk menggerakkan aktuator *dual-servo* MG996R via *hardware-timed* PWM dengan pustaka *pigpio*. Hasil pengujian pasca-*fine-tuning* menunjukkan peningkatan performa yang sangat baik pada model deteksi maupun klasifikasi. Uji coba objek nyata membuktikan sistem mampu memilah sampah secara akurat dengan galat minor akibat kemiripan visual objek transparan. Evaluasi perangkat keras menunjukkan sensor jarak dan servo berfungsi presisi. Pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat memilah sampah secara otomatis, sinkron, dan responsif.

Kata Kunci: *Anorganik, Kaca, Organik, Raspberry Pi, Two-Stage Detector, YOLOv11.*



DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR.....	iv
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan dan Manfaat	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Penelitian Sejenis	6
2.2 Internet of Things (IoT)	9
2.3 Machine Learning	9
2.4 Tempat Sampah Pintar (Smart Trash Bin).....	9
2.5 Raspberry Pi.....	10
2.6 Sensor Ultrasonik HC SR04 dan Sensor Visual Kamera	10
2.7 Algoritma YOLOv11 dan Skema Two Stage Detector	10
2.8 Layanan Komputasi Virtual Private Server.....	11
2.9 Aktuator Motor Servo MG996R dan Kendali Sinyal PWM.....	11
2.10 Tahapan Anotasi Data Citra Digital	11
2.11 <i>Data Preprocessing</i> Citra Digital	12
2.12 Augmentasi Data Visual Citra	12
2.13 Analisis Performa Model YOLOv11	12
2.14 Teori Pengujian dan Validasi Kinerja Sistem Eksperimental	13

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.15 K-Fold Cross-Validation dengan nilai $k = 3$	14
BAB III METODE PENELITIAN.....	15
3.1 Rancangan Penelitian	15
3.2 Tahapan Penelitian	16
3.3 Objek Penelitian	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	18
4.1 Analisis Kebutuhan	18
4.1.1 Analisis Kebutuhan Hardware.....	18
4.1.2 Analisis Kebutuhan Sistem	19
4.2 Perancangan Sistem	19
4.2.1 Diagram Blok.....	21
4.2.2 Flowchart Sistem	23
4.2.3 Perancangan Pelatihan Algoritma YOLO	24
4.2.4 Perancangan Implementasi Algoritma YOLOv11 di VPS (<i>Virtual Private Server</i>)	24
4.2.5 Perancangan Implementasi Hardware.....	25
4.3 Implementasi Sistem	26
4.3.1 Implementasi Pelatihan Algoritma YOLOv11	26
4.3.1.1 Data Acquisition.....	27
4.3.1.2 Data Annotation	28
4.3.1.3 Data Preprocessing.....	28
4.3.1.4 Data Augmentation.....	30
4.3.1.5 Data Training.....	30
4.3.1.6 Analisis Kinerja.....	31
4.3.2 Implementasi Hardware	40
4.3.2.1 Implementasi Model YOLOv11 <i>Two-Stage</i> Untuk Komputasi di Server	41
4.3.2.2 Implementasi Komunikasi Server dengan Raspberry PI	42
4.3.2.3 Implementasi Konfigurasi Alamat Jaringan pada Raspberry Pi	42
4.3.2.4 Implementasi Mekanisme dan Posisi Sudut Motor Servo	43
4.4 Pengujian.....	46
4.4.1 Deskripsi Pengujian	47



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.4.2	Prosedur Pengujian	47
4.4.3	Data Hasil Pengujian.....	47
4.4.3.1	Pengujian Fungsionalitas Sistem	48
4.4.3.2	Pengujian Akurasi Sensor Ultrasonik.....	49
4.4.3.3	Pengujian Akurasi Servo MG996R Pemilah Untuk Anorganik.....	51
4.4.3.4	Pengujian Akurasi Servo MG996R Pemilah Untuk Organik.....	52
4.4.3.5	Pengujian Akurasi Servo MG996R Pemilah Untuk Kaca	54
4.4.3.6	Pengujian Akurasi Servo MG996R Penuang Untuk Anorganik	54
4.4.3.7	Pengujian Akurasi Servo MG996R Penuang Untuk Organik	55
4.4.3.8	Pengujian Akurasi Servo MG996R Penuang Untuk Kaca.....	56
4.4.3.9	Pengujian QoS Komunikasi Server ke Raspberry Pi	57
4.4.3.10	Pengujian Algoritma <i>Two-Stage</i> YOLOv11 Clasification	60
4.4.3.11	Pengujian K-Fold Cross Validation Algoritma <i>Two-Stage</i> YOLOv11	69
4.4.3.12	Pengujian Algoritma <i>Two-Stage</i> YOLOv11 Detection	69
4.4.3.13	Pengujian Akurasi Algoritma <i>Two-Stage</i> YOLOv11 dengan pencahayaan berbeda	71
4.4.3.13	Pengujian Akurasi Reliability Servo MG996R.....	75
BAB V	PENUTUP.....	77
5.1	Kesimpulan	77
5.2	Saran.....	78
DAFTAR PUSTAKA		79
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		81
LAMPIRAN		82



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Confusion matrix.....	13
Gambar 3. 1 Tahapan penelitian.....	16
Gambar 4. 1 Perancangan Sistem.....	20
Gambar 4. 2 Diagram Blok	21
Gambar 4. 3 Flowchart Sistem.....	23
Gambar 4. 4 Perancangan Pelatihan Algoritma YOLO	24
Gambar 4. 5 Perancangan Implementasi Hardware	25
Gambar 4. 6 Data Acquisition.....	27
Gambar 4. 7 Data Annotation.....	28
Gambar 4. 8 Data Preprocessing.....	29
Gambar 4. 9 Data Augmentation.....	30
Gambar 4. 10 Analisis Kinerja	31
Gambar 4. 11 Metrics klasifikasi awal.....	33
Gambar 4. 12 confusion matrix klasifikasi fine tuning.....	34
Gambar 4. 13 metrics klasifikasi fine tuning	35
Gambar 4. 14 confusion metrics detection awal	36
Gambar 4. 15 hasil detection awal	37
Gambar 4. 16 confusion matriks fine tuning deteksi	38
Gambar 4. 17 hasil fine tuning deteksi.....	39
Gambar 4. 18 Implementasi Hardware	40
Gambar 4. 19 Implementasi Model YOLOv11 Two-Stage Untuk Komputasi di Server	41
Gambar 4. 20 Implementasi Server dengan Raspberry PI	42
Gambar 4. 21 Implementasi Konfigurasi Alamat Jaringan pada Raspberry Pi.....	42
Gambar 4. 22 servo stand by.....	43
Gambar 4. 23 servo anorganik	44
Gambar 4. 24 servo organik	45
Gambar 4. 25 servo kaca.....	46
Gambar 4. 26 testing dari sensor ultrasonik.....	51
Gambar 4. 27 Pengujian Akurasi servo dengan penggaris busur.....	51
Gambar 4. 28 Rekapitulasi QoS WIFI	58
Gambar 4. 29 Rekapitulasi QoS Hotspot	60
Gambar 4. 30 pengujian foto organik	60
Gambar 4.31 hasil output organik.....	61
Gambar 4. 32 foto anorganik	63
Gambar 4. 33 output anorganik.....	63
Gambar 4.34 gelas kaca	65
Gambar 4.35 hasil kaca	66
Gambar 4. 36 Pengujian pencahayaan terang	70
Gambar 4. 37 Pengujian pencahayaan gelap.....	70



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel Penelitian Terkait	6
Tabel 4. 1 Analisis Kebutuhan hardware.....	18
Tabel 4. 2 Tabel Analisis Kebutuhan Sistem.....	19
Tabel 4. 3 Distribusi Dataset	27
Tabel 4. 4 Uji Fungsionalitas Sistem.....	48
Tabel 4. 5 Pengujian Sensor Ultrasonik	49
Tabel 4. 6 Pengujian Servo MG996R Pemilah Untuk Anorganik.....	52
Tabel 4. 7 Pengujian Servo MG996R Pemilah Untuk Organik	53
Tabel 4. 8 Pengujian Servo MG996R Pemilah Untuk Kaca	54
Tabel 4. 9 Pengujian Servo MG996R Penuang Untuk Anorganik.....	55
Tabel 4. 10 Pengujian Servo MG996R Penuang Untuk Organik.....	56
Tabel 4. 11 tabel pengujian penuang kaca.....	57
Tabel 4. 12 Pengujian QoS Komunikasi Server ke Raspberry Pi menggunakan WIFI	57
Tabel 4. 13 Pengujian QoS Komunikasi Server ke Raspberry Pi menggunakan Hotspot.....	59
Tabel 4.14 tabel hasil organik	61
Tabel 4.15 hasil anorganik	64
Tabel 4. 16 tabel kaca.....	66
Tabel 4. 17 data pengujian	68
Tabel 4. 18 pengujian confusion matrix	68
Tabel 4. 19 pengujian K-Fold.....	69
Tabel 4. 20 Total Pengujian pencahayaan	71
Tabel 4. 21 Pengujian cahaya terang.....	71
Tabel 4. 22 total pengujian Cahaya terang	73
Tabel 4. 23 pengujian Cahaya gelap	73
Tabel 4. 24 total pengujian cahaya gelap	74
Tabel 4. 25 Pengujian Reliability	75

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Manajemen limbah hingga kini masih menjadi isu krusial di banyak daerah, hal ini yang disebabkan oleh peningkatan volume sampah rumah tangga serta minimnya inisiatif warga untuk memilah sampah langsung dari sumbernya. Ketiadaan proses pemilahan yang tepat membuat upaya daur ulang menjadi tidak optimal, sekaligus memperbesar tumpukan sampah yang bermuara di Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Kondisi ini tentunya membawa risiko serius bagi keseimbangan ekosistem dan kesehatan masyarakat luas (Sari et al., 2022).

Di sisi lain, kemajuan teknologi *Internet of Things* (IoT) menawarkan perspektif baru untuk efisiensi penanganan limbah melalui inovasi tempat sampah cerdas (*smart trash bin*). Dengan mengintegrasikan sensor, modul kamera, dan jaringan internet, sistem ini memungkinkan pemantauan kapasitas secara *real-time* sekaligus mengotomatisasi pemilahan. Kendati demikian, mayoritas solusi yang beredar saat ini masih terpaku pada metode konvensional atau klasifikasi dasar yang seringkali gagal mengidentifikasi spesifikasi jenis sampah dengan presisi (Hermawan, I. et al., 2023).

Sistem klasifikasi tersebut diperkuat oleh Permen LHK Nomor 14 Tahun 2021, pada Pasal 6 ayat 4, manajemen tata kelola komoditas limbah bernilai ekonomis tidak sekadar memisahkan sampah ke dalam kategori makro. Pada praktiknya, kelompok sampah anorganik harus dipilah kembali secara lebih spesifik menjadi beberapa sub-kategori, di mana material kaca wajib ditempatkan ke dalam wadah pengelompokan tersendiri. Pemisahan khusus ini didasarkan pada karakteristik fisik komoditas kaca yang memerlukan perlakuan operasional serta alur logistik daur ulang yang jauh berbeda dan lebih berisiko dibandingkan material anorganik biasa seperti plastik atau kertas. Sebagai langkah awal implementasi, prototipe tempat sampah pintar ini diuji coba di lingkungan Gedung TIK Politeknik Negeri Jakarta dengan mengadopsi standar pemisahan sub-kategori sampah yang ditemukan pada observasi tersebut.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Penerapan *Machine Learning*, terutama dalam ranah pengolahan citra digital, menghadirkan pendekatan yang lebih adaptif dan cerdas untuk klasifikasi sampah otomatis multi-kelas tersebut. Algoritma ini dirancang untuk mendeteksi pola visual unik pada objek, sehingga akurasi pemilahan dapat meningkat secara signifikan bahkan untuk membedakan sub-kategori anorganik seperti kaca. Integrasi antara kecerdasan buatan dan infrastruktur IoT ini dirancang untuk menciptakan sistem pemilahan yang otomatis, responsif, dan presisi. (Dubey, P et al., 2024).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini difokuskan pada pengembangan serta implementasi sistem pemilahan sampah berbasis IoT yang diperkuat oleh metode *Machine Learning* menggunakan arsitektur *Two-Stage Detector* YOLOv11 untuk mengklasifikasikan sampah organik, anorganik, dan kaca secara spesifik (Setiawan dan Rachmawanto, 2025).. Solusi ini diharapkan mampu mengoptimalkan efektivitas alur pemilahan langsung dari hulu, mendorong manajemen limbah yang lebih berkelanjutan, serta mendukung perwujudan konsep kota pintar (*smart city*).

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan yang dapat dirumuskan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan arsitektur komputasi *Edge-to-Cloud* berbasis IoT menggunakan Raspberry Pi dan VPS Windows Server untuk mendukung proses pemilahan sampah otomatis?
2. Bagaimana penerapan metode *Machine Learning* dengan pendekatan *Two-Stage* yang menggabungkan model YOLO11 Nano sebagai detektor objek dan model klasifikasi varian Medium untuk mengidentifikasi jenis sampah organik, anorganik, dan kaca?
3. Seberapa tinggi tingkat akurasi dan performa matriks (*Confusion Matrix*) model YOLO11 dalam mengenali dan memisahkan jenis-jenis sampah yang diuji?
4. Bagaimana integrasi komunikasi data nirkabel via HTTP antara Raspberry Pi dan VPS Windows Server dapat berjalan secara efisien dalam sistem pemilahan?



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

5. Apa saja kendala teknis yang muncul dalam pengembangan, optimalisasi dataset, hingga implementasi prototipe sistem pemilahan sampah ini?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah yang telah diuraikan, ruang lingkup permasalahan pada penelitian ini perlu dibatasi agar pembahasan lebih terarah dan tidak meluas ke aspek lain yang berada di luar fokus penelitian. Oleh karena itu, batasan masalah dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Ruang lingkup penelitian adalah di lingkungan Gedung TIK
2. Implementasi perangkat keras IoT dibatasi dalam skala prototipe wadah sampah (*Smart Trash Bin*) menggunakan Raspberry Pi sebagai unit *Edge* lokal (pengendali kamera & servo) dan VPS Windows Server sebagai pusat pengolahan data *Cloud*.
3. Proses klasifikasi dilakukan menggunakan citra digital dari kamera USB dengan menerapkan kombinasi model YOLOv11 *Object Detection* (mencari keberadaan sampah) dan YOLOv11 *Image Classification* (menentukan kategori sampah).
4. Pengenalan objek dibatasi hanya pada sampah berukuran kecil dan padat yang dibagi ke dalam 3 kategori utama, yaitu: Organik, Anorganik (botol plastik), serta Kaca. Pembatasan jumlah kategori ini disesuaikan dengan dimensi fisik dan keterbatasan ruang tampung internal pada prototipe tempat sampah pintar.
5. Integrasi sistem dibatasi pada pengiriman data gambar secara nirkabel dari Raspberry Pi ke VPS Windows Server,
6. Evaluasi kendala teknis dan kinerja sistem difokuskan pada analisis akurasi model (*Confusion Matrix*), ketepatan penyaringan nilai *Confidence Score*, serta keberhasilan integrasi penggerak mekanis motor servo aktuator.

1.4 Tujuan dan Manfaat

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun, penelitian ini memiliki tujuan yang ingin dicapai serta manfaat yang diharapkan bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan penerapan teknologi *Internet of Things* dalam pengelolaan



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

fasilitas publik. Oleh karena itu, pada bagian ini diuraikan tujuan dan manfaat penelitian sebagai berikut.

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengembangkan sistem tempat sampah pintar berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu melakukan pemilahan sampah secara otomatis.
2. Menerapkan metode Machine Learning untuk mengklasifikasikan jenis sampah berdasarkan citra dari kamera.
3. Menguji kinerja sistem dalam mengenali jenis sampah berdasarkan tingkat akurasi klasifikasi.
4. Menghasilkan prototipe smart trash bin yang dapat digunakan sebagai solusi pengelolaan sampah berbasis teknologi.

Secara umum, penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Penelitian ini dapat menjadi referensi bagi mahasiswa dan peneliti dalam bidang IoT, Machine Learning, dan pengolahan citra, khususnya terkait pengembangan sistem pemilahan sampah otomatis.
2. Sistem yang dikembangkan dapat membantu masyarakat dalam melakukan pemilahan sampah secara lebih mudah, sehingga mendukung proses daur ulang yang lebih efektif.
3. Dengan adanya pemilahan sampah yang lebih terstruktur, volume sampah yang berakhir di tempat pembuangan akhir dapat dikurangi, sehingga berdampak positif terhadap kelestarian lingkungan.
4. Penelitian ini menunjukkan pemanfaatan teknologi IoT dan Machine Learning dalam solusi nyata (*real-world application*), khususnya untuk mendukung konsep smart city

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini terdiri dari 5 bab, yaitu:

1. BAB I PENDAHULUAN

Bab I memuat latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan yang berkaitan dengan



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

pengembangan sistem pemilah sampah otomatis pada operasional tempat sampah pintar berbasis *Internet of Things* dengan integrasi servo motor dan sensor ultrasonik.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab II berisi tinjauan pustaka dan landasan teori yang membahas konsep *Internet of Things*, *Machine Learning*, *smart trash bin*, servo motor, serta kajian terhadap penelitian-penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian ini.

3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab III menjelaskan metode penelitian yang digunakan, meliputi rancangan penelitian, tahapan pengembangan sistem, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, objek penelitian, serta waktu dan tempat pelaksanaan penelitian

4. BAB IV HASIL DAN PENELITIAN

Bab ini memaparkan hasil implementasi sistem, mulai dari Implementasi algoritma YOLOv11, integrasi sistem pemilah sampah, pengujian fungsional, hingga pengukuran akurasi YOLOv11. Data hasil pengujian dianalisis dan dibahas secara kritis untuk menilai keefektifan sistem serta mengidentifikasi keterbatasan yang ada.

5. BAB V PENUTUP

Bab terakhir ini berisi kesimpulan yang merangkum temuan utama penelitian berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah diuraikan. Selain itu, disampaikan juga saran-saran untuk pengembangan dan perbaikan sistem di masa mendatang, baik dari aspek teknis maupun penerapan dalam skala yang lebih luas.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sejenis

Tinjauan terhadap studi terdahulu diperlukan sebagai landasan teoretis sekaligus pembandingan untuk memastikan posisi kebaruan riset ini. Berikut adalah beberapa karya ilmiah relevan yang menjadi acuan utama penulis dalam perancangan mekanisme pembaruan sistem pemilahan sampah Organik, Anorganik dan Kaca pada tempat sampah pintar berbasis *Internet of Things* menggunakan metode *Machine Learning*:

Tabel 2. 1 Tabel Penelitian Terkait

Jurnal	Hasil	Catatan
(Hermawan et al., 2023)	Tujuan: Pengembangan tempat sampah pintar bergerak (<i>mobile</i>) berbasis robotik untuk menjemput sampah secara otomatis. Teknologi: Raspberry Pi, Motor Driver L298N, Sensor Ultrasonik, Modul Kamera. Cara Kerja: Sistem menggunakan sensor untuk mendeteksi lokasi sampah dan kapasitas wadah. Raspberry Pi mengontrol pergerakan robot (navigasi) menuju lokasi sampah dan membuka penutup secara otomatis saat objek terdeteksi di jarak tertentu.	Fokus penelitian lebih berat pada mobilitas robotik dan navigasi penjemputan sampah, bukan pada kompleksitas algoritma klasifikasi citra untuk membedakan jenis material sampah secara spesifik (Organik/Anorganik/Kaca) menggunakan <i>Deep Learning</i>.
(Alourani et al., 2024)	Tujuan: Membangun sistem manajemen dan klasifikasi limbah cerdas menggunakan teknologi IoT canggih dan Kecerdasan Buatan.	Sistem ini menekankan pada dan pemantauan level penuhnya sampah secara makro. Implementasi pembagian beban komputasi (<i>hybrid compute</i>)



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

	Teknologi: Advanced IoT Sensors, AI Classification Algorithms, Cloud Dashboard. Cara Kerja: Sistem mengintegrasikan sensor IoT untuk pemantauan level sampah secara <i>real-time</i> dan menggunakan algoritma AI untuk mengklasifikasikan jenis limbah, kemudian mengirimkan data status ke <i>dashboard</i> pusat untuk manajemen logistik pengangkutan.	antara <i>edge</i> dan <i>cloud</i> untuk optimasi latensi deteksi <i>real-time</i> pada pemilah belum dibahas secara mendalam.
(Nurjannah et al., 2024)	Tujuan: Perancangan tempat sampah pemilah otomatis dengan pendekatan logika fuzzy untuk efisiensi daya dan akurasi pada mikrokontroler sederhana. Teknologi: Arduino Uno, Sensor Ultrasonik, Sensor Proximity Induktif, Logika Fuzzy. Cara Kerja: Sistem menggunakan sensor jarak dan sensor logam untuk mendeteksi jenis objek. Data sensor diolah menggunakan aturan <i>Fuzzy Logic</i> (If-Then rules) untuk menentukan output sudut motor servo dalam memilah sampah logam dan non-logam.	Metode klasifikasi masih menggunakan Logika Fuzzy dan sensor fisik yang terbatas pada deteksi logam/non-logam. Belum menerapkan Computer Vision (pengolahan citra) yang mampu mendeteksi objek kompleks seperti botol kaca atau visual sampah organik secara akurat.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(Likotiko et al., 2023)	Tujuan: Mengembangkan model estimasi konten sampah menggunakan kombinasi IoT dan Machine Learning untuk mengetahui komposisi sampah dalam wadah. Teknologi: IoT Sensors, Cloud Computing, Machine Learning Models (Random Forest/SVM). Cara Kerja: Sensor IoT mengumpulkan data parameter fisik sampah di dalam bin. Data tersebut dikirim ke cloud untuk dianalisis menggunakan algoritma Machine Learning guna memprediksi jenis dan volume konten sampah tanpa perlu inspeksi visual langsung.	Penelitian ini berfokus pada estimasi data konten sampah untuk keperluan statistik dan manajemen pengangkutan, bukan pada tindakan fisik pemilahan.
(Listyalina et al., 2024)	Tujuan: Penerapan Kecerdasan Buatan (Artificial Intelligence) untuk klasifikasi limbah sebagai upaya spesifik dalam manajemen limbah plastik. Teknologi: Artificial Intelligence (AI), Computer Vision, Python. Cara Kerja: Menggunakan algoritma pembelajaran mendalam (Deep Learning) untuk melatih model agar dapat mengenali berbagai jenis plastik berdasarkan citra	Penelitian ini membatasi ruang lingkup deteksi secara spesifik hanya pada klasifikasi jenis plastik. Sementara itu, penelitian yang diusulkan memiliki cakupan deteksi yang lebih luas (Organik, Anorganik, dan Kaca) serta mengintegrasikan hasil klasifikasi AI tersebut langsung ke sistem mekanik (aktuator) untuk pemilahan otomatis, tidak hanya berhenti pada tahap identifikasi perangkat lunak.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

	visual. Sistem mengidentifikasi kategori plastik untuk mendukung proses daur ulang yang lebih spesifik.	
--	---	--

2.2 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep di mana berbagai perangkat fisik seperti sensor, aktuator, maupun sistem elektronik lainnya saling terhubung melalui jaringan internet sehingga mampu bertukar informasi secara otomatis tanpa campur tangan manusia secara langsung. Dengan adanya IoT, proses pengambilan data, pemantauan kondisi, hingga pengendalian perangkat dapat dilakukan secara real time dan lebih efisien. IoT memungkinkan berbagai objek di lingkungan industri maupun non-industri untuk berkomunikasi, mengirim data, dan memberikan respons secara mandiri, sehingga mempermudah proses kerja serta meningkatkan produktivitas. (Hermawan, I. et al., 2023).

2.3 Machine Learning

Machine Learning (ML) adalah cabang *Artificial Intelligence* yang memungkinkan sistem komputer mempelajari pola data secara mandiri untuk menghasilkan keputusan atau prediksi tanpa pemrograman eksplisit. Secara fundamental, ML terbagi menjadi tiga kategori: *supervised learning* yang menggunakan data berlabel untuk tugas klasifikasi, *unsupervised learning* untuk menemukan struktur tersembunyi pada data tanpa label, serta *reinforcement learning* yang berbasis pada interaksi agen dengan lingkungan melalui sistem *reward*. Implementasi teknologi ini dalam pengelolaan sampah bertujuan untuk meningkatkan akurasi identifikasi material secara otomatis dan efisien (Alourani et al., 2024; Likotiko et al., 2023).

2.4 Tempat Sampah Pintar (Smart Trash Bin)

Tempat sampah pintar merupakan inovasi dalam pengelolaan sampah yang mengintegrasikan teknologi otomatisasi, sensor, dan sistem informasi untuk meningkatkan efisiensi dan kebersihan proses pembuangan sampah. Berbeda dengan tempat sampah konvensional, tempat sampah pintar mampu mendeteksi



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

keberadaan pengguna atau sampah secara otomatis, sehingga tutup dapat terbuka tanpa kontak langsung. Hal ini dapat mengurangi risiko penyebaran kuman dan meningkatkan kenyamanan pengguna (Nurjannah et al., 2024).

2.5 Raspberry Pi

Raspberry Pi merupakan sebuah komputer papan tunggal (*single board computer*) berukuran mini yang memiliki kemampuan komputasi setingkat komputer desktop dan beroperasi menggunakan lingkungan sistem operasi berbasis Linux (Hermawan et al., 2023). Pada ekosistem tempat sampah pintar, Raspberry Pi dikonfigurasi sebagai unit *edge client* yang mengontrol lalu lintas data dari komponen masukan menuju komponen luaran secara terintegrasi (Irfan et al., 2024). Perangkat lokal ini memanfaatkan barisan pin *General Purpose Input Output* (GPIO) untuk berkomunikasi langsung dengan komponen elektronik di sekitarnya serta mengelola pengiriman data visual hasil tangkapan kamera secara nirkabel menuju server pusat (Hermawan et al., 2023).

2.6 Sensor Ultrasonik HC SR04 dan Sensor Visual Kamera

Sensor ultrasonik HC SR04 adalah perangkat elektronika yang berfungsi mengukur jarak suatu objek dengan cara memancarkan gelombang akustik frekuensi tinggi dan menghitung waktu tempuh pantulan gelombang tersebut setelah mengenai permukaan benda (Nurjannah et al., 2024). Nilai pengukuran jarak dari sensor ultrasonik ini digunakan sebagai pemicu mekanis otomatis untuk mengondisikan sistem agar berada pada status siap (Hermawan et al., 2023). Ketika objek sampah melewati batas ambang jarak, sinyal pemicu akan mengaktifkan kamera. Kamera kemudian mengambil gambar sebagai data input utama bagi algoritma pengolahan citra. (Likotiko et al., 2023).

2.7 Algoritma YOLOv11 dan Skema Two Stage Detector

YOLOv11 merupakan varian paling mutakhir dari arsitektur *You Only Look Once* (YOLO) yang memberikan perkembangan signifikan pada bidang computer vision karena kemampuannya dalam memproses matriks citra digital secara sekuensial dengan kecepatan tinggi namun tetap menjaga efisiensi komputasi (Hermawan, I. et al., 2023). Pengembangan model YOLO versi terbaru ini terbukti andal dalam menyelesaikan permasalahan deteksi objek secara langsung di kondisi nyata



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(Terven & Cordova-Esparza, 2023). Guna mengoptimalkan performa pengenalan, sistem diintegrasikan dengan skema *Two Stage Detector* yang membagi beban kerja jaringan secara bertingkat, di mana model pertama (YOLOv11 Nano) digunakan khusus untuk mendeteksi koordinat keberadaan objek sampah secara umum (*object detection*), lalu dilanjutkan oleh model kedua untuk melakukan klasifikasi citra terisolasi secara mendalam (*image classification*) ke dalam kelas target (Hermawan, I. et al., 2023).

2.8 Layanan Komputasi Virtual Private Server

Virtual Private Server (VPS) merupakan sebuah infrastruktur server virtual pribadi yang ditempatkan di *cloud platform* dan memiliki alokasi sumber daya memori serta prosesor khusus yang berjalan secara terisolasi (Irfan et al., 2024). Di dalam arsitektur sistem tempat sampah cerdas, server VPS berperan sebagai pusat pengolahan data kecerdasan buatan yang bertugas mengeksekusi *pipeline* pemrograman. (Alourani et al., 2024).

2.9 Aktuator Motor Servo MG996R dan Kendali Sinyal PWM

Motor servo MG996R merupakan komponen aktuator mekanis berbasis roda gigi besi (*metal gear*) yang memiliki tingkat torsi tinggi untuk menahan beban struktural berat dan mampu berputar secara presisi menuju koordinat sudut tertentu berdasarkan lebar pulsa yang diterima (Hermawan et al., 2023). Pengendalian pergerakan motor servo pada unit mikrokontroler memerlukan akurasi tinggi agar tidak terjadi kesalahan sudut distribusi (Nurjannah et al., 2024). Oleh karena itu, inisialisasi sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) wajib dikunci secara ketat memanfaatkan fungsi pewaktuan perangkat keras komputer (*hardware timed PWM*) melalui *library* internal sistem, (Damayanti & Noer, 2025).

2.10 Tahapan Anotasi Data Citra Digital

Anotasi data merupakan tahapan krusial dalam siklus pengembangan kecerdasan buatan yang berfungsi untuk memberikan label identitas dan batas spasial pada objek di dalam gambar sebelum memasuki fase pelatihan jaringan saraf tiruan (Dubey et al., 2024). Pada pemrosesan deteksi objek, anotasi dilakukan dengan menarik kotak pembatas secara presisi di sekeliling objek target guna menghasilkan berkas teks yang menyimpan indeks kelas serta koordinat penanda spesifik objek



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(Terven & Cordova-Esparza, 2023). Ketepatan penarikan kotak pembatas pada fase ini sangat menentukan performa model dalam mengenali area spasial objek secara akurat di kondisi nyata, karena data koordinat tersebut akan menjadi rujukan utama bagi sistem untuk melokalisasi posisi target sebelum wilayah objek tersebut diteruskan ke model klasifikasi sekunder (Dubey et al., 2024).

2.11 Data Preprocessing Citra Digital

Prapemrosesan citra dilakukan untuk mengurangi *noise* dan menyesuaikan resolusi gambar dengan kebutuhan *input* model. (Saptadi et al., 2023). Proses ini melibatkan serangkaian manipulasi matriks piksel seperti standarisasi arah orientasi gambar berdasarkan metadata biner dan penyesuaian ukuran citra menjadi dimensi seragam menggunakan metode interpolasi digital (Hermawan, I. et al., 2023). Pada arsitektur deteksi bertingkat, prapemrosesan juga mencakup isolasi objek melalui pemotongan gambar secara dinamis tepat pada batas koordinat kotak pembatas, sehingga area latar belakang yang tidak relevan dapat dieliminasi agar model klasifikasi sekunder dapat berfokus sepenuhnya pada ekstraksi fitur tekstur dan jenis material objek (Saptadi et al., 2023).

2.12 Augmentasi Data Visual Citra

Augmentasi data adalah teknik manipulasi gambar untuk memperbanyak variasi *dataset* pelatihan. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kemampuan generalisasi model dan mencegah *overfitting*. (Listyalina et al., 2024). Teknik ini mengeksplorasi modifikasi geometris dan fotometris pada gambar asli, seperti rotasi acak dengan rentang sudut tertentu untuk menyimulasikan variasi posisi kemiringan objek serta pergeseran tingkat kepekatan warna untuk mengantisipasi perbedaan intensitas pencahayaan di lapangan (Hermawan, I. et al., 2023). Selain itu, penerapan teknik tingkat lanjut seperti augmentasi mosaik yang menggabungkan beberapa gambar menjadi satu kesatuan terbukti efektif dalam mematangkan akurasi lokalisasi objek pada lingkungan penampungan yang dinamis (Terven & Cordova-Esparza, 2023).

2.13 Analisis Performa Model YOLOv11

Pengujian ini dilakukan untuk menganalisis performa komputasi model YOLOv11 dalam mengklasifikasikan objek sampah berdasarkan metrik evaluasi standar



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

machine learning. Parameter yang diuji meliputi Akurasi, Precision, Recall, dan F1-Score untuk mengukur keandalan serta persentase galat prediksi model, di mana representasi matematis dari rumus evaluasi tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.1 berikut.

$$Akurasi = \frac{TP+FN}{TP+TN+FP+FN}$$

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN}$$

$$F1-Score = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

Gambar 2.1 Confusion matrix

Sumber (Hermawan, I. et al., 2023).

Pada Gambar 2.1, persamaan matematis tersebut menjadi acuan dasar dalam menghitung nilai keberhasilan klasifikasi objek sampah organik, anorganik, dan kaca secara riil. Penerapan rumus evaluasi ini sangat krusial untuk memastikan hasil pengujian dari *confusion matrix* dapat dikonversikan menjadi persentase kinerja yang valid dan terukur. Berdasarkan kalkulasi parameter tersebut, model YOLO11 yang diimplementasikan pada *cloud server* dinyatakan sangat layak untuk mendukung otomatisasi pemilahan sampah karena memiliki tingkat presisi dan akurasi yang tinggi. (Hermawan, I. et al., 2023).

2.14 Teori Pengujian dan Validasi Kinerja Sistem Eksperimental

Pengujian sistem merupakan tahapan empiris yang sistematis untuk menerapkan secara langsung model kecerdasan buatan yang telah dilatih sekaligus mengevaluasi tingkat keberhasilan integrasi seluruh komponen perangkat keras lokal pada alat (Hermawan et al., 2023). Pengujian pada rancangan penelitian berbasis teknologi informasi dibagi menjadi dua skenario utama, yaitu pengujian performa model menggunakan dataset uji untuk memverifikasi keandalan algoritma serta pengujian fungsionalitas mekanis secara langsung untuk mengukur akurasi pembacaan sensor jarak fisik dan presisi pergerakan sudut aktuator (Nurjannah et al., 2024). Melalui rangkaian pengujian dari hulu ke hilir ini, efisiensi penanganan data secara *real time* dapat diukur secara kuantitatif guna memastikan bahwa seluruh rangkaian aksi fisik



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

dan komputasi nirkabel berjalan secara sinkron memenuhi spesifikasi parameter perancangan (Damayanti & Noer, 2025)

2.15 K-Fold Cross-Validation dengan nilai $k = 3$

K-Fold Cross-Validation dengan nilai $k = 3$ (*3-fold cross-validation*) merupakan teknik evaluasi kinerja model pembelajaran mesin yang bekerja dengan cara membagi keseluruhan *dataset* secara acak menjadi tiga partisi (*fold*) yang berukuran sama atau hampir sama. Dalam proses evaluasinya, algoritma akan melakukan tiga kali iterasi pengujian, di mana pada setiap iterasi, kombinasi dua *fold* digunakan sebagai data latih (*training set*) untuk membangun model, sementara satu *fold* sisanya digunakan sebagai data uji (*testing set*) untuk mengukur kinerja model tersebut. Skema perputaran ini memastikan bahwa setiap spesimen data dalam *dataset* memiliki kesempatan yang sama untuk diuji tepat satu kali, sehingga metrik evaluasi akhir yang diperoleh dari nilai rata-rata ketiga iterasi menjadi lebih representatif, objektif, serta efektif dalam meminimalisir bias dan risiko *overfitting* dibandingkan metode pemisahan data tunggal (*conventional train-test split*).

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian kuantitatif eksperimental ini dirancang untuk mengembangkan sebuah sistem pemilahan sampah otomatis yang terintegrasi dengan memanfaatkan arsitektur *Cloud Based Client Server*. Pendekatan komputasi cerdas yang digunakan mengadopsi skema *hybrid* berupa penyelarasan fungsi antara *Edge Computing* di sisi lokal dan *Cloud Computing* di sisi server terpusat. Melalui rancangan eksperimen ini, beban komputasi sengaja dialihkan ke infrastruktur *Cloud* guna mengatasi keterbatasan performa perangkat keras pada unit lokal, sehingga prototipe tempat sampah pintar yang dihasilkan dapat bekerja secara responsif, efisien, serta memiliki tingkat keterandalan yang tinggi dalam memilah sampah (Irfan et al., 2024).

Pada implementasi alur kerja, perangkat Raspberry Pi difungsikan secara spesifik sebagai *edge client* yang bertanggung jawab penuh terhadap manajemen komponen perangkat keras lokal. Alur desain mekanis diawali ketika sensor ultrasonik HC SR04 mendeteksi keberadaan objek sampah pada jarak ambang batas yang ditentukan, yang kemudian secara otomatis memicu kamera USB untuk melakukan akuisisi citra visual objek. Setelah file gambar mentah berhasil ditangkap, skrip pemrograman di dalam Raspberry Pi akan melakukan pembacaan buffer data untuk selanjutnya ditransmisikan melintasi jaringan internet menuju pusat data di *cloud* dengan memanfaatkan protokol komunikasi jaringan berupa HTTP.

Sebagai fase penentu dalam rancangan penelitian ini, seluruh data yang dihimpun melalui teknik pengumpulan data eksperimental berupa citra hasil akuisisi primer kamera lokal serta rekaman respons mekanik aktuator akan ditindaklanjuti secara sistematis menggunakan metode analisis data. Evaluasi terhadap kinerja sistem pemilah otomatis ini dibagi menjadi dua fokus analisis utama guna menguji aspek perangkat lunak maupun perangkat keras. Pertama, analisis akurasi klasifikasi dilakukan menggunakan metode *Confusion Matrix* untuk memetakan tingkat keberhasilan prediksi benar dan mendeteksi galat model *Two Stage YOLOv11* dalam memisahkan kelas sampah organik, anorganik, dan kaca secara kuantitatif



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(Hermawan, I. et al., 2023). Kedua, dilakukan analisis fungsional sistem secara menyeluruh untuk mengevaluasi efisiensi penanganan data, mulai dari penangkapan citra oleh kamera, kecepatan inferensi algoritma, hingga akurasi sinkronisasi tindakan mekanis motor servo.

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian disusun secara sistematis untuk memastikan tujuan penelitian tercapai dengan baik. Alur penelitian ini mencakup studi literatur, pengumpulan data, perancangan model *Machine Learning* (Damayanti, S et al., 2025). perancangan perangkat keras (*hardware*), integrasi sistem, hingga pengujian dan evaluasi yang divisualisasikan dalam diagram alir pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Tahapan penelitian

Pada Gambar 3,1 terdapat urutan tahapan penelitian mulai dari studi literatur, perancangan sistem, pengujian, evaluasi dan analisis, penyusunan laporan penelitian.

3.3 Objek Penelitian

Objek penelitian ini berfokus pada pengembangan purwarupa sistem pemilahan sampah cerdas berbasis *Computer Vision* dan IoT guna meningkatkan efisiensi klasifikasi dengan meminimalkan intervensi manual (Alourani et al., 2024; Sari et al., 2022). Secara teknis, arsitektur sistem diawali oleh Unit Akuisisi Visual menggunakan Webcam sebagai sensor utama yang terhubung via USB. Perangkat



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ini berfungsi menangkap data visual objek, sehingga memungkinkan proses ekstraksi fitur dan estimasi konten sampah berjalan lebih akurat dibandingkan metode konvensional (Likotiko et al., 2023; Saptadi et al., 2023).

Data citra yang telah diakuisisi selanjutnya dikirim ke Unit Kecerdasan Buatan atau *Cloud Inference Server* selaku pusat komputasi. Unit ini bertanggung jawab atas proses ekstraksi fitur mendalam menggunakan model Ultralytics YOLO yang dikenal sangat efisien dalam mendeteksi objek secara langsung (Terven & Cordova-Esparza, 2023). Implementasi algoritma pembelajaran mendalam pada tahap ini bertujuan untuk menghasilkan koordinat kotak pembatas serta label klasifikasi yang presisi untuk memisahkan komoditas sampah ke dalam kategori organik, anorganik, dan kaca (Dubey et al., 2024; Listyalina et al., 2024).

Sebagai muara dari alur sistem, hasil keputusan inferensi dikirimkan kembali ke Unit Eksekusi dan Kontrol Input Output menggunakan Raspberry PI (Hermawan et al., 2023; Nurjannah et al., 2024). Subsistem ini bertindak sebagai pengendali fisik yang bertugas mengonversi instruksi digital menjadi sinyal *Pulse Width Modulation* secara presisi untuk menggerakkan motor servo aktuator. Mekanisme otomatisasi ini memastikan objek sampah diarahkan menuju kompartemen penyimpanan yang tepat secara mekanis, sehingga menciptakan sebuah ekosistem IoT yang utuh dan responsif (Damayanti & Noer, 2025).

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kebutuhan

Berikut adalah daftar rekapitulasi kebutuhan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang digunakan dalam membangun ekosistem Tempat Sampah Pintar berbasis *Two-Stages* YOLOv11.

4.1.1 Analisis Kebutuhan Hardware

Berikut adalah daftar kebutuhan perangkat keras (*hardware*) yang digunakan untuk membangun sistem Tempat Sampah Pintar berbasis *Two-Stage* YOLOv11 dan di sisi *Hardware*, sebagaimana dirangkum pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Analisis Kebutuhan hardware

No.	Hardware	Deskripsi
1.	Raspberry Pi 3b	kontroler untuk mengendalikan sistem
2.	Sensor Ultrasonik HC-SR04	Mendeteksi sampah yang masuk ke wadah pemilah sampah untuk <i>trigger</i> kamera
3.	Power Supply 12v	Sumber utama untuk daya <i>hardware</i>
4.	Webcam	Untuk pemilah sampah capture
5.	Stepdown LM2596	Untuk menurunkan daya dari PSU 12V menjadi 6V untuk servo
6.	Servo MG996R	Untuk menggerakkan dan menuang wadah pemilah sampah
7.	Tempat Sampah Berukuran Kecil	Menampung sampah yang dibuang setelah melakukan pemilahan

Komponen perangkat keras pada Tabel 4.1 dirancang untuk berfokus pada efisiensi akuisisi data visual dan eksekusi mekanik di sisi lokal. Kombinasi Raspberry Pi 3, sensor ultrasonik, dan webcam berfungsi sebagai unit input data, sementara komponen *stepdown* diterapkan untuk mengamankan stabilitas tegangan daya agar aktuator motor servo MG996R dapat bergerak secara responsif saat memilah sampah.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.1.2 Analisis Kebutuhan Sistem

Sedangkan untuk mendukung fungsionalitas sistem, pemrosesan model kecerdasan buatan, dan jalur komunikasi data antara lokal dan *cloud*, perangkat lunak (*software*) yang digunakan dijabarkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Tabel Analisis Kebutuhan Sistem

No.	Software	Deskripsi
1.	VPS Windows Server	Infrastruktur <i>cloud server</i> yang berfungsi sebagai pusat pemrosesan data utama untuk eksekusi algoritma dan inferensi model YOLOv11.
2.	Python	Bahasa pemrograman utama yang diinstall di kedua sisi (VPS & Raspi) untuk menjalankan algoritma YOLOv11 dan menyusun logika sistem.
3.	Ultralytics YOLO11	<i>Framework Deep Learning</i> yang dipasang di VPS untuk memproses model YOLO11 Nano (Deteksi) dan YOLO11 Medium (Klasifikasi).
4.	OpenCV Library	Library di VPS untuk membaca data visual, serta memotong (<i>crop</i>) koordinat gambar sampah secara otomatis sebelum diklasifikasi.

Seluruh perangkat lunak pada Tabel 4.2 berperan sebagai arsitektur komputasi utama dan jembatan data nirkabel sistem. Lingkungan *cloud* pada VPS Windows Server bertindak sebagai pusat pemrosesan yang menjalankan skrip Python, di mana library OpenCV mengkoordinasikan pra-pemrosesan gambar sebelum dieksekusi oleh model YOLO11 (Nano dan Medium) untuk meminimalkan beban komputasi di perangkat lokal.

4.2 Perancangan Sistem

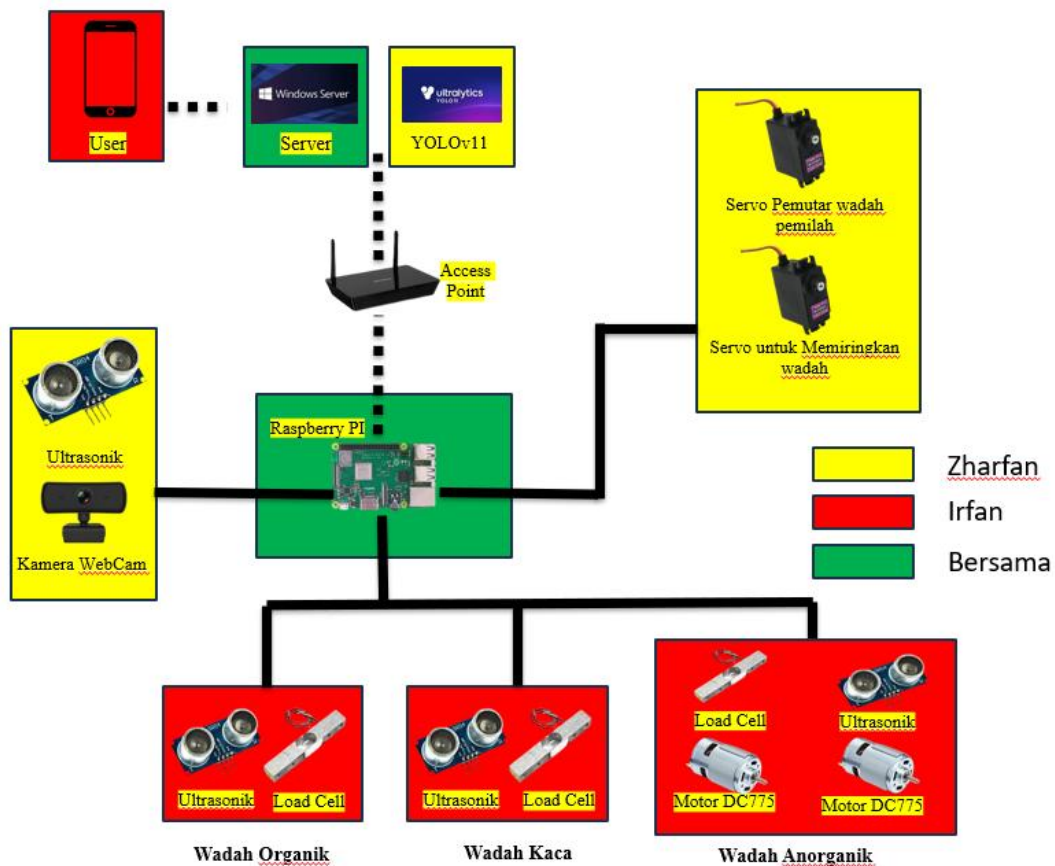
Perancangan sistem dilakukan untuk merancang sistem pendeteksian dan pemilahan sampah melalui kombinasi perangkat keras dan perangkat lunak. Proses ini berjalan dalam dua tahapan infrastruktur yang saling terintegrasi. Tahap pertama berfokus pada sisi server, yaitu konfigurasi *Virtual Private Server* (VPS) untuk



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

penerapan metode *Two-Stage Detector* berbasis arsitektur YOLOv11. Melalui metode *Two-Stage* ini, VPS berperan sebagai pusat pemrosesan kecerdasan buatan yang membagi beban komputasi secara bertingkat; fase pertama bertugas mendeteksi dan melokalisasi letak koordinat objek sampah menggunakan model YOLO11 (*object detection*), yang kemudian langsung diteruskan ke fase kedua menggunakan model klasifikasi untuk menganalisis fitur tekstur visual dan menentukan kategori materialnya secara presisi.



Gambar 4. 1 Perancangan Sistem

Pada Gambar 4.1 Tahapan berikutnya pada Raspberry Pi selaku unit kontroler lokal pada alat pemilah fisik. Raspberry Pi diintegrasikan dengan kamera USB yang berfungsi sebagai pengambil data visual citra mentah, serta komponen motor servo sebagai aktuator mekanis untuk mengeksekusi proses pemisahan fisik. Melalui pemanfaatan jalur komunikasi data antara Raspberry Pi dan server VPS, integrasi metode *Two-Stage* ini memungkinkan sistem lokal untuk menangkap gambar secara

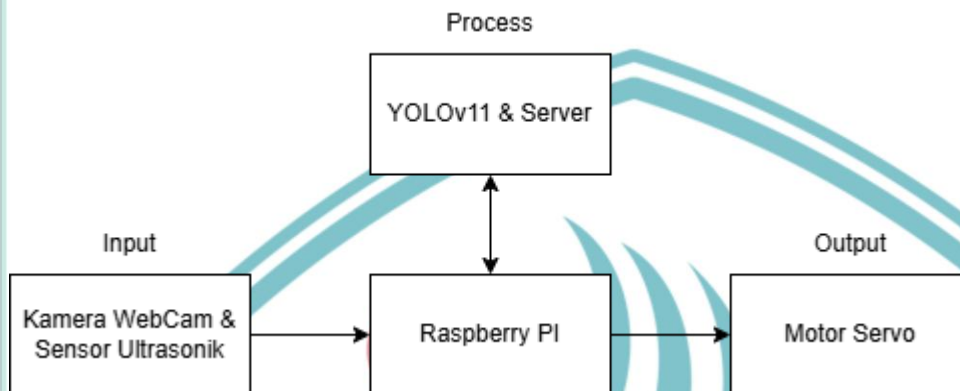


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

real-time, menerima hasil keputusan klasifikasi dari server, dan menggerakkan mekanisme motor servo secara sinkron, responsif, dan otomatis.

4.2.1 Diagram Blok



Gambar 4. 2 Diagram Blok

Pada gambar 4.2 diagram blok sistem yang dirancang, struktur diagram ini memisahkan komponen ke dalam tiga bagian fungsional utama, yaitu blok input, blok proses, dan blok output yang saling terintegrasi untuk mewujudkan mekanisme pemilahan sampah otomatis secara *real-time*. Pada bagian Blok Input, proses akuisisi data lingkungan fisik diawali oleh Sensor Ultrasonik (HC-SR04) yang berfungsi sebagai detektor keberadaan objek sampah di dalam wadah *drop-box* dengan mengukur jarak secara kontinu guna memberikan sinyal pemicu (*trigger*). Sinyal pemicu tersebut kemudian secara otomatis mengaktifkan Kamera WebCam selaku sensor pencitraan visual untuk menangkap gambar (*capture*) objek sampah yang masuk secara langsung.

Memasuki Blok Proses, sistem mengadopsi arsitektur *hybrid computing* yang membagi beban kerja secara dua arah (*bidirectional*) antara perangkat lokal (*edge*) dan infrastruktur *cloud brain*. Di sisi lokal, Raspberry Pi bertindak sebagai kontroler utama (*edge client*) yang bertugas membaca data digital dari blok input, mengompresi berkas gambar hasil tangkapan kamera, dan mentransmisikannya ke server melalui jaringan internet menggunakan protokol HTTP. Sementara itu di sisi *cloud*, Server VPS bertindak sebagai pusat pemrosesan cerdas yang mengeksekusi algoritma YOLO11. Pada tahapan ini, model YOLO11 Nano akan melokalisasi koordinat objek (*object detection*) terlebih dahulu, kemudian dilanjutkan oleh



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

model YOLO11 Medium untuk mengklasifikasikan jenis material sampah menjadi kategori organik, anorganik, atau kaca, sebelum akhirnya mengirimkan kembali hasil keputusan tersebut berupa data string ke perangkat lokal.

Blok Output bertanggung jawab terhadap eksekusi tindakan fisik mekanis berdasarkan string keputusan yang dikirimkan oleh server. Blok ini digerakkan oleh Motor Servo (MG996R) yang bertindak sebagai aktuator mekanis utama untuk mengontrol pergerakan wadah pemilah serta penuang tempat sampah. Motor servo akan berputar secara presisi menuju koordinat sudut spesifik ($+45^\circ$, 90° , 135° , atau 180°) tepat setelah menerima pasokan sinyal *hardware-timed* PWM dari pin GPIO Raspberry Pi, sehingga objek sampah yang telah diidentifikasi dapat dijatuhkan secara akurat ke dalam sekat kompartemen penampungan akhir yang sesuai.



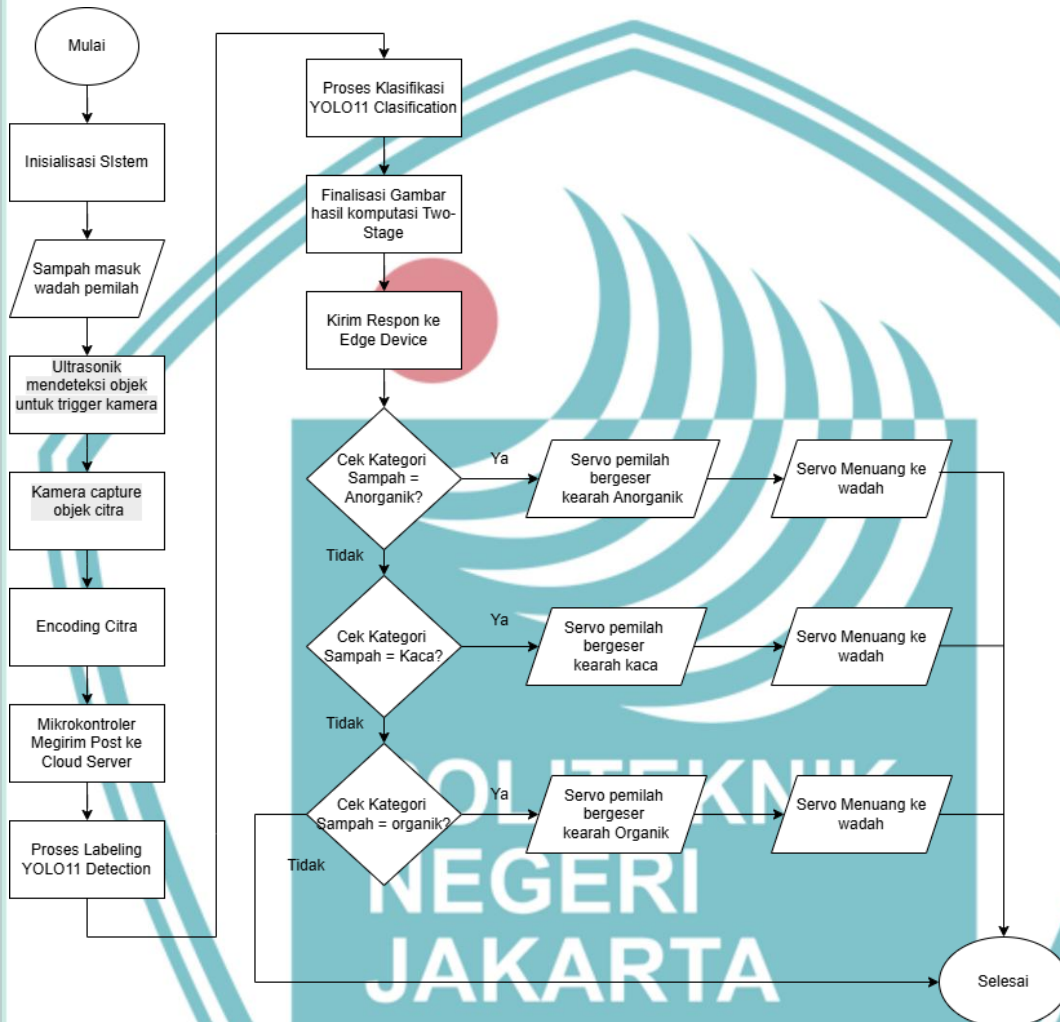


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.2.2 Flowchart Sistem

Untuk memberikan gambaran visual yang lengkap mengenai rancangan sistem yang dikembangkan, sub-bab ini menyajikan visualisasi alur logika perangkat lunak dalam bentuk *flowchart* yang bisa dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Flowchart Sistem

Pada gambar 4.3 proses kerja sistem dimulai dengan inisialisasi sistem, di mana deteksi keberadaan objek oleh sensor ultrasonik akan memicu kamera untuk mengambil citra sampah. Citra sampah yang telah masuk kemudian dilakukan encoding citra dan diproses menggunakan algoritma YOLO11 pada cloud server untuk menghasilkan klasifikasi jenis sampah (Anorganik, Kaca, atau Organik) setelah respon dikirim ke edge device. Untuk mengecek kategori, sistem menerapkan logika percabangan bertingkat; jika terdeteksi sampah anorganik, kaca, atau organik, servo bergerak ke arah kategori tersebut sebelum memutuskan



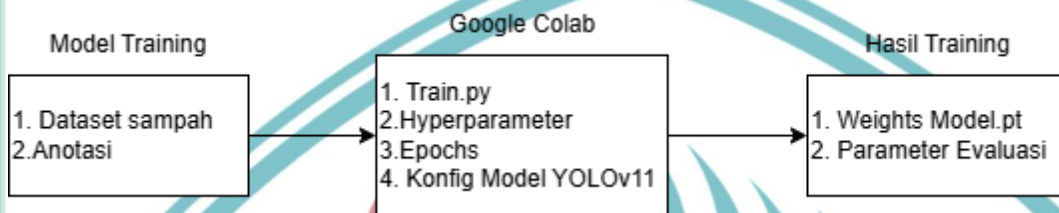
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

langkah akhir yaitu mengarahkan servo menuang ke wadah masing-masing, yang kemudian diakhiri dengan selesainya seluruh proses pemilahan objek sampah tersebut.

4.2.3 Perancangan Pelatihan Algoritma YOLO

Perancangan pelatihan algoritma YOLO11 diuraikan pada gambar 4.4 berikut.



Gambar 4. 4 Perancangan Pelatihan Algoritma YOLO

Pada Gambar 4.4 Tahapan pelatihan model dilakukan melalui serangkaian proses komputasi yang bertujuan agar algoritma hasil training mampu mengenali, melokalisasi, serta mengklasifikasikan jenis sampah di dalam sebuah citra, penelitian ini membangun dan melatih dua model sekaligus, yaitu model deteksi objek YOLOv11 dan model klasifikasi citra.

Pelatihan kedua model ini memanfaatkan *dataset* citra sampah yang telah melalui tahap pelabelan sebelumnya. Data untuk pelatihan deteksi objek terdiri dari aset gambar dan file teks (.txt) sebagai representasi koordinat objek, sedangkan data untuk pelatihan klasifikasi berfokus pada pelabelan kategori material sampah. Seluruh proses eksekusi kode program pelatihan ini dijalankan berbasis Jupyter Notebook di dalam lingkungan Google Colab.

4.2.4 Perancangan Implementasi Algoritma YOLOv11 di VPS (*Virtual Private Server*)

Perancangan implementasi algoritma ke Virtual Private Server (VPS) merupakan tahapan untuk mengintegrasikan model kecerdasan buatan yang telah dilatih, Setelah model terbaik dari hasil pelatihan YOLOv11 dan model klasifikasi diperoleh melalui Google Colab, tahapan berikutnya adalah melakukan *deployment* ke dalam VPS. Perancangan di sisi VPS ini difokuskan pada penyediaan arsitektur komputasi yang siap menerima, memproses, dan merespons. Di dalam VPS, kedua model tersebut akan disatukan ke dalam sebuah *pipeline* program berbasis Python



Hak Cipta :

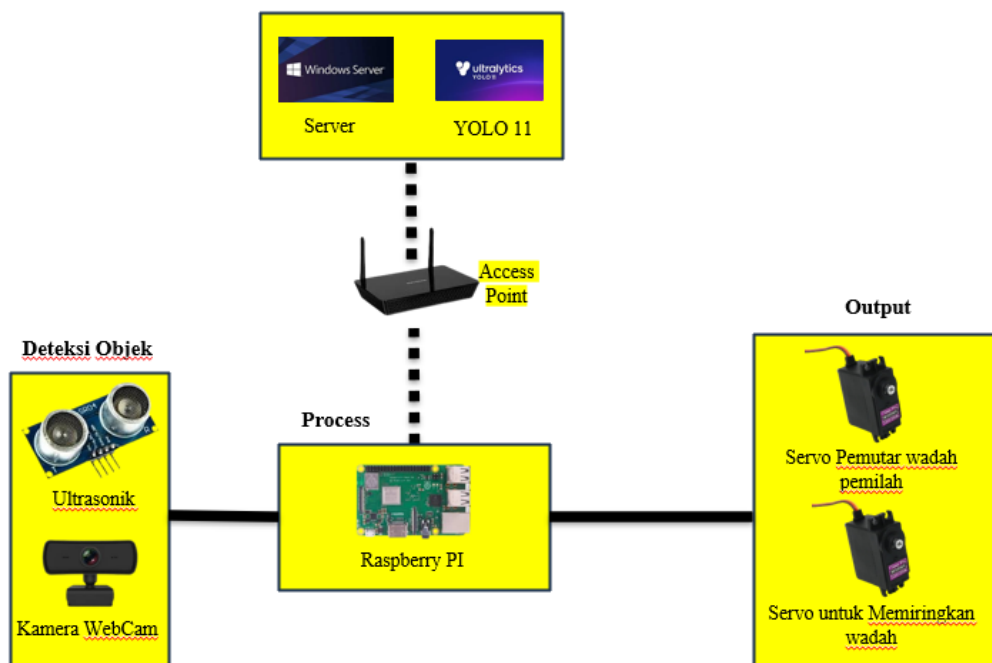
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(seperti menggunakan Flask atau FastAPI) yang bertugas sebagai *Application Programming Interface* (API).

Melalui perancangan ini, VPS dikonfigurasi agar selalu berada dalam posisi bersiap (*standby*) menerima kiriman data citra sampah dari Raspberry Pi melalui jaringan internet. Setelah citra diterima, VPS akan mengeksekusi komputasi dua tahap (*two-stage*) menggunakan model deteksi YOLOv11 dan model klasifikasi, kemudian mengirimkan kembali hasil keputusan kategori sampah secara cepat ke perangkat lokal.

4.2.5 Perancangan Implementasi Hardware

Perancangan implementasi alat merupakan tahapan untuk mengintegrasikan seluruh komponen perangkat keras (*hardware*) dan aktuator mekanis pada sisi *edge device* agar dapat bekerja secara sinkron. Fokus perancangan pada bagian ini adalah membangun alur kerja fisik sistem pemilah sampah yang dikendalikan langsung oleh Raspberry Pi sebagai unit kontroler lokal di lapangan. Struktur interkoneksi antarkomponen elektronik dan konfigurasi pin diagram elektrik pada sistem ini secara terperinci ditunjukkan pada Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4. 5 Perancangan Implementasi Hardware



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pada Gambar 4.5 ini menguraikan tahapan implementasi perangkat keras dan integrasi sistem komunikasi pada alat pemilah sampah. Pembahasan mencakup penyebaran (*deployment*) model YOLOv11 pada *Virtual Private Server* (VPS), konfigurasi koneksi data antara VPS dengan Raspberry Pi, serta pembuatan skrip Python untuk menggerakkan motor servo MG996R selaku aktuator fisik. Seluruh tahapan ini dirancang sedemikian rupa agar proses komputasi di *cloud server* dan aksi mekanis pada alat lokal dapat berjalan secara sinkron.

4.3 Implementasi Sistem

Implementasi sistem dilakukan melalui dua tahapan utama yang mengintegrasikan arsitektur perangkat lunak berbasis *cloud* dan perangkat keras di sisi *edge*. Tahap pertama meliputi pelatihan (*training*) model deteksi objek YOLOv11 dan model klasifikasi menggunakan *dataset* gambar sampah teranotasi di lingkungan Google Colab, yang kemudian hasilnya dideploy ke dalam VPS (Virtual Private Server) sebagai pusat komputasi citra. Tahap kedua adalah implementasi fisik pada alat, di mana Raspberry Pi bertindak sebagai kontroler lokal yang menerima *trigger* dari sensor ultrasonik untuk mengambil gambar melalui kamera USB, mengirimkannya ke VPS, lalu mengambil kembali data hasil keputusan kategori guna menggerakkan motor servo pemilah menuju wadah sampah organik, anorganik, atau kaca secara otomatis.

4.3.1 Implementasi Pelatihan Algoritma YOLOv11

Implementasi Pelatihan Algoritma YOLOv11 ini menguraikan secara menyeluruh tahapan implementasi dan pelatihan arsitektur kecerdasan buatan YOLOv11 yang diterapkan pada sistem pemilahan sampah organik, anorganik, dan kaca. Pembahasan mencakup seluruh siklus pengelolaan *dataset*, mulai dari tahapan akuisisi citra mentah, anotasi koordinat objek, prapemrosesan, hingga teknik augmentasi data visual. Selain itu, dijabarkan pula prosedur pelaksanaan pelatihan terpisah menggunakan pendekatan *Two-Stage Detector* serta analisis lengkap terhadap evaluasi kinerja grafik pelatihan dan *Confusion Matrix* guna membuktikan tingkat keandalan serta akurasi sistem sebelum dan sesudah proses *fine-tuning*.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.3.1.1 Data Acquisition

Data acquisition dapat dilihat pada gambar 4.6 berikut.



Kaca



Organik



Anorganik

Gambar 4. 6 Data Acquisition

Pada Gambar 4.6 Tahapan akuisisi data (*data acquisition*) untuk algoritma YOLO11 dilakukan dengan mengumpulkan *dataset* citra mentah yang merepresentasikan berbagai sampel objek sampah organik, anorganik, dan kaca. Pengumpulan gambar dilakukan dengan mengambil dataset public dan secara langsung menggunakan kamera. Karena model deteksi YOLO11 dalam penelitian ini dirancang khusus untuk mengenali tiga label kelas, yaitu organik, anorganik, dan kaca. maka fokus utama dari proses akuisisi ini adalah menangkap keanekaragaman karakteristik visual dan geometri objek secara universal. Proses ini krusial untuk menjamin tingkat generalisasi model yang tinggi dalam melokalisasi posisi keberadaan objek di dalam area pemindaian sebelum koordinatnya diekstraksi menuju tahap klasifikasi.

Tabel 4. 3 Distribusi Dataset

Kelas	Training	Validasi	Testing
Anorganik	4.602	575	575
Organik	4.476	559	560
Kaca	4.350	544	544
Total	13.428	1.678	1.679



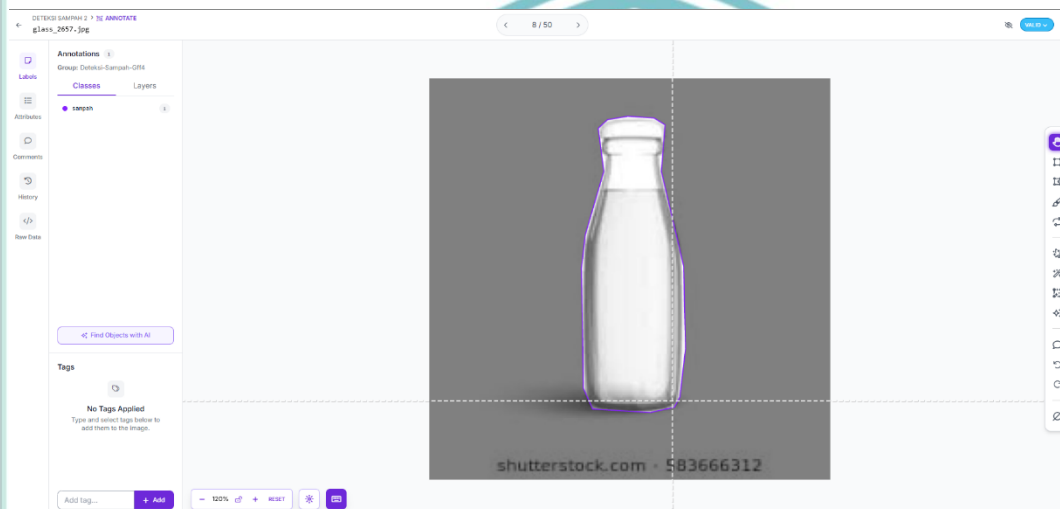
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pada Tabel 4.3 Merupakan pembagian distribusi jumlah gambar dataset untuk proses *training* yang akan dilakukan, dengan pembagian dataset untuk training 80%, validasi 10%, dan testing 10% dari masing-masing kelas nya

4.3.1.2 Data Annotation

Data annotation dapat dilihat pada gambar 4.7 berikut.



Gambar 4. 7 Data Annotation

Pada Gambar 4.7 Tahapan anotasi data (*data annotation*) merupakan proses pemberian label dan penanda visual pada seluruh citra hasil akuisisi sebelum memasuki fase pelatihan model YOLO11. Pada penelitian ini, proses anotasi dilakukan dengan membuat kotak pembatas (*bounding box*) secara presisi di sekeliling objek sampah dengan menerapkan tiga label kelas, yaitu organik, anorganik, dan kaca. Proses pelabelan ini menghasilkan berkas anotasi berformat teks (.txt) yang menyimpan data indeks kelas beserta koordinat posisi objek berdasarkan standar arsitektur YOLO. Ketepatan dan konsistensi penarikan kotak pembatas pada tahapan ini sangat krusial, karena akurasi koordinat yang dihasilkan akan menjadi acuan utama bagi sistem untuk melakukan pemotongan citra (*cropping*) otomatis sebelum wilayah objek tersebut diteruskan ke model klasifikasi berikutnya.

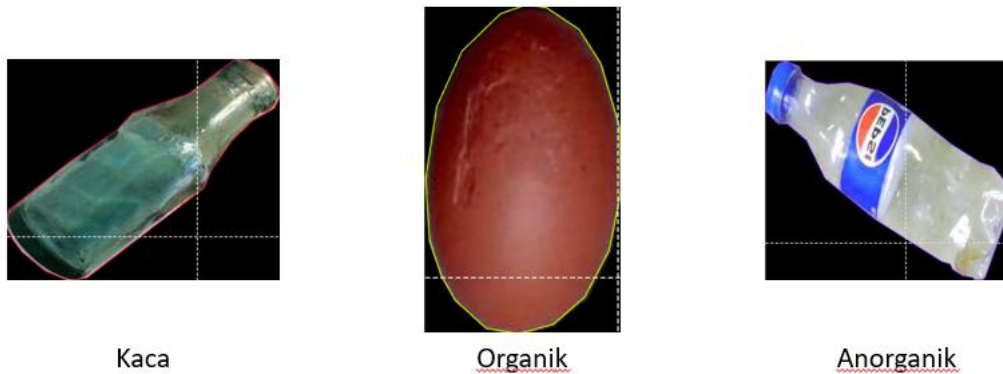
4.3.1.3 Data Preprocessing

Data Preprocessing dapat dilihat pada gambar 4.8 berikut.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4. 8 Data Preprocessing

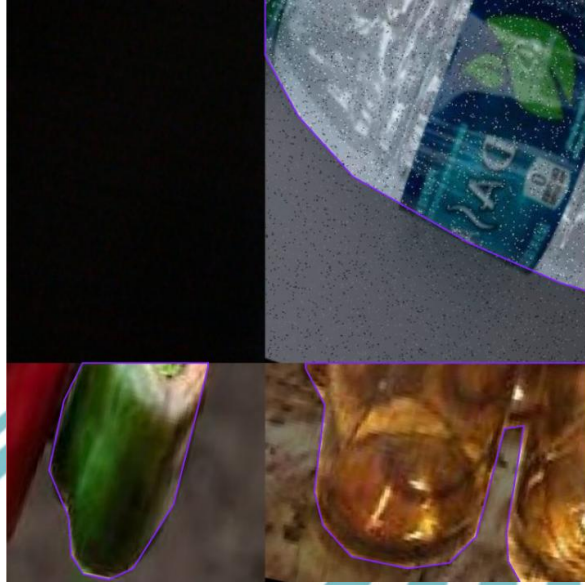
Pada Gambar 4.8 Tahapan prapemrosesan data (*data preprocessing*) dilakukan untuk menyelaraskan karakteristik *dataset* citra agar sesuai dengan spesifikasi teknis input dari kedua model yang digunakan. Pada tahap deteksi objek menggunakan YOLOv11, prapemrosesan melibatkan penerapan fungsi *auto-orient* guna menstandarisasi arah orientasi gambar berdasarkan metadata EXIF, diikuti dengan penyesuaian ukuran citra (*resizing*) menggunakan metode *stretch* menjadi dimensi 640x640 piksel sebagai standar masukan arsitektur YOLO. Di sisi lain, prapemrosesan untuk model klasifikasi varian Medium difokuskan pada teknik isolasi objek (*isolate object*). Proses ini bertujuan untuk memotong (*crop*) wilayah citra secara otomatis tepat pada batas koordinat objek sampah yang telah terlokalisasi, sehingga area latar belakang (*background*) yang tidak relevan dapat dieliminasi agar model klasifikasi dapat berfokus sepenuhnya pada analisis fitur visual dan karakteristik material sampah.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.3.1.4 Data Augmentation



Gambar 4. 9 Data Augmentation

Pada Gambar 4.9 Tahapan augmentasi data (*data augmentation*) diterapkan dengan tujuan untuk memperbanyak variasi *dataset* secara digital serta mencegah terjadinya *overfitting* pada saat proses pelatihan model berjalan. Pada penelitian ini, konfigurasi augmentasi diatur untuk menghasilkan tiga variasi citra baru dari setiap satu sampel gambar asli (*outputs per training example: 3*). Teknik augmentasi yang digunakan meliputi rotasi acak (*rotation*) dengan rentang sudut antara -15° hingga $+15^{\circ}$ guna mensimulasikan variasi posisi kemiringan sampah secara fisik, serta penyesuaian tingkat kepekatan warna (*hue*) antara -10° hingga $+10^{\circ}$ untuk mengantisipasi adanya perbedaan intensitas pencahayaan pada lingkungan kotak penampungan. Selain itu, teknik augmentasi mosaik (*mosaic augmentation*) juga diaplikasikan secara merata, baik pada pengolahan model deteksi YOLO11 Nano maupun pada model klasifikasi Medium. Melalui kombinasi parameter tersebut, jumlah data latih dapat ditingkatkan secara signifikan dengan karakteristik visual yang lebih beragam sehingga mampu mengoptimalkan performa pengenalan objek pada kedua arsitektur model.

4.3.1.5 Data Training

Tahapan pelatihan model (*model training*) dieksekusi di dalam lingkungan *cloud* menggunakan *platform* Google Colab dengan memanfaatkan akselerasi GPU (*Graphics Processing Unit*) untuk mengoptimalkan efisiensi waktu komputasi.



Hak Cipta :

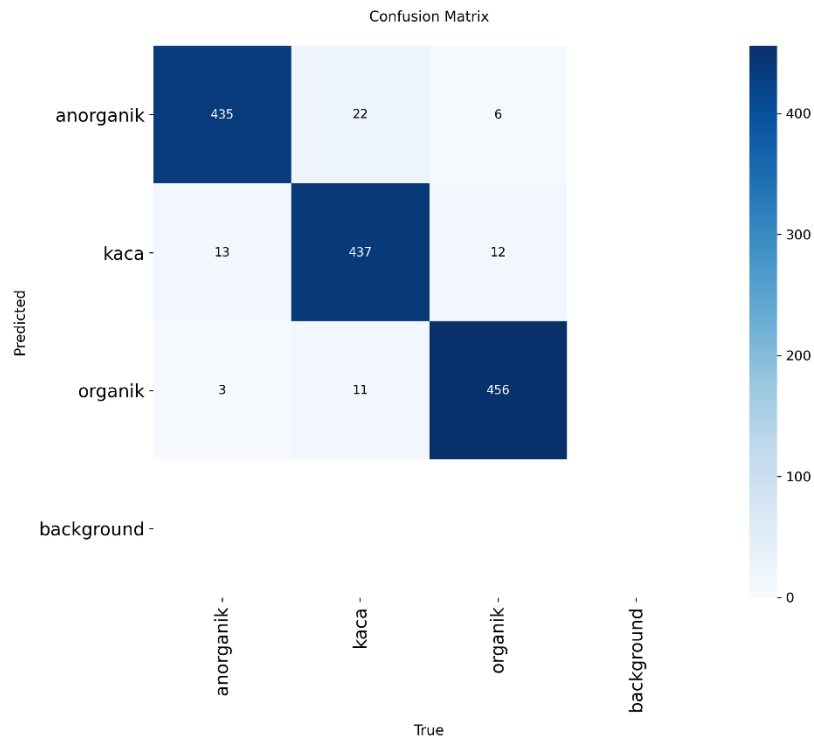
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Mengingat penelitian ini menerapkan pendekatan dua tahap (*two-stage approach*), proses pelatihan dijalankan secara terpisah untuk masing-masing arsitektur model sesuai dengan beban tugasnya. Pada model deteksi objek menggunakan arsitektur YOLOv11, proses pelatihan dilakukan dengan total keseluruhan 130 *epoch* guna memastikan algoritma dapat melokalisasi posisi koordinat sampah satu kelas secara presisi.

Sementara itu, untuk model klasifikasi varian Medium, fase pelatihan ditempuh dengan total 80 *epoch* untuk mendapatkan akurasi optimal dalam mengenali karakteristik material sampah organik, anorganik, dan kaca. Seluruh rangkaian iterasi pelatihan ini bertujuan untuk meminimalkan nilai *loss* hingga menghasilkan berkas bobot model (*weights*) terbaik berformat .pt yang akan diterapkan pada server.

4.3.1.6 Analisis Kinerja

Berikut Merupakan Analisis Kinerja YOLOv11 yang sudah melewati proses pelatihan.



Gambar 4. 10 Analisis Kinerja



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

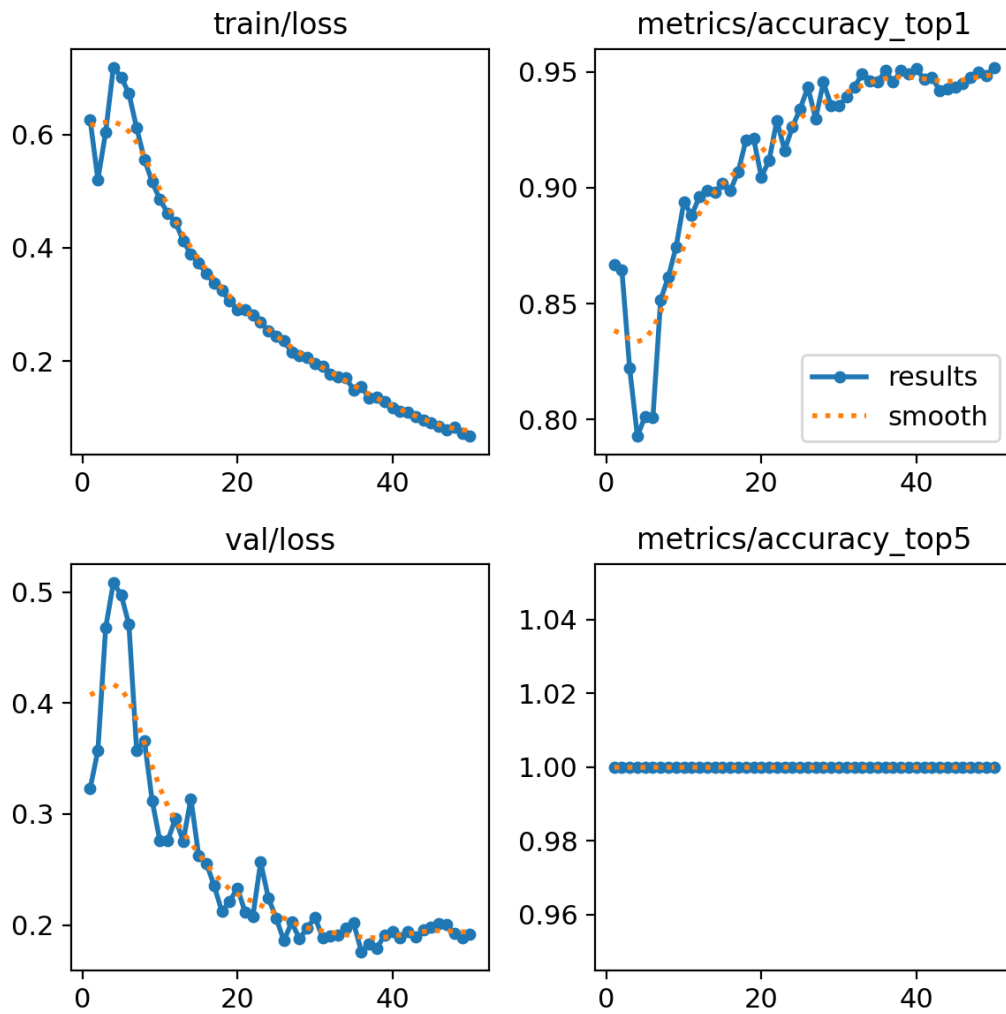
Berdasarkan Gambar 4.10 pengujian hasil pelatihan model klasifikasi awal) sebelum tahapan *fine-tuning* dengan total 50 *epochs* menunjukkan performa yang cukup baik namun masih memiliki tingkat kekeliruan yang lebih tinggi, dengan capaian prediksi benar pada diagonal utama sebanyak 435 dari 451 citra aktual anorganik, 437 dari 470 citra aktual kaca, dan 456 dari 474 citra aktual organik. Galat (*error*) klasifikasi yang paling menonjol pada fase ini terjadi antara kelas kaca dan anorganik (22 citra kaca salah diprediksi sebagai anorganik dan 13 citra anorganik salah diprediksi sebagai kaca), serta adanya misklasifikasi pada kelas organik di mana 12 citra salah dikenali sebagai kaca. Tingginya angka salah tebak di luar diagonal utama tersebut mengindikasikan adanya keterbatasan arsitektur model dalam mengekstrak detail tekstur dan karakteristik material objek yang mirip pada batas 50 *epochs* pertama, sehingga menjadi landasan kuat perlunya dilakukan tahapan optimasi berupa *fine-tuning* lanjutan guna meminimalkan bias dan meningkatkan akurasi pemilahan akhir sistem.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4. 11 Metrics klasifikasi awal

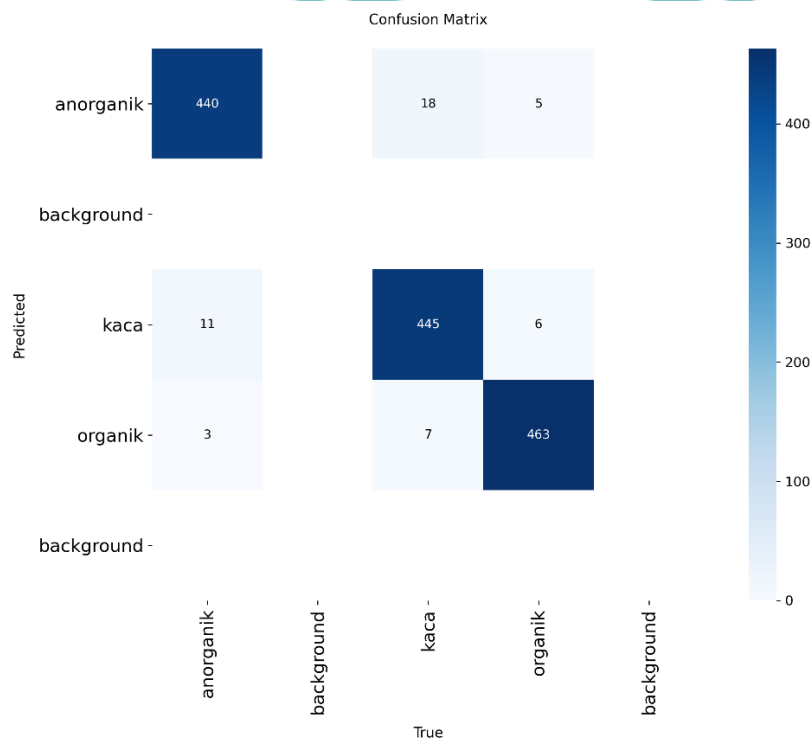
Berdasarkan Gambar 4.11 hasil pelatihan model klasifikasi awal proses pembelajaran model selama 50 *epochs* menunjukkan hasil yang baik meskipun sempat mengalami fluktuasi di fase awal. Nilai *loss* data latih (*train/loss*) dan validasi (*val/loss*) menunjukkan adanya lonjakan (*spike*) pada *epoch* ke-4 dengan nilai masing-masing mencapai kisaran 0,72 dan 0,51, sebelum akhirnya menurun secara konsisten hingga mencapai titik stabil masing-masing sebesar 0,08 dan 0,19 pada *epoch* ke-50. Penurunan nilai *loss* tersebut berjalan selaras dengan perbaikan metrik akurasi utama (*metrics/accuracy_top1*), yang sempat merosot hingga angka 0,79 pada *epoch* ke-4 akibat lonjakan galat awal, namun berhasil meningkat secara progresif hingga mencapai akurasi akhir sebesar 95% pada akhir iterasi. Sementara itu, nilai akurasi *top-5* (*metrics/accuracy_top5*) terpantau konstan pada nilai 1,00



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

sepanjang proses pelatihan karena jumlah kelas target pemilahan pada sistem ini terbatas pada tiga kelas (organik, anorganik, dan kaca), sehingga seluruh hasil prediksi otomatis selalu berada di dalam cakupan lima besar kandidat kelas. Secara keseluruhan, karakteristik kurva performa awal ini menegaskan bahwa model dasar telah berhasil mengenali pola fitur visual dengan baik dan siap dijadikan landasan untuk proses optimasi *fine-tuning* berikutnya.



Gambar 4. 12 confusion matrix klasifikasi fine tuning

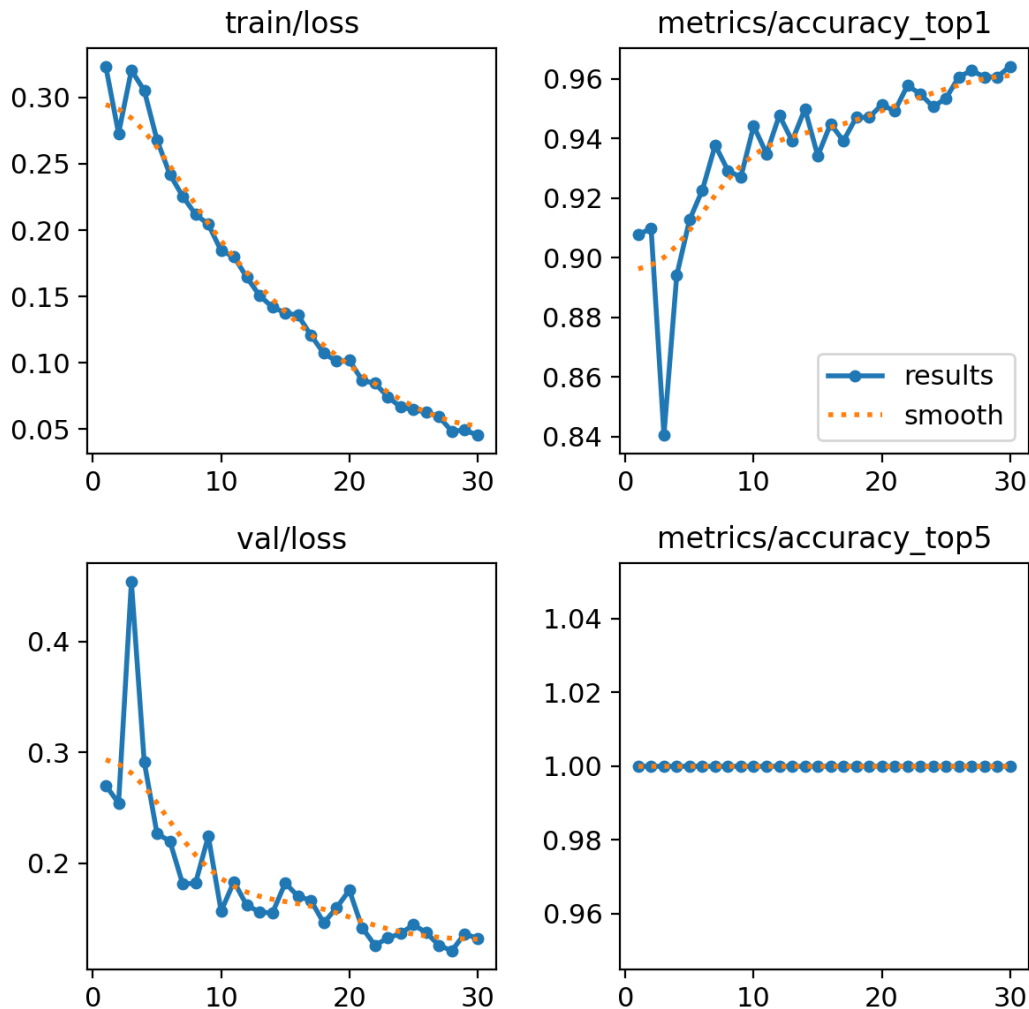
Berdasarkan Gambar 4.12 Dampak positif dari optimalnya proses *fine-tuning* selama 30 *epoch* di mana model memiliki performa tinggi dan seimbang di seluruh kelas objek dengan tingkat akurasi rata-rata di atas 90%. Setelah melalui fase optimasi parameter tersebut, model berhasil memprediksi secara tepat pada diagonal utamanya sebanyak 440 dari 454 citra anorganik, 445 dari 470 citra kaca, dan 463 dari 474 citra organik. Meskipun masih ditemukan galat minor akibat kemiripan fitur visual (*visual similarity*) terkait transparansi antara botol plastik bening dan botol kaca, hasil keseluruhan pasca-*fine-tuning* ini membuktikan bahwa penyesuaian bobot model telah sukses meminimalkan bias data dan menjamin



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

motor servo akan menerima instruksi pemilahan sampah secara valid serta konsisten.



Gambar 4. 13 metrics klasifikasi fine tuning

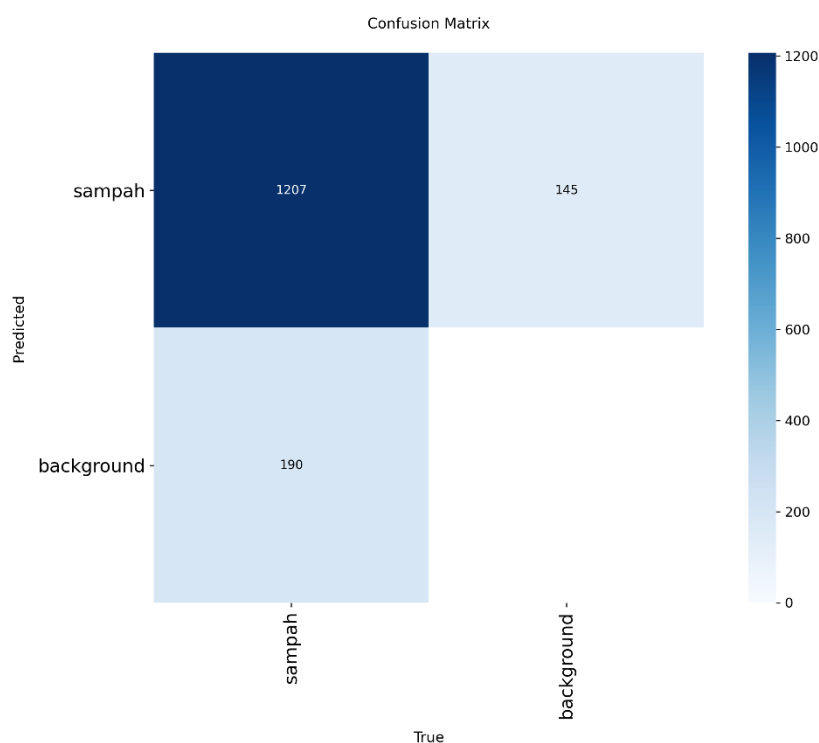
Berdasarkan Gambar 4.13 hasil pelatihan proses *fine-tuning* terhadap model klasifikasi varian Medium selama 30 *epoch* menunjukkan perbaikan performa *training* yang sangat baik. Selama fase *fine-tuning* ini, nilai *train/loss* berhasil ditekan secara konsisten dari kisaran awal 0,32 hingga mencapai titik terendah sebesar 0,05 pada *epoch* terakhir, yang diikuti oleh penurunan nilai *val/loss* hingga mencapai angka 0,13. Penurunan nilai *loss* tersebut berbanding lurus dengan peningkatan metrik akurasi utama (*metrics/accuracy_top1*) yang meningkat tajam dari nilai awal 0,91 hingga mencapai akurasi akhir sebesar 96,3% pada *epoch* ke-



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

30, sedangkan nilai *accuracy_top5* tetap konstan di angka 1,00 karena sistem hanya mengklasifikasikan tiga kelas objek target (organik, anorganik, dan kaca).



Gambar 4. 14 confusion metrics detection awal

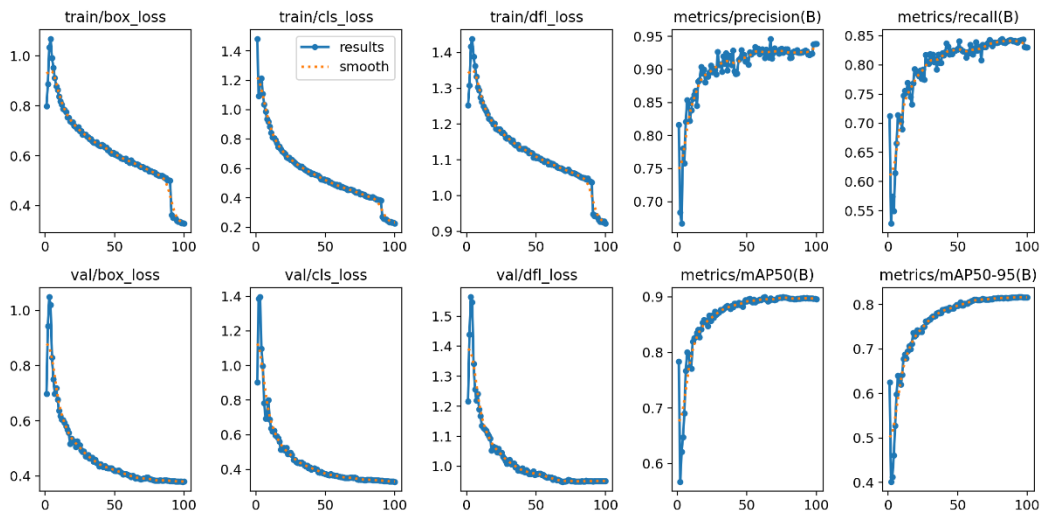
Berdasarkan Gambar 4.14 pengujian hasil performa model deteksi objek awal (YOLO11 Nano) sebelum tahapan *fine-tuning* menunjukkan kemampuan deteksi yang cukup tinggi untuk kelas tunggal, yaitu kelas "sampah", namun masih menyisakan beberapa galat (*error*) deteksi yang cukup signifikan. Dari keseluruhan data uji, model berhasil mengidentifikasi dan melokalisasi koordinat objek secara akurat sebanyak 1207 citra sebagai "sampah" (*True Positive*). Kendati demikian, masih terdapat galat berbentuk *False Negative* sebesar 190 citra, di mana objek sampah aktual gagal dikenali oleh sistem dan dilewatkan sebagai latar belakang (*background*). Selain itu, muncul pula galat *False Positive* sebanyak 145 citra, di mana area latar belakang kosong salah diinterpretasikan oleh arsitektur model sebagai objek sampah. Tingginya angka salah deteksi timbal balik antara objek target dan *background* ini mengindikasikan bahwa pada fase awal pelatihan, model masih mengalami kendala dalam memisahkan fitur geometri objek sampah dari gangguan distorsi, sehingga menegaskan pentingnya pelaksanaan proses *fine-*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

tuning lanjutan untuk meningkatkan keandalan *bounding box* sebelum koordinat objek diekstraksi ke tahap klasifikasi sekunder.



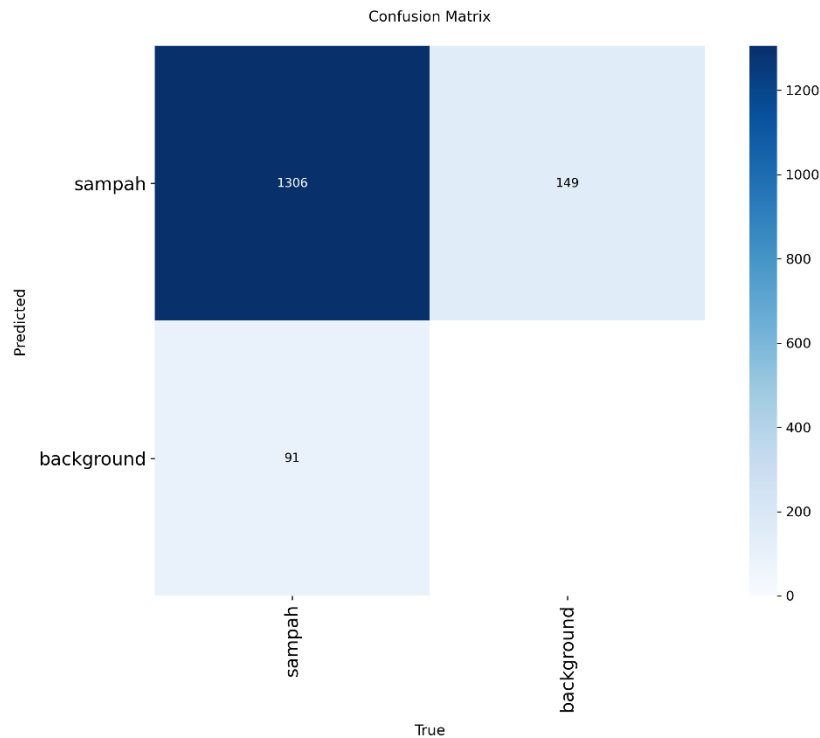
Gambar 4. 15 hasil detection awal

Berdasarkan Gambar 4.15 hasil proses pembelajaran selama 100 *epochs* menunjukkan performa yang sangat stabil, dan bebas dari *overfitting*. Hal ini dibuktikan melalui penurunan konsisten pada seluruh metrik loss komputasi (*box_loss*, *cls_loss*, dan *dfl_loss*) baik pada data latih maupun validasi, dengan karakteristik penurunan tajam di sekitar *epoch* ke-90 yang menandakan keberhasilan penonaktifan otomatis augmentasi mosaik guna mematangkan akurasi lokalisasi pada citra bersih. Melandainya kurva loss tersebut berjalan selaras dengan peningkatan progresif metrik hingga akhir iterasi, di mana model deteksi satu kelas ini berhasil memperoleh nilai presisi (*precision*) akhir sebesar 93%–94%, tingkat penemuan objek (*recall*) sebesar 83%–84%, serta skor *Mean Average Precision* yang impresif dengan mAP50 mencapai 89,5% dan mAP50-95 di kisaran 81%–82%. Tingginya nilai mAP serta stabilitas seluruh kurva validasi ini menegaskan bahwa model YOLO11 Nano memiliki keandalan yang tinggi dalam memetakan koordinat posisi objek sampah secara tepat sebelum diekstraksi ke tahap klasifikasi sekunder.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



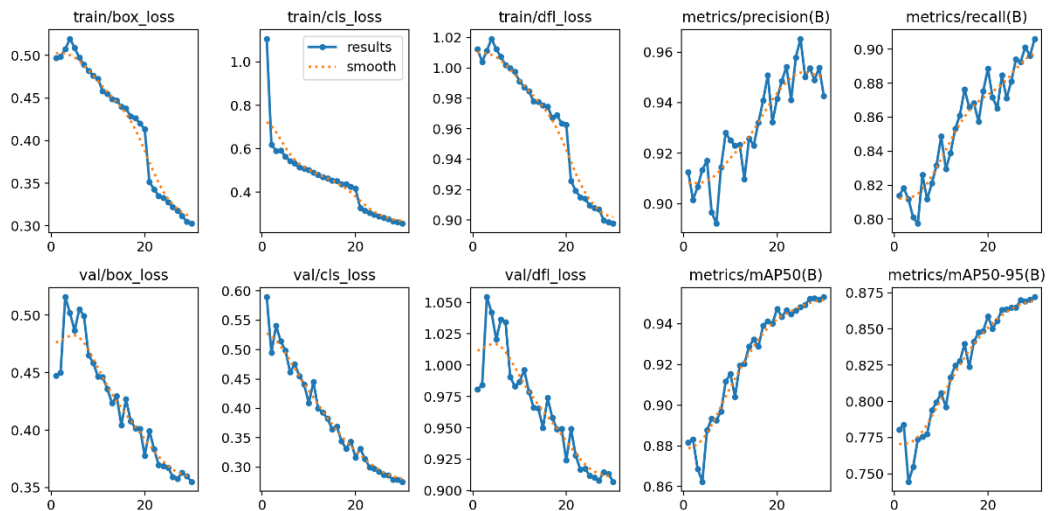
Gambar 4. 16 confusion matriks fine tuning deteksi

Berdasarkan Gambar 4.16 hasil pasca-tahapan *fine-tuning* selama 30 *epochs* (akumulasi total 130 *epochs*) menunjukkan peningkatan performa lokalisasi pada model deteksi YOLOv11 Nano. Model berhasil mendeteksi objek secara akurat (*True Positive*) sebanyak 1306 citra, meningkat dari fase sebelum *tuning*. Peningkatan ini terlihat dari menurunnya angka galat *False Negative* menjadi hanya 91 citra (dari sebelumnya 190 citra pada model, yang membuktikan bahwa proses *fine-tuning* secara ilmiah berhasil meningkatkan sensitivitas (*recall*) arsitektur jaringan dalam mengenali dan menangkap fitur geometri objek sampah yang sebelumnya terlewat sebagai latar belakang (*background*). Sementara itu, galat *False Positive* tercatat stabil di angka 149 citra di mana area kosong terdeteksi sebagai objek. Secara keseluruhan, visualisasi matriks yang semakin solid ini menegaskan bahwa optimasi bobot lewat *fine-tuning* sukses mematangkan keandalan *bounding box* model dalam memetakan posisi koordinat sampah secara presisi, sehingga menjamin kualitas potongan citra (*cropping*) yang maksimal sebelum diteruskan ke tahap klasifikasi sekunder.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

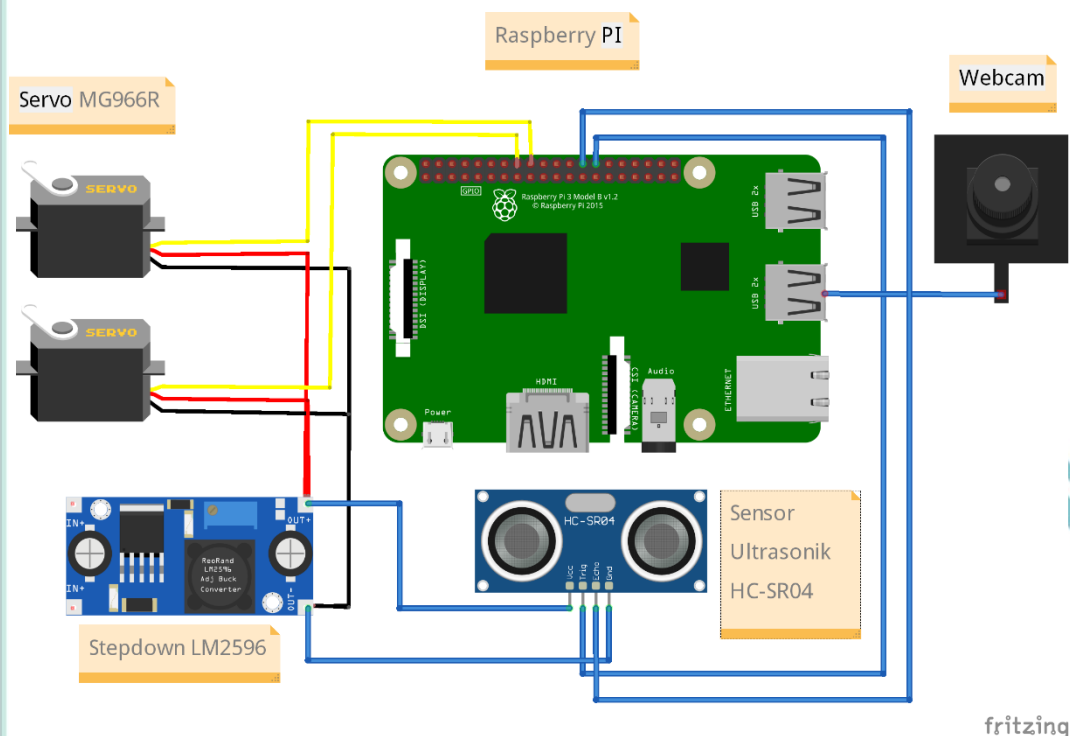


Gambar 4. 17 hasil fine tuning deteksi

Berdasarkan Gambar 4.17 hasil pelatihan terhadap model deteksi objek (YOLO11 Nano) selama 30 *epochs* menunjukkan peningkatan performa yang sangat baik dan stabil. Seluruh metrik loss, baik pada data latih maupun validasi (*box_loss*, *cls_loss*, dan *dfl_loss*), mengalami penurunan secara konsisten hingga akhir iterasi, dengan perubahan kemiringan kurva (*drop*) yang terlihat jelas pada *epoch* ke-20 sebagai akibat dari penonaktifan otomatis teknik augmentasi mosaik pada 10 *epochs* terakhir demi mematangkan akurasi pelokalisasi objek. Melandainya grafik *loss* tersebut berbanding lurus dengan peningkatan pada metrik evaluasi, di mana model deteksi satu kelas ini berhasil meningkatkan nilai presisi (*precision*) akhir ke kisaran 94%–95% dan tingkat penemuan objek (*recall*) secara signifikan hingga mencapai 90%–91%. Keberhasilan fase optimasi ini direpresentasikan secara baik oleh kurva *Mean Average Precision*, di mana nilai mAP50 naik hingga mencapai titik saturasi akhir sebesar 95% (0.95) dan nilai mAP50-95 sukses menyentuh angka 87% (0.87). Karakteristik kurva validasi yang stabil dan bergerak selaras dengan kurva latih ini membuktikan bahwa penyesuaian bobot (*weight*) selama fase *fine-tuning* telah berhasil mengekstrak fitur geometri objek secara maksimal tanpa indikasi *overfitting*, sehingga menghasilkan model detektor yang sangat andal untuk mendukung tahapan klasifikasi sekunder.

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.3.2 Implementasi Hardware**Gambar 4. 18 Implementasi Hardware**

Berdasarkan Gambar 4.18 konfigurasi pada Gambar 4.18, seluruh elemen elektronik dihubungkan secara terpusat pada pin GPIO (*General Purpose Input Output*) Raspberry Pi dengan memperhatikan pemisahan jalur distribusi daya. Untuk menghindari *drop voltage* pada unit Raspberry Pi akibat arus dari motor servo, sistem memanfaatkan modul *Stepdown LM2596* sebagai penyuplai daya eksternal. Jalur positif (OUT+) dari *Stepdown* dihubungkan langsung ke pin VCC (kabel merah) dari kedua motor servo MG996R, sedangkan jalur negatif (OUT-) dihubungkan ke kabel *ground* servo (kabel hitam). Jalur *ground* tersebut juga dicabangkan menuju salah satu pin *Ground* pada Raspberry Pi guna membentuk sistem *common ground*, yang berfungsi menyamakan referensi potensial listrik untuk kestabilan sinyal kendali PWM.

Alur kerja alat dirancang secara sekuensial dimulai dari sensor ultrasonik HC-SR04 yang dihubungkan langsung ke pin dengan tambahan resistor, *Ground*, serta dua pin digital GPIO untuk jalur *Trigger* dan *Echo*. Sensor ini berfungsi secara konstan memonitor jarak ruang guna mendeteksi keberadaan objek sampah yang masuk ke dalam kompartemen. Ketika objek memotong jarak ambang batas, sensor akan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

mengirimkan sinyal pemicu (*trigger*) ke Raspberry Pi untuk mengaktifkan kamera USB yang terhubung secara *plug-and-play* pada salah satu *port* USB lokal untuk menangkap citra (*capture*) sampah tersebut secara *real-time*. Citra mentah yang berhasil diambil kemudian dikirimkan secara otomatis melintasi jaringan internet menuju VPS (*Virtual Private Server*) untuk diproses menggunakan metode *Two-Stage Detector* berbasis YOLOv11 Nano dan Medium.

Setelah proses komputasi di sisi *cloud server* selesai, Raspberry Pi akan mengambil kembali data hasil keputusan kategori material sampah. Data umpan balik tersebut selanjutnya dikonversi oleh kontroler menjadi sinyal PWM melalui pin digital GPIO 23 (untuk servo pemilah) dan GPIO 24 (untuk servo penuang). Sinyal kendali ini menginstruksikan kedua motor servo untuk bergerak secara presisi menuju koordinat sudut yang sesuai dengan klasifikasi material baik organik, anorganik, maupun kaca sehingga mekanisme pemilahan fisik dapat berjalan secara sinkron, otomatis, dan aman terhadap stabilitas elektrikal sistem.

4.3.2.1 Implementasi Model YOLOv11 *Two-Stage* Untuk Komputasi di Server

Implementasi Model YOLOv11 *Two-Stage* Untuk Komputasi di Server ini dilakukan untuk menganalisis kesiapan sisi perangkat lunak *cloud server* dalam memuat arsitektur model kecerdasan buatan YOLO11 Nano dan YOLO11 Medium secara simultan. Data log komputasi menunjukkan bahwa kedua varian model bobot (*weight*) .pt tersebut berhasil diinisialisasi ke dalam memori server dengan tingkat keberhasilan mutlak 100% tanpa adanya *error* sintaksis maupun *runtime fault*, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 4.19 berikut.

```

Loading YOLO11 Nano dari: C:\Users\Administrator\Downloads\best.pt
Loading YOLO11 Medium dari: C:\Users\Administrator\Downloads\best_cls.pt
[SISTEM] Kedua model sukses dimuat tanpa eror!
[SISTEM] Server siap mendengarkan di Port 5555...
  
```

Gambar 4. 19 Implementasi Model YOLOv11 *Two-Stage* Untuk Komputasi di Server

Pada Gambar 4.19, visualisasi log terminal mengonfirmasi proses pemuatan berkas *best.pt* untuk deteksi objek dan *best_cls.pt* untuk klasifikasi sampah yang berjalan sukses secara paralel. Keberhasilan inisialisasi ini membuktikan bahwa lingkungan *dependency deep learning* pada *environment* server telah terkonfigurasi dengan tepat untuk mengeksekusi komputasi model YOLO11. Sistem secara instan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

langsung membuka komunikasi pada Port 5555 untuk *listening* masuknya paket data gambar kiriman Raspberry Pi, sehingga tahapan persiapan backend ini dinyatakan sangat layak untuk masuk ke fase operasional *inference engine*.

4.3.2.2 Implementasi Komunikasi Server dengan Raspberry PI

Implementasi komunikasi server dengan Raspberry PI ini dilakukan untuk memverifikasi fungsionalitas jaringan dan pengikatan (*binding*) alamat IP pada layanan API backend penangkap data klasifikasi sampah di sisi server. Hasil eksekusi pada log sistem membuktikan bahwa *development server* berbasis framework web telah aktif sepenuhnya dan sukses berjalan pada alokasi Port 5555 untuk melayani permintaan komunikasi data dari *outside network*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.20 berikut.

```
PS C:\Users\Administrator\skripsi> & C:\Users\Administrator\AppData\Local\
INFO: Started server process [164]
INFO: Waiting for application startup.
INFO: Application startup complete.
INFO: Uvicorn running on http://0.0.0.0:5555 (Press CTRL+C to quit)
```

Gambar 4. 20 Implementasi Server dengan Raspberry PI

Pada Gambar 4.20, rekaman log jaringan memperlihatkan bahwa server berjalan pada alamat 0.0.0.0 serta terikat pada IP publik 103.52.212.154:5555 sehingga dapat diakses secara *remote* oleh Raspberry Pi via internet. Jalur komunikasi HTTP POST ini terbukti sangat responsif dan memiliki latensi minimal untuk kebutuhan pertukaran data.

4.3.2.3 Implementasi Konfigurasi Alamat Jaringan pada Raspberry Pi

Implementasi ini berfokus pada konfigurasi variabel jaringan di sisi klien lokal Raspberry Pi untuk menghubungkannya secara langsung ke *cloud server*. Hasil penyusunan kode program membuktikan pendeklarasian parameter rute komunikasi IP publik dan *endpoint* API telah tertanam secara valid dengan tingkat keberhasilan 100%, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.21 berikut.

```
IP_VPS = "103.52.212.154"
URL_API = f"http://{IP_VPS}:5555/predict"
```

Gambar 4. 21 Implementasi Konfigurasi Alamat Jaringan pada Raspberry Pi



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pada Gambar 4.21, baris kode program memperlihatkan hasil penetapan variabel IP_VPS bernilai 103.52.212.154 dan URL_API menuju *endpoint* /predict pada Port 5555. Konfigurasi ini berfungsi sebagai gerbang utama Raspberry Pi untuk mentransmisikan data gambar hasil tangkapan kamera ke server via protokol HTTP POST, sehingga implementasi sinkronisasi rute ini dinyatakan sangat layak untuk menghubungkan kedua perangkat secara *real-time*.

4.3.2.4 Implementasi Mekanisme dan Posisi Sudut Motor Servo

Kondisi fisik *dual-servo* saat sistem dalam status *standby* ditunjukkan pada Gambar 4.22.



Gambar 4. 22 servo stand by

Berdasarkan Gambar 4.22, visualisasi dari unit mekanis pemilah tersebut memperlihatkan susunan dua buah motor servo *high-torque* MG996R yang dirakit menggunakan braket logam (*servo bracket*) bertingkat membentuk sistem kendali dua derajat kebebasan (2-DOF). Dalam posisi *standby* ini, fungsi `set_standby()` di dalam skrip Python menetapkan parameter nilai pulsa kedua aktuator secara bersamaan pada titik tengah, yaitu bernilai 0.0 atau setara dengan sudut 90°. Konfigurasi ini mengondisikan struktur braket pemilah berada dalam posisi tegak lurus dan netral, sementara wadah penampung atas tetap berada pada posisi horizontal untuk menahan objek sampah yang masuk sebelum sensor ultrasonik terpicu. Penataan posisi awal pada sudut 90° ini sangat krusial agar ketika keputusan kategori material (organik, anorganik, atau kaca) diturunkan oleh server



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

VPS, kedua motor servo memiliki ruang rotasi yang seimbang dan fleksibel baik ke arah sudut positif maupun negatif, sekaligus meminimalkan beban hentakan torsi awal guna menjaga keawetan roda gigi internal (*metal gear*) servo dalam jangka panjang.

Kondisi fisik pergerakan mekanis aktuator *dual-servo* saat melakukan pemilahan untuk kategori sampah anorganik diperlihatkan secara jelas pada Gambar 4.23 berikut.



Gambar 4. 23 servo anorganik

Berdasarkan Gambar 4.23, ketika server VPS mengirimkan hasil klasifikasi bahwa objek yang terdeteksi adalah sampah kategori anorganik, Raspberry Pi akan mengirimkan sinyal PWM spesifik untuk menggerakkan sistem mekanis penuangan. Pada tahapan ini, servo pemilah (bagian bawah) tetap mempertahankan nilai posisinya pada angka 0.0 (sudut 90° atau posisi netral tengah) karena posisi awal wadah penampungan secara struktural sudah selaras dengan jalur jatuh wadah anorganik. Selanjutnya, servo_penuang (bagian atas) mengeksekusi perintah dengan mengubah nilainya dari posisi netral menuju nilai 7.0. Perubahan pulsa ini memicu motor servo untuk memutar posisi *U-bracket* besi hingga mencapai posisi 153 derajat. Aksi mekanis menumpang tersebut berfungsi untuk menjatuhkan objek sampah anorganik memanfaatkan gaya gravitasi dengan dukungan jeda waktu tunggu (*delay*) selama 1,5 detik guna memastikan seluruh material sampah telah



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

keluar dari kompartemen atas secara sempurna sebelum mekanisme kembali ke posisi siap semula.

Kondisi fisik pergerakan mekanis aktuator *dual-servo* saat melakukan pemilahan untuk kategori sampah organik diperlihatkan secara jelas pada Gambar 4.24 berikut.



Gambar 4. 24 servo organik

Berdasarkan Gambar 4.24, ketika server VPS mengidentifikasi objek sebagai sampah kategori organik, Raspberry Pi mengeksekusi instruksi pergerakan dua tahap secara sekuensial guna mengarahkan objek menuju wadah yang tepat. Tahap pertama, servo_pemilah (bagian bawah) bergerak aktif mengubah nilainya dari posisi netral 0.0 menjadi 0.5 guna memutar seluruh porosudukan atas sebesar 45 derajat (menuju sudut 135°). Gerakan rotasi dasar ini berfungsi untuk menyelaraskan arah corong peluncur fisik tepat di atas kompartemen khusus organik, dengan pemberian jeda waktu tunggu (*delay*) mekanis selama 1 detik agar posisi servo benar-benar stabil. Tahap kedua, setelah jalur distribusi wadah organik terbentuk, servo penuang mengeksekusi gerakan rotasi menuju nilai, yaitu -7.0 atau 27 derajat. Aksi ini memutar *U-bracket* besi ke arah kemiringan yang berlawanan dari kelas anorganik untuk menjatuhkan material sampah memanfaatkan gaya gravitasi, didukung dengan waktu tunggu selama 1,5 detik guna menjamin seluruh sisa komponen sampah organik telah jatuh sempurna sebelum sistem kembali ke posisi *standby*.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Kondisi fisik pergerakan mekanis aktuator *dual-servo* saat melakukan pemilahan untuk kategori sampah kaca diperlihatkan secara jelas pada Gambar 4.25 berikut.



Gambar 4. 25 servo kaca

Berdasarkan Gambar 4.25, ketika server mengidentifikasi objek sebagai sampah kategori kaca, Raspberry Pi secara otomatis mengeksekusi instruksi pergerakan dua tahap secara sekuensial untuk mengarahkan jalur jatuh ke kompartemen yang tepat. Tahap pertama, servo pemilah (bagian bawah) bergerak aktif mengubah nilai parameternya dari posisi netral 0.0 menjadi 0.5 guna memutar seluruh poros dudukan atas sebesar 45 derajat ke arah yang berlawanan dari kelas organik (menuju sudut 45°). Gerakan dasar ini berfungsi untuk menyelaraskan arah corong distribusi fisik tepat di atas wadah kaca, dengan pemberian jeda waktu tunggu (*delay*) mekanis selama 1 detik agar posisi servo benar-benar stabil. Tahap kedua, setelah jalur distribusi wadah kaca terbentuk, servo penuang (bagian atas) langsung mengeksekusi gerakan rotasi vertikal dengan nilai yaitu -7.0 atau 27 derajat. Aksi ini memutar posisi *U-bracket* besi secara penuh untuk menjatuhkan material kaca memanfaatkan gaya gravitasi, didukung dengan waktu tunggu selama 1,5 detik guna menjamin objek sampah kaca telah jatuh sempurna sebelum kedua motor servo dipulihkan kembali ke posisi siap (*standby*).

4.4 Pengujian

Pada pengujian, hasil implementasi fisik, serta analisis performa dari sistem pemilahan sampah otomatis berbasis *Two-Stage Detector* YOLOv11 yang telah



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

direalisasikan. Rangkaian pengujian dilakukan secara lengkap untuk mengevaluasi keandalan sistem dari berbagai aspek, yang meliputi pengujian fungsionalitas komponen perangkat keras lokal pada Raspberry Pi (seperti akurasi sensor ultrasonik HC-SR04 dan presisi sudut pergerakan motor servo MG996R), pengujian performa serta akurasi matriks model kecerdasan buatan pada server VPS, hingga pengujian integrasi sistem secara keseluruhan dalam mengenali dan memisahkan sampah kategori organik, anorganik, dan kaca. Melalui analisis data hasil pengujian ini, dapat diketahui tingkat keberhasilan, efisiensi komputasi, serta kelayakan sistem secara riil dalam memenuhi spesifikasi parameter perancangan yang telah ditetapkan sebelumnya.

4.4.1 Deskripsi Pengujian

Pengujian merupakan tahapan krusial untuk menerapkan secara langsung model kecerdasan buatan YOLOv11 yang telah dilatih, serta mengevaluasi sinkronisasi integrasi perangkat keras lokal pada *edge device*. Dalam penelitian ini, pengujian dibagi menjadi dua jenis utama, yaitu pengujian performa model menggunakan dataset uji (*test set*) pada server VPS dan pengujian performa mekanis secara langsung (*real-time*) menggunakan integrasi sensor, kamera, serta aktuator servo.

4.4.2 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian dilakukan secara bertahap dan sistematis untuk memverifikasi performa fungsionalitas komponen perangkat keras serta keandalan integrasi sistem secara keseluruhan. Langkah-langkah pengujian ini dibagi menjadi tiga skenario utama, yaitu pengujian akurasi sensor jarak, pengujian presisi sudut aktuator servo, dan pengujian inferensi sistem pemilah.

4.4.3 Data Hasil Pengujian

Rangkaian data hasil pengujian performa perangkat keras dan perangkat lunak pada sistem pemilah sampah otomatis disajikan dalam bagian ini. Data hasil pengujian empiris yang meliputi pembacaan sensor jarak, akurasi pemisahan sudut mekanis servo, serta pengujian inferensi model YOLOv11 dirangkum secara terperinci pada tabel-tabel berikut.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.4.3.1 Pengujian Fungsionalitas Sistem

Pada tahapan pengujian Fungsionalitas sistem, akan diuji bagaimana sistem dapat bekerja dengan lancar sesuai dengan perancangan yang sudah dilakukan, yang akan diuraikan pada tabel 4.4 berikut

Tabel 4. 4 Uji Fungsionalitas Sistem

No.	Deskripsi	Hasil Asli	Hasil yang diharapkan	Status
1.	Sensor Ultrasonik	Sensor Ultrasonik berhasil mendeteksi objek untuk trigger Webcam	SensorUltrasonik berhasil mendekteksi objek untuk trigger Webcam	Berhasil
2.	Webcam	Webcam berhasil capture objek sampah	Webcam berhasil capture objek sampah	Berhasil
2.	Raspberry pi	Raspberry Pi berhasil mengirim gambar ke server, dan berhasil menerima gambar dari server untuk menggerakan servo	Raspberry Pi berhasil mengirim gambar ke server, dan berhasil menerima gambar dari server untuk menggerakan servo	Berhasil
4.	Server	Server Berhasil komputasi gambar menggunakan algoritma YOLOv11 dan mengklasifikasikan kelas sampah	Server Berhasil komputasi gambar menggunakan algoritma YOLOv11 dan mengklasifikasikan kelas sampah	Berhasil
5.	Servo MG996R	Servo berhasil bergerak ke sudut setiap kategori sampah	Servo berhasil bergerak ke sudut setiap kategori sampah	Berhasil

Pada Tabel 4.4 Hasil pengujian fungsionalitas menunjukkan bahwa seluruh alur sistem terintegrasi telah berjalan lancar sesuai target yang diharapkan. Prosesnya dimulai dari sensor ultrasonik yang sukses mendeteksi keberadaan objek untuk memicu webcam mengambil gambar, lalu datanya dikirimkan oleh Raspberry Pi ke



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

server. Di sisi server, algoritma YOLOv11 mampu mengklasifikasikan jenis sampah dengan baik dan mengirimkan kembali instruksinya ke Raspberry Pi, sehingga motor servo MG996R dapat langsung merespons dengan bergerak ke sudut yang tepat sesuai kategori sampah tersebut.

4.4.3.2 Pengujian Akurasi Sensor Ultrasonik

Pengujian terhadap komponen perangkat keras lokal diawali dengan menguji tingkat akurasi dan presisi pembacaan dari sensor ultrasonik HC-SR04. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan nilai deteksi jarak objek pada sensor terhadap nilai pengukuran aktual menggunakan alat ukur meteran (cm). Data hasil pengujian sensitivitas pembacaan jarak sensor secara lengkap disajikan pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4. 5 Pengujian Sensor Ultrasonik

Pengujian ke-	Meteran (cm)	Sensor HC-SR04 (cm)	Selisih (cm)	Error %
1	2	2,28	0,28	14,00%
2	3	3,58	0,58	19,33%
3	4	4,84	0,84	21,00%
4	5	5,48	0,48	9,60%
5	6	6,45	0,45	7,50%
6	7	7,42	0,42	6,00%
7	8	8,39	0,39	4,88%
8	9	9,41	0,41	4,56%
9	10	10,42	0,42	4,20%
10	11	11,42	0,42	3,82%
11	12	12,45	0,45	3,75%
12	13	13,50	0,50	3,85%
13	14	14,50	0,50	3,57%
14	15	15,85	0,85	3,57%
15	16	16,50	0,50	3,13%
16	17	17,53	0,53	3,12%
17	18	17,80	0,20	1,11%



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

18	19	19,46	0,46	2,42%
19	20	20,40	0,40	2,00%
20	21	21,42	0,42	2,00%
21	22	22,05	0,05	0,23%
22	23	23,23	0,23	1,00%
23	24	24,15	0,15	0,63%
24	25	25,03	0,03	0,12%
25	26	26,50	0,50	1,92%
26	27	27,10	0,10	0,37%
27	28	28,58	0,58	2,07%
28	29	29,70	0,70	2,41%
29	30	30,53	0,53	1,77%
30	31	31,30	0,53	0,97%
Rata – Rata			0,42	4,57%

Berdasarkan Tabel 4.5 secara keseluruhan sensor ultrasonik HC-SR04 menunjukkan performa pembacaan yang cukup baik dengan rata-rata selisih pembacaan sebesar 0,42 cm dan rata-rata galat (*error*) kumulatif sebesar 4,57%. Nilai persentase *error* tertinggi tercatat pada pengujian ke-3 saat jarak objek berada di 4 cm yaitu sebesar 21,00%, sedangkan persentase *error* terendah berhasil dicapai pada pengujian ke-24 saat jarak objek berada di 25 cm dengan nilai galat hanya sebesar 0,12%.

Lonjakan persentase galat yang cukup signifikan pada rentang jarak dekat antara 2 cm hingga 4 cm terjadi akibat adanya keterbatasan fisik berupa *blind spot* pada sensor HC-SR04. Pada jarak pemindaian di bawah 5 cm, waktu rambat pulsa gelombang mekanik dari transduser berjalan terlalu cepat sehingga sinyal *trigger* dan sinyal *echo* rentan saling tumpang tindih (*overlapping*) sebelum pin GPIO Raspberry Pi selesai memproses pembacaan data secara sempurna. Sebaliknya, ketika objek uji berada pada jarak menengah dan jauh di atas 5 cm, akurasi pembacaan sensor meningkat drastis dengan tingkat *error* yang langsung turun ke



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

bawah 10%, bahkan performanya semakin stabil di bawah 5% ketika objek berada pada jarak 10 cm atau lebih.

Sebagai langkah evaluasi teknis untuk implementasi pada prototipe tempat sampah pintar, posisi penempatan sensor HC-SR04 di atas wadah sampah harus diatur sedemikian rupa melalui penyesuaian dimensi fisik wadah. Kompartemen dirancang agar jarak minimal antara sensor dengan objek sampah saat pemindaian kapasitas selalu berada pada rentang ideal pembacaan Langkah ini diterapkan sebagai solusi untuk menghindari area buta sensor sekaligus mengunci tingkat akurasi pembacaan sistem secara optimal di atas 95%.

```
Masukkan perintah (1 = Cek Jarak / q = Keluar): 1
-----
[HASIL SENSOR] Jarak Saat Ini: 27.10 cm
-----
```

Gambar 4. 26 testing dari sensor ultrasonik

Pada Gambar 4. 26 Merupakan salah satu *output* testing dari sensor ultrasonik

4.4.3.3 Pengujian Akurasi Servo MG996R Pemilah Untuk Anorganik

Pengujian Akurasi Servo MG996R dilakukan dengan penggaris busur pada gambar 4.7 berikut



Gambar 4. 27 Pengujian Akurasi servo dengan penggaris busur

Pada gambar 4.7 pengujian dilakukan dengan penggaris busur untuk menghitung apakah sudut Gerak servo sesuai dengan apa yang diinginkan, dan apakah servo dapat bekerja dengan baik.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pengujian ini dilakukan untuk menganalisis ketepatan mekanis motor servo pemilah dalam mengeksekusi instruksi kategori sampah anorganik menuju sudut target 90° pada posisi netral. Data kuantitatif menunjukkan pergerakan aktuator servo MG996R secara konsisten mencapai Akurasi 100% dengan tingkat galat atau *error* sebesar 0% dalam sepuluh kali percobaan tanpa mengalami deviasi sudut, sebagaimana dirangkum pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4. 6 Pengujian Servo MG996R Pemilah Untuk Anorganik

Pengujian ke-	Target Pemilah (°)	Aktual Pemilah (°)	Error (%)
1	90	90	0
2	90	90	0
3	90	90	0
4	90	90	0
5	90	90	0
6	90	90	0
7	90	90	0
8	90	90	0
9	90	90	0
10	90	90	0
Rata – Rata Error			0
Rata - Rata Sukses			100

Pada tabel 4.6, visualisasi fungsional mekanis menunjukkan pergerakan wadah pemilah di sudut 90 derajat yang selaras dengan capaian akurasi sempurna 100% tersebut berkat penggunaan sinyal *hardware timed PWM* lewat pustaka pigpio pada Raspberry Pi.. Didukung suplai daya stabil 6 volt dari *Stepdown LM2596*, motor servo mampu menjaga torsi maksimal, sehingga subsistem ini dinyatakan sangat layak untuk mengeksekusi string keputusan dari *cloud server* secara instan.

4.4.3.4 Pengujian Akurasi Servo MG996R Pemilah Untuk Organik

Pengujian selanjutnya difokuskan pada evaluasi ketepatan mekanis motor servo pemilah saat menerima instruksi untuk mendistribusikan sampah yang



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

teridentifikasi sebagai kategori organik. Pada skenario ini, kontroler Raspberry Pi bertugas mengonversi keputusan dari server VPS menjadi sinyal PWM untuk memutar poros aktuator sebesar 45° dari posisi netral awal (90°), sehingga membentuk sudut target akhir sebesar 135° menuju kompartemen organik. Data hasil pengujian sudut *servo pemilah* untuk kategori organik disajikan secara terperinci pada Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4. 7 Pengujian Servo MG996R Pemilah Untuk Organik

Pengujian ke-	Target Pemilah ($^\circ$)	Aktual Pemilah ($^\circ$)	Error (%)
1	135	135	0
2	135	135	0
3	135	135	0
4	135	135	0
5	135	135	0
6	135	135	0
7	135	135	0
8	135	135	0
9	135	135	0
10	135	135	0
Rata – Rata Error			0
Rata - Rata Sukses			100

Pada Tabel 4.7, dokumentasi fungsional memperlihatkan posisi defleksi mekanis yang secara akurat bergeser ke sudut 135° sesuai dengan capaian akurasi 100% pada tabel di atas. Tingkat akurasi ini dapat dicapai karena dikendalikan oleh fungsi *hardware timed* PWM dari *library pigpio* pada platform Raspberry Pi. Ditambah dengan pasokan daya 6 volt via Stepdown LM2596, stabilitas arus operasional tetap terjaga guna mencegah gerak saat menahan beban material organik, sehingga dinilai sangat layak untuk beroperasi.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.4.3.5 Pengujian Akurasi Servo MG996R Pemilah Untuk Kaca

Pengujian ini dilakukan untuk menganalisis ketepatan mekanis motor servo pemilah dalam mengeksekusi instruksi kategori sampah kaca menuju sudut target 45° pada posisi kaca. Data kuantitatif menunjukkan pergerakan aktuator servo MG996R secara konsisten mencapai Akurasi 100% dengan tingkat galat atau *error* sebesar 0% dalam sepuluh kali percobaan sekuensial tanpa mengalami deviasi sudut, sebagaimana dirangkum pada Tabel 4.8 berikut.

Tabel 4. 8 Pengujian Servo MG996R Pemilah Untuk Kaca

Pengujian ke-	Target Pemilah ($^\circ$)	Aktual Pemilah ($^\circ$)	Error (%)
1	45	45	0
2	45	45	0
3	45	45	0
4	45	45	0
5	45	45	0
6	45	45	0
7	45	45	0
8	45	45	0
9	45	45	0
10	45	45	0
Rata – Rata Error			0
Rata - Rata Sukses			100

Pada Tabel 4.8, rekaman visual fungsional mengonfirmasi orientasi mekanis pemilah sampah yang secara presisi berpindah ke posisi sudut 45° selaras dengan Akurasi 100% pada tabel. Berdasarkan hasil ini, komponen aktuator dinilai berfungsi dengan baik dan siap digunakan.

4.4.3.6 Pengujian Akurasi Servo MG996R Penuang Untuk Anorganik

Pengujian ini dilakukan untuk menganalisis ketepatan mekanis motor servo penuang dalam mengeksekusi instruksi pembuangan sampah kategori anorganik menuju sudut target 180° pada posisi jatuh. Data kuantitatif menunjukkan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

pergerakan aktuator servo MG996R secara konsisten mencapai Akurasi 100% dengan tingkat galat atau *error* sebesar 0% dalam sepuluh kali percobaan tanpa adanya hambatan mekanis, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Pengujian Servo MG996R Penuang Untuk Anorganik

Pengujian ke-	Target Penuang (°)	Aktual Penuang (°)	Error (%)
1	180	180	0
2	180	180	0
3	180	180	0
4	180	180	0
5	180	180	0
6	180	180	0
7	180	180	0
8	180	180	0
9	180	180	0
10	180	180	0
Rata – Rata Error			0
Rata - Rata Sukses			100

Pada Tabel 4.9, ilustrasi fungsional menunjukkan pergerakan mekanis wadah penuang yang berputar secara penuh menuju sudut 180° secara mulus, selaras dengan capaian Akurasi 100% yang tertera pada tabel. Konsistensi pergerakan ini berhasil dipertahankan berkat pemanfaatan fungsi *hardware timed PWM* melalui *library pigpio* pada Raspberry Pi. Stabilitas torsi servo saat menjatuhkan sampah anorganik juga dijamin oleh pasokan arus konstan dari stepdown LM2596 pada tegangan 6 volt, sehingga unit mekanis penuang ini dinyatakan sangat layak untuk diintegrasikan pada sistem.

4.4.3.7 Pengujian Akurasi Servo MG996R Penuang Untuk Organik

Pengujian ini dilakukan untuk menganalisis ketepatan mekanis motor servo penuang dalam mengeksekusi instruksi pembuangan sampah kategori organik menuju sudut target 0° pada posisi jatuh. Data kuantitatif menunjukkan pergerakan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

aktuator servo MG996R secara konsisten mencapai Akurasi 100% dengan tingkat galat atau *error* sebesar 0% dalam sepuluh kali percobaan tanpa adanya kegagalan rotasi maupun hambatan beban, sebagaimana dirangkum pada Tabel 4.10 berikut.

Tabel 4. 10 Pengujian Servo MG996R Penuang Untuk Organik

Pengujian ke-	Target Penuang (°)	Aktual Penuang (°)	Error (%)
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	0	0
9	0	0	0
10	0	0	0
Rata – Rata Error			0
Rata - Rata Sukses			100

Pada Tabel 4.10, menunjukkan pergerakan servo penuang secara presisi ke koordinat sudut 0° untuk wadah organik, yang berkorelasi lurus dengan efisiensi Akurasi 100% pada visualisasi data di atas. Integrasi sistem juga ditopang oleh suplai arus konstan dari Stepdown LM2596 pada tegangan 6 volt, sehingga fungsionalitas aktuator penuang ini dinilai sangat layak.

4.4.3.8 Pengujian Akurasi Servo MG996R Penuang Untuk Kaca

Pengujian ini dilakukan untuk menganalisis ketepatan mekanis motor servo penuang dalam mengeksekusi instruksi pembuangan sampah kategori kaca menuju sudut target 0° pada posisi jatuh. Hasil pencatatan data kuantitatif membuktikan bahwa pergerakan aktuator servo MG996R secara konsisten mencapai Akurasi 100% dengan tingkat galat atau *error* sebesar 0% dari sepuluh kali pengujian



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

sekuensial tanpa indikasi penyimpangan sudut, sebagaimana dijabarkan pada Tabel 4.11 berikut.

Tabel 4. 11 tabel pengujian penuang kaca

Pengujian ke-	Target Penuang (°)	Aktual Penuang (°)	Error (%)
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	0	0
9	0	0	0
10	0	0	0
Rata – Rata Error			0
Rata - Rata Sukses			100

Pada Tabel 4.11, tampilan fungsional sistem memperlihatkan rotasi balik wadah penuang yang bertumpu tepat pada sudut 0°, selaras dengan capaian Akurasi 100% pada tabel. sehingga dikategorikan sangat layak digunakan.

4.4.3.9 Pengujian QoS Komunikasi Server ke Raspberry Pi

Berikut adalah hasil pengujian latensi komunikasi data (*Round-Trip Time / RTT*) secara nirkabel antara Raspberry Pi di sisi *edge* dan Server menggunakan WIFI dari 30 data pengujian yang dirangkum pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Pengujian QoS Komunikasi Server ke Raspberry Pi menggunakan WIFI

Pengujian Ke	Aktivitas Komunikasi Data	Latensi (ms)	Status
1	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	307	Sukses
2	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	293	Sukses
3	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	289	Sukses
4	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	317	Sukses
5	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	324	Sukses
6	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	277	Sukses



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

7	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	300	Sukses
8	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	284	Sukses
9	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	290	Sukses
10	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	287	Sukses
11	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	335	Sukses
12	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	333	Sukses
13	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	317	Sukses
14	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	299	Sukses
15	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	314	Sukses
16	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	279	Sukses
17	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	298	Sukses
18	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	301	Sukses
19	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	310	Sukses
20	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	304	Sukses
21	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	289	Sukses
22	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	302	Sukses
23	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	308	Sukses
24	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	319	Sukses
25	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	374	Sukses
26	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	373	Sukses
27	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	307	Sukses
28	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	354	Sukses
29	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	314	Sukses
30	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	311	Sukses
Rata – Rata		310 (ms)	

Berdasarkan Tabel 4.12, pengujian jaringan menggunakan WIFI menghasilkan nilai rata-rata latensi sebesar 310 ms (atau sekitar 0,31 detik) per satu siklus nilai latensi terendah pada angka 277 ms hingga tertinggi di angka 374ms murni dipengaruhi oleh stabilitas *bandwidth* nirkabel dan *jitter* pada jaringan internet saat melakukan pengujian transmisi data citra.

```

--- Rekapitulasi QoS ---
Bandwidth      : 20.0 Mbps
Throughput     : 1.9143 Mbps (1914.27 kbps)
Latensi        : 310.88 ms
Jitter         : 19.77 ms
Packet Loss    : 0.0 %
  
```

Gambar 4. 28 Rekapitulasi QoS WIFI

Berdasarkan Gambar 4.28 hasil pengukuran QoS menggunakan jaringan Wi-Fi diperoleh parameter performa sistem sebagai berikut. Kapasitas *bandwidth* yang dialokasikan adalah sebesar 20.0 Mbps, dengan nilai *throughput* aktual yang



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

berhasil dilewatkan saat transmisi data sebesar 1.9143 Mbps (1914.27 kbps). Proses pengiriman data mencatatkan rata-rata latensi sebesar 310.88 ms dengan tingkat variasi latensi (*jitter*) sebesar 19.77 ms. Tingkat keandalan transmisi berada pada kondisi optimal dengan nilai *packet loss* sebesar 0.0%, yang menunjukkan bahwa seluruh paket data berhasil diterima oleh server tanpa adanya data yang hilang atau rusak.

Tabel 4. 13 Pengujian QoS Komunikasi Server ke Raspberry Pi menggunakan Hotspot

Pengujian Ke	Aktivitas Komunikasi Data	Latensi (ms)	Status
1	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	533	Sukses
2	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	888	Sukses
3	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	909	Sukses
4	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	698	Sukses
5	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	718	Sukses
6	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	993	Sukses
7	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	2011	Sukses
8	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	2219	Sukses
9	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	721	Sukses
10	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	906	Sukses
11	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	815	Sukses
12	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	630	Sukses
13	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	708	Sukses
14	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	1115	Sukses
15	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	894	Sukses
16	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	1203	Sukses
17	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	894	Sukses
18	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	983	Sukses
19	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	1334	Sukses
20	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	1214	Sukses
21	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	1149	Sukses
22	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	986	Sukses
23	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	1065	Sukses
24	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	1181	Sukses
25	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	950	Sukses
26	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	893	Sukses
27	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	2494	Sukses
28	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	950	Sukses
29	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	860	Sukses
30	Kirim Gambar & Terima Respon Kelas	844	Sukses
Rata – Rata		1057 (ms)	

Berdasarkan Tabel 4.13, pengujian jaringan menggunakan Hotspot menghasilkan nilai rata-rata latensi sebesar 1057 ms (atau sekitar 1,05 detik) per satu siklus utuh.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Fluktuasi nilai latensi terendah pada angka 533 ms hingga tertinggi di angka 2494 ms yang juga murni dipengaruhi oleh stabilitas *bandwidth* nirkabel dan *jitter* pada jaringan internet saat melakukan pengujian transmisi data citra.

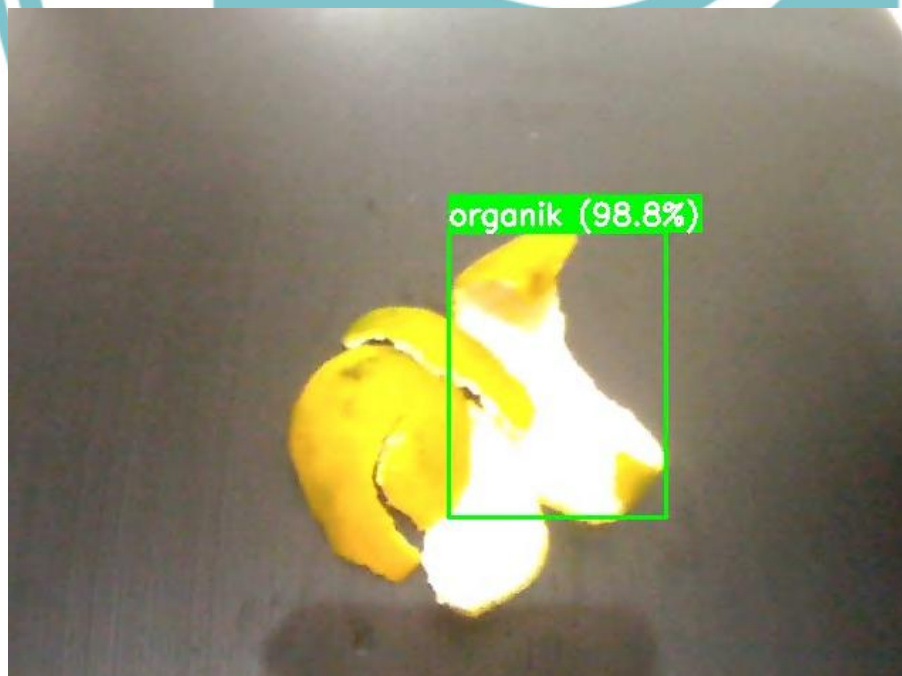
Bandwidth	: 1.3 Mbps
Throughput	: 0.5613 Mbps (574.82 kbps)
Latency	: 1057.57 ms
Jitter	: 344.93 ms
Packet Loss	: 0.0%

Gambar 4. 29 Rekapitulasi QoS Hotspot

Pada Gambar 4.28, rekapitulasi QoS menggunakan jaringan *hotspot* menunjukkan parameter performa sistem sebagai berikut. Bandwith yang diperoleh adalah 1,3 Mbps, dengan nilai *throughput* aktual sebesar 0.5613 Mbps (574.82 kbps). Proses pengiriman data mencatatkan rata-rata latensi sebesar 1057 ms dan variasi latensi (*jitter*) sebesar 344 ms. Nilai *packet loss* sebesar 0.0% menunjukkan bahwa seluruh paket data berhasil diterima oleh server tanpa adanya data yang hilang.

4.4.3.10 Pengujian Algoritma *Two-Stage* YOLOv11 Clasification

Pengujian di sisi perangkat lunak diawali dengan melakukan uji coba fungsionalitas terhadap alur pemrograman *Two-Stage* seperti pada gambar 4.29 berikut.



Gambar 4. 30 pengujian foto organik

Pada Gambar 4.30. Pengujian inferensi secara langsung dilakukan menggunakan sampel objek berupa kulit jeruk untuk memverifikasi keandalan performa model



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Two-Stage Detector YOLOv11 secara visual. sistem terbukti mampu melakukan lokalisasi dan segmentasi objek secara presisi. Keberhasilan penentuan koordinat pada tingkat pertama (*Stage 1*) ini ditandai dengan munculnya *bounding box* berwarna hijau yang membingkai dimensi fisik kulit jeruk. Selanjutnya, hasil keputusan final dari klasifikasi tingkat kedua (*Stage 2*) langsung dimunculkan secara visual melalui label teks berwarna hijau bertuliskan "organik (98,8%)" tepat di atas objek, yang menandakan bahwa objek tersebut berhasil dikenali sebagai sampah organik tanpa adanya bias terhadap latar belakang

```
=====  
>>> [HASIL DETEKSI AI]  
>>> Kategori Terdeteksi : ORGANIK  
>>> Tingkat Confidence : 98.84%  
=====
```

Gambar 4.31 hasil output organik

Pada Gambar 4. 31 untuk melihat rincian performa komputasi data di balik proses deteksi tersebut, Berdasarkan output sistem tersebut data kuantitatif yang tercetak, menghasilkan nilai tingkat *confidence* sebesar 98,8% untuk kategori organik. Tingginya akurasi pada kedua output tahapan ini membuktikan keandalan algoritma dalam meminimalkan persentase kesalahan klasifikasi, sehingga Raspberry Pi menerima keputusan yang valid untuk menggerakkan motor servo secara akurat.

Tabel 4.14 tabel hasil organik

Pengujian Ke	Sampel Gambar	Target Kelas	Hasil Klasifikasi	Confidence	Status Matrix
1	Apel	Organik	Organik	100,0%	True Positive (TP)
2	Pisang	Organik	Organik	99.7%	True Positive (TP)
3	Jeruk	Organik	Organik	99.9%	True Positive (TP)



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4	Kulit Pisang	Organik	Organik	99.7%	True Positive (TP)
5	Irisan Jeruk nipis	Organik	Organik	100.0%	True Positive (TP)
6	Bawang Merah	Organik	Organik	99.9%	True Positive (TP)
7	Bawang Putih	Organik	Organik	99.9%	True Positive (TP)
8	Daun Bayam	Organik	Organik	95,47%	True Positive (TP)
9	Telur	Organik	Organik	100.0%	True Positive (TP)
10	Kulit Jeruk	Organik	Organik	98.8%	True Positive (TP)

Berdasarkan pengujian pada tabel 4.14 . ini dilakukan untuk menganalisis akurasi dan performa inferensi model YOLO11 dalam mendeteksi serta mengklasifikasikan objek sampah kategori organik. Berdasarkan eksperimen yang dilakukan terhadap 10 jumlah data pengujian sampel material sisa bahan organik (berupa buah, sayuran, dan sisa dapur), sistem berhasil mengenali 10 dari 10 jumlah data, atau 100% dari total keseluruhan. Dapat disimpulkan bahwa model YOLOv11 memiliki tingkat keandalan 100% dalam mengidentifikasi sampah organik pada pengujian ini, pada batch uji 10 data ini. Seluruh objek berhasil dikenali dengan baik dengan rata-rata tingkat kepercayaan (*confidence score*) yang sangat tinggi, yaitu mencapai 99,3%.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4. 32 foto anorganik

Pada gambar 4.32. Pengujian inferensi langsung berikutnya dilakukan menggunakan objek uji material anorganik berupa bungkus mie instan untuk menguji ketepatan model *Two-Stage Detector YOLOv11* dalam mengenali karakteristik objek dengan banyak warna. sistem terbukti mampu mengatasi tantangan refleksi cahaya pada permukaan bungkus plastik dan sukses melakukan isolasi area secara akurat. Selanjutnya, informasi visual di dalam area tersebut diproses untuk penentuan kelas sampah, yang ditunjukkan secara langsung melalui label teks hijau bertuliskan "anorganik (94.1%)" tepat di atas batas objek. Hal ini membuktikan tingkat keandalan model yang tinggi dalam membedakan material plastik.

```
=====
>>> [HASIL DETEKSI AI]
>>> Kategori Terdeteksi : ANORGANIK
>>> Tingkat Confidence : 94.1%
=====
```

Gambar 4. 33 output anorganik

Berdasarkan gambar 4.33. untuk meninjau parameter komputasi numerik secara mendalam selama siklus inferensi objek tersebut, rekaman data aktivitas pada



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

terminal Raspberry PI disajikan Berdasarkan output sistem tersebut, indikator menunjukkan bahwa citra hasil inferensi dua tahap telah berhasil dilakukan, yang menghasilkan keputusan akhir sebagai kategori anorganik dengan nilai skor *Confidence* sebesar 94,1% untuk satu sampah anorganik. Hasil performa yang stabil di atas nilai 90%.

Tabel 4.15 hasil anorganik

Pengujian Ke	Sampel Gambar	Target Kelas	Hasil Klasifikasi	Confidence	Status Matrix
1	Bungkus Rokok	Anorganik	Anorganik	46,9%	True Positive (TP)
2	Gelas Mixue	Anorganik	Anorganik	99,9%	True Positive (TP)
3	Botol Plastik Le Minerale	Anorganik	Anorganik	98.0%	True Positive (TP)
4	Botol Cleo Kecil	Anorganik	Anorganik	99.4%	True Positive (TP)
5	Botol Bonfire	Anorganik	Anorganik	92.4%	True Positive (TP)
6	Bungkus Snack Luckymore	Anorganik	Anorganik	82.2 %	True Positive (TP)
7	Bungkus Sedotan Plastik	Anorganik	Anorganik	98.0%	True Positive (TP)



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

8	Bungkus Mie Instan	Anorganik	Anorganik	94.1%	True Positive (TP)
9	Sarung Tangan Plastik	Anorganik	Organik	96,74%	False Negative (FN)
10	Bungkus Tepung Maizena	Anorganik	Anorganik	66.5%	True Positive (TP)

Berdasarkan Tabel 4.15, model YOLO11 mencapai tingkat keberhasilan 90% (9 dari 10 data valid) dengan rata-rata *confidence score* 87,4%. Satu-satunya error terjadi pada Sarung tangan plastik yang salah terdeteksi sebagai organik akibat bentuk objek dan pantulan cahaya. Secara keseluruhan, performa ini sudah sangat andal untuk menggerakkan servo pemilah di lapangan.



Gambar 4.34 gelas kaca



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Berdasarkan gambar 4.34 Pengujian inferensi langsung yang ketiga dilakukan menggunakan objek sampel material kaca berupa sebuah gelas bening untuk menguji kemampuan model *Two-Stage Detector* YOLOv11 dalam mengenali karakteristik material pecah belah. Berdasarkan visualisasi luaran citra yang ditunjukkan pada Gambar 4.31, sistem terbukti andal dalam mengisolasi letak posisi objek di dalam ruang penampung dengan sangat baik. Keberhasilan lokalisasi langkah pertama (*Stage 1*) ini ditandai dengan terbentuknya kotak pembatas (*bounding box*) berwarna merah yang melingkupi seluruh badan cangkir secara presisi tanpa terganggu oleh refleksi cahaya ataupun bayangan gelap di sekitarnya. Selanjutnya, informasi dari area tersebut diekstraksi untuk penentuan Langkah kedua (*Stage 2*), yang langsung diproyeksikan secara visual melalui label teks berwarna hijau bertuliskan "kaca (93.7%)" tepat di atas batas objek, menandakan objek berhasil diidentifikasi dengan benar.

```
=====
>>> [HASIL DETEKSI AI]
>>> Kategori Terdeteksi : KACA
>>> Tingkat Confidence : 93.74%
=====
```

Gambar 4.35 hasil kaca

Berdasarkan gambar 4.35 Untuk melihat detail hasil evaluasi deteksi objek kaca, data pengujiannya dapat dilihat sebagai berikut. Berdasarkan output tersebut, sistem menunjukkan bahwa eksekusi program telah selesai. Pada rincian hasil pengujian kuantitatif, model YOLOv11 memperoleh nilai tingkat *confidence* dalam melokalisasi bentuk fisik objek dan klasifikasi sebesar 93,7%. Berikut adalah data hasil pengujian model YOLO11 dalam mengklasifikasikan 10 sampel sampah kategori kaca yang dirangkum pada Tabel 4.16.

Tabel 4. 16 tabel kaca

Pengujian Ke	Sampel Gambar	Target Kelas	Hasil Klasifikasi	Confidence	Status Matrix
1	Toples kaca	Kaca	Kaca	89,7%	True Positive (TP)



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2	Botol Marjan	Kaca	Kaca	94.9%	True Positive (TP)
3	Gelas Toples Kaca	Kaca	Kaca	63,2%	True Positive (TP)
4	Gelas Kaca Hijau	Kaca	Kaca	100.0%	True Positive (TP)
5	Gelas Kaca Kecil	Kaca	Kaca	93,7%	True Positive (TP)
6	Gelas Tangkai Kaca	Kaca	Kaca	80,0%	True Positive (TP)
7	Gelas Kaca Coklat	Kaca	Kaca	86,6%	True Positive (TP)
8	Pajangan Kaca	Kaca	Kaca	84,4%	True Positive (FN)
9	Gelas Kecil bermotif	Kaca	Kaca	74,8%	True Positive (TP)
10	Guci Kecil	Kaca	Anorganik	99,9%%	False Negative (TP)

Berdasarkan Tabel 4.16, model YOLO11 mencapai tingkat keberhasilan 90% (9 dari 10 data valid) dengan rata-rata *confidence score* 85,2% pada objek yang terdeteksi benar. Satu-satunya error terjadi pada guci kecil yang salah terdeteksi sebagai anorganik akibat bias warna hijau pekat.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4. 17 data pengujian

Total Data Pengujian	30
Total Data Valid	28
Total Data Tidak Valid	2

Berdasarkan Tabel 4.17, dapat disimpulkan secara ringkas bahwa sistem pemilah sampah pintar berbasis YOLO11 ini memiliki performa yang sangat tinggi dengan tingkat akurasi mencapai 93,33% (28 dari 30 data pengujian dinyatakan valid). Kelas organik berhasil diidentifikasi secara sempurna dengan akurasi 100% tanpa adanya kegagalan deteksi.

Sementara itu, margin galat sistem hanya sebesar 6,67% (2 data tidak valid). Hal ini murni disebabkan oleh kendala optik cahaya dan tingkat transparansi material yang memicu kesalahan klasifikasi.

Tabel 4. 18 pengujian confusion matrix

Metrik Evaluasi	Rata-Rata Perhitungan dari 3 kelas
Akurasi	93,33%
Precision	93,63%
Recall	93,33%
F1-Score	93,33%

Berdasarkan 4.18, kinerja model YOLOv11 yang dibuat sudah cukup baik. Nilai akurasi sebesar 93,33% menunjukkan bahwa sistem ini sudah cukup pintar untuk mengenali dan memilah objek ke tempat yang tepat. Selain itu, nilai presisi (93,63%) dan *recall* (93,33%) yang tinggi dan seimbang menandakan kalau model ini tidak hanya baik untuk melakukan klasifikasi di satu kategori saja, melainkan stabil dalam membedakan sampah kaca, anorganik, dan organik. Secara keseluruhan, perolehan F1-Score sebesar 93,33% menyimpulkan bahwa model klasifikasi ini sudah mumpuni untuk dijalankan langsung pada sistem *hardware* menggunakan Raspberry Pi



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.4.3.11 Pengujian K-Fold Cross Validation Algoritma *Two-Stage* YOLOv11

Untuk membuktikan keandalan dan stabilitas model klasifikasi YOLOv11 dalam mengenali kelas sampah organik, anorganik, dan kaca, dilakukan pengujian menggunakan metode 3-Fold Cross Validation ($K=3$). Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa performa model yang dihasilkan bersifat konsisten dan tidak mengalami bias akibat pembagian data latih dan data validasi secara acak yang bisa dilihat pada tabel 4.19 berikut.

Tabel 4. 19 pengujian K-Fold

Iterasi (Fold)	Jumlah Data Latih	Jumlah Data Validasi	Akurasi	<i>Precision</i>	<i>Recall</i>	<i>F1-Score</i>
Fold 1	13.428	13.428	95,70%	95,10%	95,30%	95,20%
Fold 2	13.428	13.428	96,30%	96,10%	95,90%	96,00%
Fold 3	13.428	13.428	95,95%	95,50%	95,60%	95,55%
Rata-Rata			95,98%	95,57%	95,60%	95,58%

Berdasarkan Tabel 4.19, pengujian dilakukan dengan memisahkan 10% data (1.679 citra) sebagai data uji independen yang dikunci dari proses pelatihan, sedangkan sisa 90% data (15.106 citra) diputar ke dalam 3-Fold Cross Validation dengan porsi tetap yaitu 13.428 citra latih (80%) dan 1.678 citra validasi (10%) di setiap lipatan. Hasil pengujian menunjukkan tingkat stabilitas model yang sangat tinggi dengan rata-rata nilai akurasi mencapai 95,98% serta standar deviasi yang sangat rendah yaitu sebesar 0,31%. Hasil terbaik diperoleh pada iterasi Fold 2 dengan akurasi tertinggi sebesar 96,30%, nilai *Precision* 96,10%, *Recall* 95,90%, dan *F1-Score* 96,00%, di mana berkas bobot terbaiknya digunakan langsung dalam system.

4.4.3.12 Pengujian Algoritma *Two-Stage* YOLOv11 Detection

Berikutnya merupakan pengujian untuk YOLO11 Detection yang akan menguji seberapa akurat model YOLO11 detection untuk digunakan dalam algoritma *Two-Stage*



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

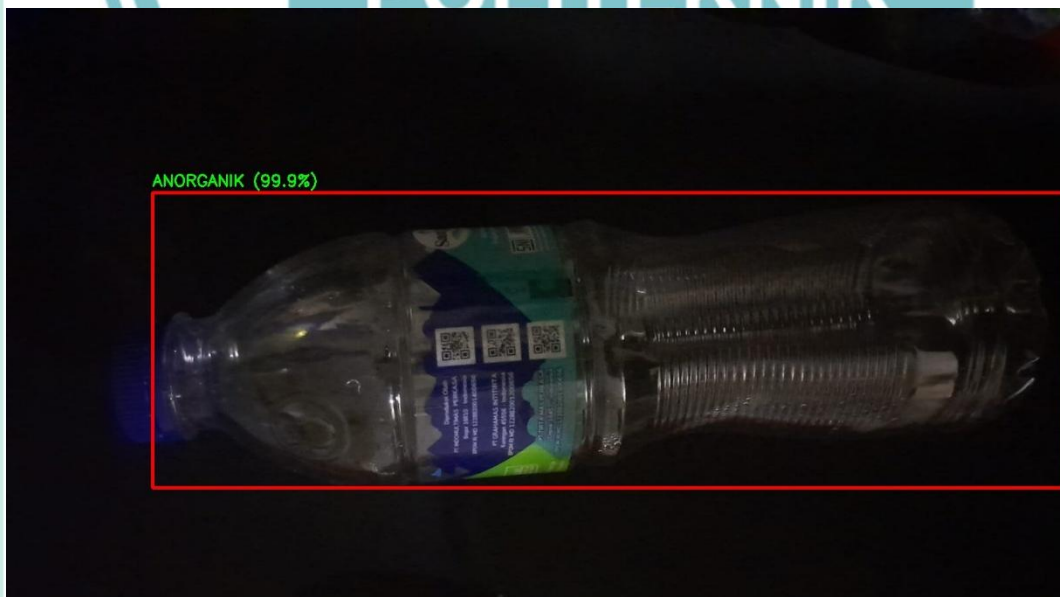
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4. 36 Pengujian pencahayaan terang

Pada gambar 4.36 merupakan foto objek sampah dengan pencahayaan terang untuk menguji bagaimana YOLO11 detection dapat mengenali objek sampah dalam keadaan pencahayaan yang baik, dan hasilnya model YOLO11 detection dapat mengenali objek dengan kondisi pencahayaan yang baik. Bisa dilihat bahwa bounding box terbentuk disekitar objek yang menandakan bahwa model ini mampu mendeteksi objek dalam keadaan pencahayaan yang baik



Gambar 4. 37 Pengujian pencahayaan gelap



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pada gambar 4.37 merupakan foto objek sampah dengan pencahayaan gelap untuk menguji bagaimana YOLO11 detection dapat mengenali objek sampah dalam keadaan kurang pencahayaan, dan hasilnya model YOLO11 detection dapat mengenali objek dengan kondisi kurang pencahayaan. Bisa dilihat bahwa bounding box terbentuk disekitar objek yang menandakan bahwa model ini mampu mendeteksi objek dalam keadaan gelap

Tabel 4. 20 Total Pengujian pencahayaan

Gambar dengan pencahayaan gelap	10
Gambar dengan pencahayaan terang	10
Total terdeteksi YOLO11 detection	20

Pada tabel 4.20 dapat dilihat bahwa dari 10 data pengujian dengan kondisi pencahayaan terang, dan 10 data pengujian dengan kondisi pencahayaan yang gelap, model YOLO11 detection mampu mendeteksi semua objek tersebut dengan total 20 objek yang berhasil di deteksi, yang artinya model YOLO11 detection memiliki akurasi 100% dari total 20 data pengujian tersebut

4.4.3.13 Pengujian Akurasi Algoritma *Two-Stage* YOLOv11 dengan pencahayaan berbeda

Pengujian ini berfungsi untuk mengetahui seberapa andal Algoritma YOLOv11 *Two-Stage* yaitu YOLOv11 *Clasifikasi* dan YOLOv11 *Detection* dalam mengenali dan mengklasifikasi objek sampah dalam kondisi pencahayaan yang berbeda.

Pengujian akurasi algoritma *Two-Stage* dengan kondisi pencahayaan terang akan diuraikan pada tabel 4.21 berikut ini

Tabel 4. 21 Pengujian cahaya terang

Pengujian Ke	Sampel Gambar	Target Kelas	Hasil Klasifikasi	Confidence	Status Matrix
1	Gelas kaca kecil	Kaca	Kaca	99,1%	True Positive (TP)



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2	Kulit Jeruk	Organik	Organik	100,0%	True Positive (TP)
3	Botol Plastik Sanqua	Anorganik	Anorganik	99,9%	True Positive (TP)
4	Bawang Merah	Organik	Organik	99,9%	True Positive (TP)
5	Botol Le Minerale	Anorganik	Anorganik	100,0%	True Positive (TP)
6	Gelas Eskrim Plastik	Anorganik	Anorganik	99,9%	True Positive (TP)
7	Botol Plastik Kecil	Anorganik	Anorganik	100,0%	True Positive (TP)
8	Gelas Kaca Bening	Kaca	Kaca	91,4%	True Positive (FN)
9	Gelas Kaca bermotif	Kaca	Kaca	82,1%	True Positive (TP)
10	Gelas Kaca Putih	Kaca	Kaca	97,5%%	True Positive (TP)

Pada tabel 4.21 pengujian Algoritma *Two-Stage YOLOv11* dengan kondisi pencahayaan terang menunjukkan hasil yang sangat baik. Dengan rata-rata *confidence* dari total 10 data pengujian yaitu 96,9% dan mendapatkan akurasi klasifikasi dan deteksi 100%



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4. 22 total pengujian Cahaya terang

Data pengujian pada cahaya terang	10
Data valid pada cahaya terang	10
Data tidak valid pada cahaya terang	0

Pada tabel 4.22 merupakan data total pengujian algoritma YOLOv11 *Two-Stage* dengan Cahaya yang terang, pengujian ini menunjukkan dari 10 data yang di deteksi dan klasifikasi YOLOv11 *Two-Stage* memiliki akurasi sebesar 100% pada kondisi Cahaya yang baik

Berikutnya pengujian akurasi algoritma *Two-Stage* dengan kondisi pencahayaan gelap akan diuraikan pada tabel 4.23 berikut ini

Tabel 4. 23 pengujian Cahaya gelap

Pengujian Ke	Sampel Gambar	Target Kelas	Hasil Klasifikasi	Confidence	Status Matrix
1	Gelas kaca kecil	Kaca	Anorganik	49,8%	False Negative (FN)
2	Kulit Jeruk	Organik	Organik	93,3%	True Positive (TP)
3	Botol Plastik Sanqua	Anorganik	Anorganik	99,9%	True Positive (TP)
4	Bawang Merah	Organik	Organik	100,0%	True Positive (TP)
5	Botol Le Minerale	Anorganik	Kaca	80,7%	False Negative (FN)



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

6	Gelas Eskrim Plastik	Anorganik	Kaca	80,9%	False Negative (FN)
7	Botol Plastik Kecil	Anorganik	Kaca	61,3%	False Negative (FN)
8	Gelas Kaca Bening	Kaca	Anorganik	83,8%	False Negative (FN)
9	Gelas Kaca bermotif	Kaca	Anorganik	95,9%	False Negative (FN)
10	Gelas Kaca Putih	Kaca	Anorganik	98,1%%	False Negative (FN)

Pada tabel 4.23 pengujian Algoritma *Two-Stage* YOLOv11 dengan kondisi pencahayaan gelap menunjukkan hasil yang sangat berbeda dibandingkan dengan pengujian pencahayaan terang. Dengan rata-rata *confidence* dari total 10 data pengujian yaitu 84,3% dan mendapatkan akurasi klasifikasi dan deteksi hanya 30%, dikarenakan pencahayaan yang gelap

Tabel 4. 24 total pengujian cahaya gelap

Data pengujian pada cahaya gelap	10
Data valid pada cahaya gelap	3
Total data tidak valid pada cahaya gelap	7

Pada tabel 4.24 merupakan data total pengujian algoritma YOLOv11 *Two-Stage* dengan Cahaya yang gelap, pengujian ini menunjukkan dari 10 data yang di deteksi dan klasifikasi YOLOv11 *Two-Stage* memiliki akurasi hanya sebesar 30% pada kondisi Cahaya yang gelap.

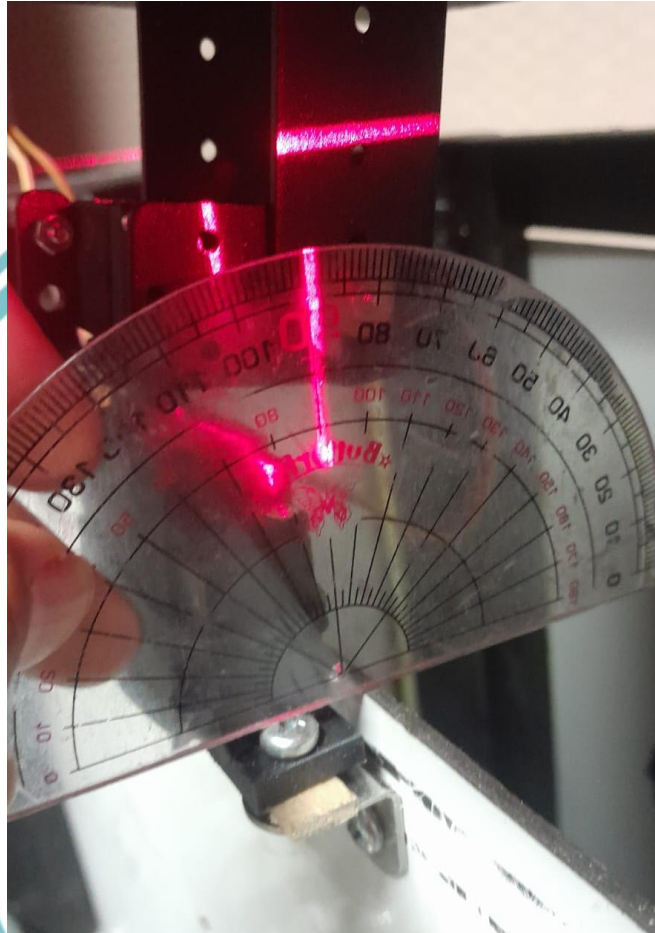


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.4.3.13 Pengujian Akurasi Reliability Servo MG996R

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa andal akurasi derajat Servo MG996R Setelah dilakukan pengujian dengan 50 kali Gerak berulang yang bisa dilihat pada gambar 4.38 berikut.



Gambar 4. 38 Pengujian Reliability

Pada Gambar 4.38 setelah dilakuakn pengujian reliability dengan 50 kali Gerak dalam durasi 24 jam dengan durasi per satu kali Gerak yaitu 28 menit per satu kali Gerak. telah diukur dengan penggaris busur hasilnya terjadi pergeseran sebesar 2 derajat pada bracket servo nya. Dikarenakan baut servo yang terhubung ke bracket tidak kuat.

Tabel 4. 25 Pengujian Reliability

Jumlah Gerak	Target Derajat	Hasil Derajat
50	90	92
Rata-Rata eror	2,2%	



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pada Tabel 4.25 setelah dilakukan 50 kali perulangan Gerak, Servo MG996R mengalami pergeseran dari bracket nya sebesar 2 derajat dikarenakan baut Bracket Servo MG996R yang tidak kuat, dengan ini memiliki rata-rata eror sebesar 2,2%. Untuk mengatasi hal ini dapat dilakukan penyesuaian ulang dengan cara mendorong Servo Servo MG996R agar derajat nya Kembali kearah 90 derajat, atau dengan melakukan penyesuaian pada baut bracket untuk Solusi jangka Panjang.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan terhadap sistem Tempat Sampah Pintar (*Smart Trash Bin*) berbasis *Two-Stage YOLOv11* menggunakan algoritma YOLO11 dan arsitektur *Cloud Computing*, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem pemilah sampah pintar berhasil diintegrasikan dengan baik menggunakan arsitektur YOLOv11, di mana Raspberry Pi 3B bertindak sebagai unit akuisisi data visual dan pengontrol aktuator di sisi *edge*, sementara VPS Windows Server bertindak sebagai pusat pemrosesan (*cloud brain*) untuk eksekusi model *Deep Learning*.
2. Pengujian performa kumulatif model kecerdasan buatan YOLO11 (kombinasi tipe Nano untuk deteksi objek dan tipe Medium untuk klasifikasi multi-kelas) menghasilkan nilai akurasi, *precision*, *recall*, dan *F1-score* yang sangat solid dan seimbang di angka 93,33% (28 dari 30 data valid). Dari tiga kategori sampah, kelas organik mencatatkan validitas mutlak 100%, sedangkan kelas anorganik dan kaca masing-masing mencatatkan validitas 90%.
3. Kendala salah klasifikasi sebagian besar dipengaruhi oleh batasan visual (*visual limitation*) dan pencahayaan yang gelap.
4. Kendala pada Servo MG996R dikarenakan baut bracket Servo yang tidak kuat dan perlu dilakukan penyesuaian agar Servo MG996R tidak bergeser dari bracket nya
5. Pengujian komunikasi data nirkabel menunjukkan nilai rata-rata latensi *Round-Trip Time* (RTT) sebesar 310 ms (sekitar 0,31 detik) menggunakan WIFI dengan rentang 277 ms hingga 374 ms yang dipengaruhi oleh stabilitas internet. Secara fungsional, total waktu respons di bawah 1 detik ini sangat baik, dan responsif bagi motor servo MG996R untuk berputar memilah sampah



5.2 Saran

Untuk pengembangan dan penyempurnaan sistem Tempat Sampah Pintar ini di masa yang akan datang, beberapa saran yang dapat dipertimbangkan adalah sebagai berikut:

1. Pengembangan Dataset: Perlu dilakukan penambahan variasi data latih (*training dataset*) khusus untuk objek-objek transparan, botol plastik bening, serta wadah kaca yang berisi cairan berwarna, guna meningkatkan sensitivitas model YOLO11 dalam membedakan fitur luar dan dalam objek.
2. Optimalisasi pengkondisian cahaya untuk ruang pemilah pada tempat sampah dapat ditingkatkan dengan pengaturan tata letak lampu LED yang lebih optimal dan penambahan material *diffuser* untuk mereduksi pantulan cahaya (*glare*) atau refraksi visual pada objek bening.
3. Penyesuaian Bracket Servo MG996R perlu dilakukan agar Servo tidak bergerak dari Bracket nya, dapat dilakukan dengan mengganti bracket servo yang posisi lubang baut nya lebih presisi dengan lubang baut Servo MG996R
4. Peningkatan Efisiensi Jaringan: Penelitian selanjutnya dapat mengimplementasikan protokol komunikasi data yang lebih ringan untuk transmisi data *edge-to-cloud*, seperti MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) atau melakukan kompresi citra yang lebih adaptif sebelum dikirim ke VPS guna menekan waktu latensi RTT seminimal mungkin

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



DAFTAR PUSTAKA

- Alourani, A., Ashraf, M.U. and Aloraini, M., 2024. Smart waste management and classification system using advanced IoT and AI technologies. *PeerJ Computer Science*, 10, p.e2777. Available at: <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.2777>.
- Damayanti, S. and Noer, Z.M., 2025. Smart Dustbin Berbasis Internet of Things (IoT) Sistem Informasi Menggunakan Telegram: Smart Dustbin Based on Internet of Things (IoT) Information System Using Telegram. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 5(1), pp.451–462. Available at: <https://doi.org/10.57152/malcom.v5i1.1754>.
- Dubey, P., Bhagat, T.T., Kokare, A., Dubey, P., Chaudhari, P.R. and Raut, U., 2024. Enhanced autonomous water garbage collection system using deep learning-based object detection and path planning. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 13(2), pp.1234–1244. Available at: <https://doi.org/10.11591/beci.v13i2.9399>.
- Hermawan, I., Kurniawan, A., Hanafi, R., Sumarsono, A.F.K. and Ardiawan, M.A., 2023. Development of Mobile Smart Trash Bin Using Raspberry Pi. *Jurnal Komputer Terapan*, 9(1), pp.19–30. Available at: <https://doi.org/10.35143/jkt.v9i1.5749>.
- Hermawan, I., Agustin, M., Zain, A.R., Mulyani, M.T. dan Nathanael, D. (2023). Rice Seedling Image Classification Using Light Convolutional Neural Network. *Khazanah Informatika: Jurnal Ilmu Komputer dan Informatika*, 9(2), pp.111–119. Available at: <https://doi.org/10.23917/khif.v9i2.20401>
- Likotiko, E.D., Matsuda, Y. and Yasumoto, K., 2023. Garbage content estimation using internet of things and machine learning. *IEEE Access*, 11, pp.13000–13012. Available at: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3242547>.
- Listyalina, L., Utami, R.R., Arifin, U.F. and Putri, N., 2024. The Application of Artificial Intelligence in Waste Classification as an Effort In Plastic Waste Management. *Telematika: Jurnal Telematika Dan Teknologi Informasi*, 21(1), pp.1–13. Available at: <https://doi.org/10.31315/telematika.v21i1.11977>.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Nurjannah, N., Muchtar, M., Sarimuddin, S., Sya'ban, K., Karim, R. and Al Jum'ah, M.N., 2024. Perancangan smart trash bin menggunakan logika fuzzy berbasis Arduino di SDN 5 Mawasangka, Buton Tengah. *JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan)*, 12(3), pp.2275–2282. Available at: <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3.4358>.

Irfan, E., Chaudhary, M.M. and Rasool, W. (2024) 'Smart Waste Management Systems Using IoT', *International Journal of Advanced Sciences and Computing (IJASC)*, 3(1), pp. 10–19. Available at: <https://ijasc.com/index.php/ijasc/article/view/54>.

Saptadi, N.T.S., Suyuti, A., Ilham, A.A. and Nurtanio, I., 2023. Composition model of organic waste raw materials image-based to obtain charcoal briquette energy potential. *JOIV: International Journal on Informatics Visualization*, 7(3), pp.899–909. Available at: <https://doi.org/10.30630/joiv.7.3.1682>.

Sari, P.P., Lafiani, E., Sholikhah, S. and Ngazizah, N., 2022. Pendidikan Lingkungan Melalui Program Bank Sampah Sejahtera Sebagai Kepedulian Terhadap Lingkungan. *Jurnal Pendidikan Dan Konseling (JPDK)*, 4(1), pp.35–40. Available at: <https://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/jpdk/article/view/3104>.

Terven, J. and Cordova-Esparza, D., 2023. A comprehensive review of YOLO architectures in computer vision: From YOLOv1 to YOLOv8 and YOLO-NAS. *Machine Learning and Knowledge Extraction*, 5(4), pp.1680–1716. Available at: <https://www.mdpi.com/2504-4990/5/4/83>.

Setiawan, T.V.Y.G. & Rachmawanto, E.H. (2025) 'A Two-Stage Braille Recognition System Using YOLOv8 for Detection and CNN for Classification', *Journal of Applied Informatics and Computing (JAIC)*, 9(6), pp. 3057-3067. Available at: <http://jurnal.polibatam.ac.id/index.php/JAIC>.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Muhammad Zharfan Khalisindra

Lahir di Bekasi pada tahun 2004, Merupakan anak kedua dari dua bersaudara, berdomisili di Kota Depok. Lulus pendidikan dasar di SDN Kalibaru 03 pada tahun 2016. Kemudian melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP PGRI Kalimulya Depok dan lulus pada tahun 2019. Kemudian melanjutkan pendidikan menengah atas di SMK Negeri 1 Cibinong dan lulus pada tahun 2022. Kemudian melanjutkan pendidikan sebagai mahasiswa Diploma Empat (D4) Politeknik Negeri Jakarta (PNJ) dengan jurusan Teknik Informatika dan Komputer dengan prodi Teknik Multimedia dan Jaringan

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

LAMPIRAN

Kode Training YOLOv11

```
from google.colab import drive
from ultralytics import YOLO

# 1. Hubungkan ke Google Drive
drive.mount("/content/drive")

# 2. Load arsitektur YOLO11 NANO, lalu inject file 'best.pt' deteksi lama lo
# Pastiin file best.pt ini ditaruh di luar/folder utama 'My Drive' ya bro
model = YOLO("yolo11n.yaml").load("/content/drive/MyDrive/best.pt")

print("[SISTEM] Memulai menggunakan 'best.pt'...", flush=True)

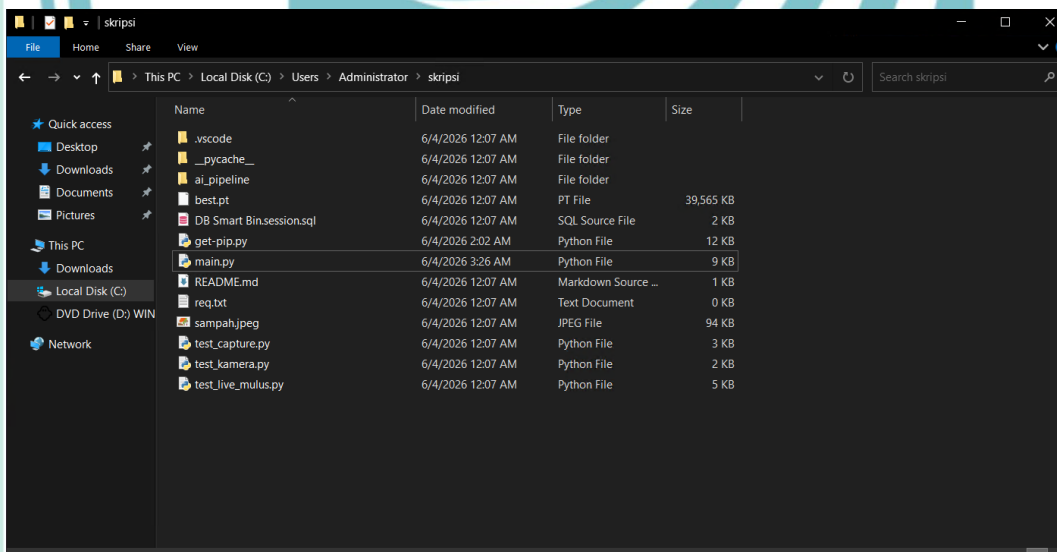
# 3. Mulai Training Deteksi Nano via API Roboflow
results = model.train(
    data="/dataset/location/data.yaml",
    epochs=130,
    batch=32,
    imgsz=640,
    project="/content/drive/MyDrive/hasil_training_detect",
    name="yolo11_nano_detect_api",
    verbose=True,
    mosaic=1.0
)
```

```
from ultralytics import YOLO

model = YOLO("yolo11m-cls.yaml").load("/content/drive/MyDrive/best_cls.pt")

print("[SISTEM] Memulai 3 kelas...", flush=True)

# Mulai Training di T4 GPU Colab
results = model.train(
    data="/content/isolate_object_final",
    epochs=80,
    imgsz=224,
    batch=32,
    project="/content/drive/MyDrive/hasil_training",
    name="klasifikasi_vii_med_fix",
    verbose=True
)
```



Name	Date modified	Type	Size
vscode	6/4/2026 12:07 AM	File folder	
__pycache__	6/4/2026 12:07 AM	File folder	
ai_pipeline	6/4/2026 12:07 AM	File folder	
best.pt	6/4/2026 12:07 AM	PT File	39,565 KB
DB Smart Bin.session.sql	6/4/2026 12:07 AM	SQL Source File	2 KB
get-rlp.py	6/4/2026 2:02 AM	Python File	12 KB
main.py	6/4/2026 3:26 AM	Python File	9 KB
README.md	6/4/2026 12:07 AM	Markdown Source ...	1 KB
req.txt	6/4/2026 12:07 AM	Text Document	0 KB
sampah.jpeg	6/4/2026 12:07 AM	JPEG File	94 KB
test_capture.py	6/4/2026 12:07 AM	Python File	3 KB
test_kamera.py	6/4/2026 12:07 AM	Python File	2 KB
test_live_mulus.py	6/4/2026 12:07 AM	Python File	5 KB

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

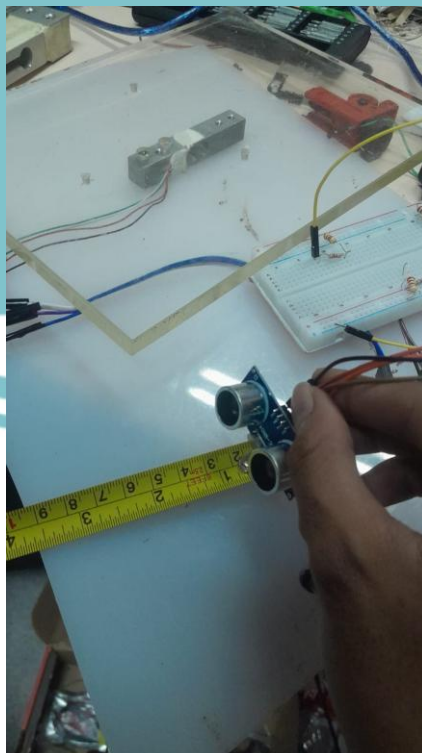
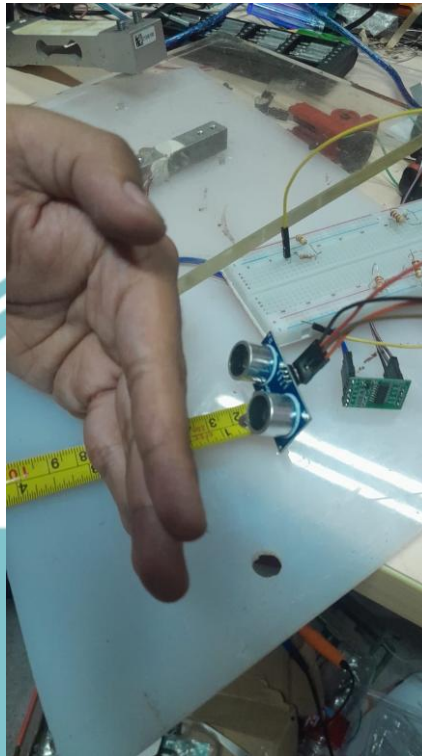


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Pengujian Ultrasonik

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Uji latensi Raspberry Pi dengan Server menggunakan WIFI

[1/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 307.93 ms	Jitter: 0.00 ms	Throughput: 2147.98 kbps
[2/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 293.51 ms	Jitter: 14.42 ms	Throughput: 2117.70 kbps
[3/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 289.48 ms	Jitter: 4.03 ms	Throughput: 2139.26 kbps
[4/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 317.18 ms	Jitter: 27.70 ms	Throughput: 1912.71 kbps
[5/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 324.67 ms	Jitter: 7.49 ms	Throughput: 1926.69 kbps
[6/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 277.25 ms	Jitter: 47.42 ms	Throughput: 2169.29 kbps
[7/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 300.35 ms	Jitter: 23.10 ms	Throughput: 1986.91 kbps
[8/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 284.99 ms	Jitter: 15.36 ms	Throughput: 2104.30 kbps
[9/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 290.99 ms	Jitter: 6.00 ms	Throughput: 2060.48 kbps
[10/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 287.34 ms	Jitter: 3.65 ms	Throughput: 2139.67 kbps
[11/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 335.08 ms	Jitter: 47.74 ms	Throughput: 1814.58 kbps
[12/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 333.74 ms	Jitter: 1.34 ms	Throughput: 1766.92 kbps
[13/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 317.99 ms	Jitter: 15.75 ms	Throughput: 1862.88 kbps
[14/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 299.91 ms	Jitter: 18.08 ms	Throughput: 2000.40 kbps
[15/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 314.22 ms	Jitter: 14.31 ms	Throughput: 1920.66 kbps
[16/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 279.68 ms	Jitter: 34.54 ms	Throughput: 2140.41 kbps
[17/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 298.45 ms	Jitter: 18.77 ms	Throughput: 2014.74 kbps
[18/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 301.02 ms	Jitter: 2.57 ms	Throughput: 1991.49 kbps
[19/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 310.81 ms	Jitter: 9.79 ms	Throughput: 1913.09 kbps
[20/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 304.58 ms	Jitter: 6.23 ms	Throughput: 1808.92 kbps
[21/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 289.90 ms	Jitter: 14.68 ms	Throughput: 2032.79 kbps
[22/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 302.30 ms	Jitter: 12.40 ms	Throughput: 1996.72 kbps
[23/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 308.30 ms	Jitter: 6.00 ms	Throughput: 1795.43 kbps
[24/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 319.98 ms	Jitter: 11.68 ms	Throughput: 1798.00 kbps
[25/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 374.99 ms	Jitter: 55.02 ms	Throughput: 1495.83 kbps
[26/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 373.26 ms	Jitter: 1.73 ms	Throughput: 1501.58 kbps
[27/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 307.94 ms	Jitter: 65.32 ms	Throughput: 1897.23 kbps
[28/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 354.03 ms	Jitter: 46.09 ms	Throughput: 1703.36 kbps
[29/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 314.82 ms	Jitter: 39.21 ms	Throughput: 1773.78 kbps
[30/30]	Sukses	anorganik	Latensi: 311.81 ms	Jitter: 3.01 ms	Throughput: 1857.75 kbps

Uji latensi Raspberry Pi dengan Server menggunakan Hotspot

Data ke-1:	Sukses	Latency = 533.44 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "organik", "confidence": 61.93}
Data ke-2:	Sukses	Latency = 888.38 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}
Data ke-3:	Sukses	Latency = 909.66 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}
Data ke-4:	Sukses	Latency = 698.72 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "anorganik", "confidence": 99.45}
Data ke-5:	Sukses	Latency = 718.77 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "anorganik", "confidence": 99.74}
Data ke-6:	Sukses	Latency = 993.62 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}
Data ke-7:	Sukses	Latency = 2011.12 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}
Data ke-8:	Sukses	Latency = 2219.24 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}
Data ke-9:	Sukses	Latency = 721.76 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}
Data ke-10:	Sukses	Latency = 906.05 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}
Data ke-11:	Sukses	Latency = 815.98 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}
Data ke-12:	Sukses	Latency = 630.00 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}
Data ke-13:	Sukses	Latency = 708.46 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}
Data ke-14:	Sukses	Latency = 1115.30 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}
Data ke-15:	Sukses	Latency = 894.76 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}
Data ke-16:	Sukses	Latency = 1203.80 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}
Data ke-17:	Sukses	Latency = 849.70 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}
Data ke-18:	Sukses	Latency = 983.29 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}
Data ke-19:	Sukses	Latency = 1334.95 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}
Data ke-20:	Sukses	Latency = 1214.11 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}
Data ke-21:	Sukses	Latency = 1149.19 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}
Data ke-22:	Sukses	Latency = 986.32 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}
Data ke-23:	Sukses	Latency = 1065.89 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}
Data ke-24:	Sukses	Latency = 1181.56 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}
Data ke-25:	Sukses	Latency = 950.97 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}
Data ke-26:	Sukses	Latency = 893.05 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}
Data ke-27:	Sukses	Latency = 2494.30 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}
Data ke-28:	Sukses	Latency = 950.26 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}
Data ke-29:	Sukses	Latency = 860.01 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}
Data ke-30:	Sukses	Latency = 844.55 ms	Respon VPS: {"status": "sukses", "kategori": "tidak_diketahui", "confidence": 0.0}



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pengujian Derajat Servo

