

PROTOTYPE SISTEM PENYARING SAMPAH PINTAR BERBASIS IOT DENGAN KENDALI JARAK JAUH UNTUK OPTIMALISASI KEBERSIHAN SALURAN AIR

Anggadya Dwi Ananda Putra ^{1*}, As'ad Shidqy Aziz ²

¹⁻²Sarjana Terapan Teknik Listrik, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya

*Penulis Korespondensi: anggadya.22047@unesa.ac.id

Abstract. *The increase in waste volume along with urbanization growth poses challenges in waste management. The sorting process, which still relies on public participation, often faces obstacles in distinguishing between organic and inorganic waste, leading to waste accumulation especially in waterways which can obstruct water flow and increase the risk of flooding. This study aims to design and implement a prototype of a smart waste filtration system based on the Internet of Things (IoT) with remote control to optimize waterway cleanliness. The system uses an ESP32 as the controller for two continuous rotation servo motors on the conveyor and an ESP32-CAM as the waste detection device using the Faster Objects, More Objects (FOMO) model developed through Edge Impulse. The detection results control the sorting servo to separate organic and inorganic waste, while sorting data is sent in real-time to ThingSpeak via WiFi. Testing was conducted on six types of waste: cups, bottles, plastic bags, leaves, twigs, and banana peels, with each object tested 15 times. The detection success rates were 66%, 86%, 66%, 33%, 66%, and 33%, respectively, yielding an average detection success rate of 58%. Actuator testing showed that servo.write(85) produced a duty cycle of 6.9% and a speed of 68.1 RPM on the transport conveyor, while servo.write(75) produced a duty cycle of 6.4% and a speed of 74.0 RPM on the detection line conveyor. The sorting servo at servo.write(40) produced a 150° movement angle, suitable for directing organic waste. The results show that the prototype is capable of integrating object detection, automatic sorting, and IoT-based monitoring, although model optimization and additional dataset expansion are still needed to improve detection accuracy.*

Keywords: *ESP32-Cam, Edge Impulse FOMO, Internet of Things (IoT) ThingSpeak, Automatic Waste Sorting*

Abstrak. Peningkatan volume sampah seiring pertumbuhan urbanisasi menimbulkan tantangan dalam pengelolaannya. Proses pemilahan yang masih bergantung pada partisipasi masyarakat sering kali menghadapi kendala dalam membedakan sampah organik dan anorganik, sehingga penumpukan sampah, terutama pada saluran air, dapat menghambat aliran air dan meningkatkan risiko banjir. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan prototipe sistem penyaring sampah pintar berbasis Internet of Things (IoT) dengan kendali jarak jauh untuk mengoptimalkan kebersihan saluran air. Sistem menggunakan ESP32 sebagai pengendali dua motor servo continuous pada conveyor dan ESP32-CAM sebagai perangkat pendeteksi jenis sampah menggunakan model Faster Objects, More Objects (FOMO) yang dikembangkan melalui Edge Impulse. Hasil deteksi mengendalikan servo pemilah untuk memisahkan sampah organik dan anorganik, sedangkan data penyortiran dikirim secara real-time ke ThingSpeak melalui WiFi. Pengujian dilakukan terhadap enam jenis sampah, yaitu gelas, botol, kantong kresek, daun, ranting, dan kulit pisang, dengan masing-masing objek diuji sebanyak 15 kali. Tingkat keberhasilan deteksi berturut-turut sebesar 66%, 86%, 66%, 33%, 66%, dan 33%, sehingga diperoleh rata-rata keberhasilan deteksi sebesar 58%. Pengujian aktuator menunjukkan servo.write(85) menghasilkan duty cycle 6,9% dan kecepatan 68,1 RPM pada conveyor pengangkutan, sedangkan servo.write(75) menghasilkan duty cycle 6,4% dan kecepatan 74,0 RPM pada conveyor jalur deteksi. Servo pemilah pada servo.write(40) menghasilkan sudut gerak 150° yang sesuai untuk mengarahkan sampah organik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe mampu mengintegrasikan deteksi objek, penyortiran otomatis, dan pemantauan berbasis IoT, meskipun optimasi model dan penambahan dataset masih diperlukan untuk meningkatkan akurasi deteksi.

Kata kunci: Esp32-Cam, Edge Impulse FOMO, Internet of Things (IoT) ThingSpeak, Penyortiran Sampah Otomatis,

1. LATAR BELAKANG

Peningkatan jumlah penduduk, urbanisasi, dan perubahan pola konsumsi menyebabkan volume sampah terus meningkat sehingga menjadi tantangan dalam pengelolaan lingkungan. Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), timbunan sampah di salah satu kota besar di Indonesia pada tahun 2022 mencapai 431.085,22 ton atau sekitar 1,19% dari total timbunan sampah nasional (Rusvinasari et al., 2024). Salah satu dampaknya adalah penumpukan sampah pada saluran air yang menghambat aliran air dan meningkatkan risiko banjir. Proses pemilahan sampah masih bergantung pada partisipasi masyarakat sehingga sering mengalami kendala dalam membedakan sampah organik dan anorganik (Zaman et al., 2025). Di sisi lain, pembersihan saluran air umumnya masih dilakukan secara manual oleh petugas PPSU maupun menggunakan rak sampah. Meskipun sederhana, penggunaan rak sampah berpotensi menghambat aliran sungai sehingga meningkatkan risiko banjir (Sudarsana et al., 2021). Oleh karena itu, diperlukan solusi yang lebih efektif, aman, dan berkelanjutan dalam pengelolaan sampah pada saluran air.

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memberikan peluang untuk meningkatkan efisiensi sistem pengelolaan sampah melalui pemantauan dan pengendalian secara otomatis (Mauludi, 2025). Berbagai penelitian telah memanfaatkan mikrokontroler seperti ESP32, ESP8266, dan ESP32-CAM dalam sistem pengelolaan sampah, baik untuk pemilahan, pemantauan, maupun deteksi kepatuhan masyarakat dalam membuang sampah (Mauludi, 2025; Swarga et al., 2024; Yuskar, 2024). Namun, sebagian besar penelitian masih menggunakan sensor proximity induktif dan kapasitif sebagai media deteksi. Sensor tersebut kurang sesuai untuk lingkungan saluran air karena sampah yang basah memiliki nilai kapasitansi tinggi sehingga dapat menurunkan kemampuan sensor dalam membedakan jenis sampah (Agustya et al., 2020).

Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem pengangkut sampah otomatis pada saluran air menggunakan Arduino UNO dan sensor ultrasonik (Saripuddin et al., 2021), sistem pemantauan dan pengangkut sampah berbasis ATmega328 yang dipadukan dengan sensor ultrasonik, motor servo, dan modul SIM800L (Elvina et al., 2022), serta alat pengambil sampah sungai berbasis IoT menggunakan Wemos D1, sensor proximity, dan platform pemantauan jarak jauh (Hartanto, 2025). Meskipun demikian, sistem-sistem tersebut umumnya masih berfokus pada proses pengangkutan atau pemantauan sampah, sedangkan kemampuan untuk memilah sampah secara otomatis berdasarkan jenisnya masih terbatas. Selain itu, integrasi deteksi objek berbasis visi komputer dengan mekanisme pemilahan dan pemantauan IoT pada sistem penyaring sampah saluran air masih jarang dilaporkan.

Berdasarkan permasalahan dan kesenjangan penelitian tersebut, penelitian ini mengusulkan prototipe sistem penyaring sampah pintar berbasis Internet of Things (IoT) dengan kendali jarak jauh untuk mengoptimalkan kebersihan saluran air. Sistem memanfaatkan dua mikrokontroler, yaitu ESP32 sebagai pengendali dua motor servo continuous pada conveyor dan ESP32-CAM sebagai perangkat pendeteksi jenis sampah menggunakan model Faster Objects, More Objects (FOMO) yang dikembangkan melalui platform Edge Impulse. Hasil deteksi digunakan untuk mengendalikan servo pemilah sehingga sampah dapat dipisahkan menjadi kategori organik dan anorganik, sedangkan data hasil penyortiran dikirim secara real-time ke platform ThingSpeak melalui jaringan

WiFi. Integrasi deteksi berbasis visi komputer, mekanisme penyaringan dan pemilahan otomatis, serta pemantauan IoT diharapkan menjadi kontribusi utama penelitian ini dalam meningkatkan efektivitas pengelolaan sampah pada saluran air.

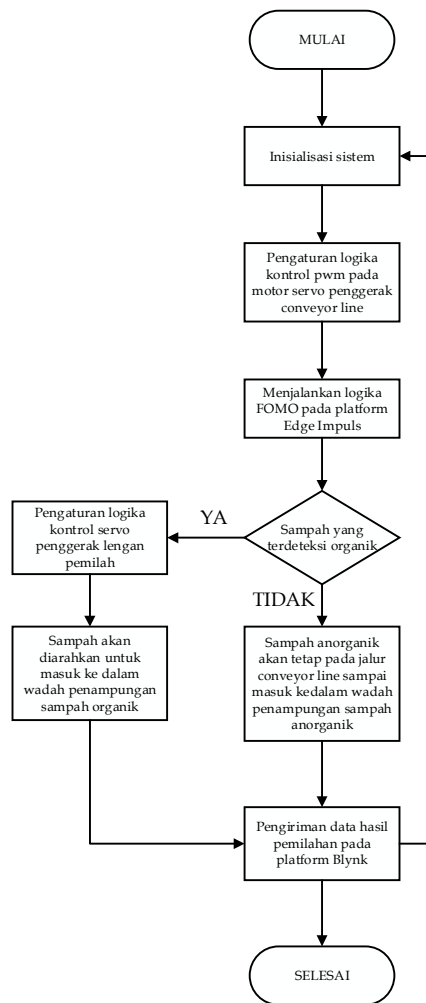
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development*(R&D), (*Research and Development*) merujuk pada serangkaian proses atau langkah-langkah terstruktur yang bertujuan untuk mengembangkan produk baru atau menyempurnakan produk yang sudah ada. R&D dimanfaatkan untuk mengembangkan dan memvalidasi produk pendidikan. Siklus proses ini biasanya mencakup mempelajari temuan penelitian yang relevan, mengembangkan produk berdasarkan temuan tersebut, menguji produk di lapangan, dan kemudian merevisi produk untuk memperbaiki segala kekurangan yang ditemukan selama pengujian lapangan (Judijanto *et al*, 2024). Pada penelitian ini, metode *Research and Development* (R&D) digunakan sebagai kerangka kerja yang dimulai dari identifikasi kebutuhan sistem, meliputi kebutuhan penyaringan dan pemilahan sampah pada saluran air, deteksi jenis sampah menggunakan ESP32-CAM dengan model *Faster Objects, More Objects* (FOMO), komunikasi data berbasis WiFi menuju platform *ThingSpeak*, serta pengendalian motor servo pada *conveyor* dan mekanisme pemilah. Tahapan selanjutnya meliputi perancangan, implementasi, dan pengujian prototipe untuk mengevaluasi kinerja deteksi objek, aktuator, dan sistem pemantauan berbasis IoT secara keseluruhan.

Perancangan Alat

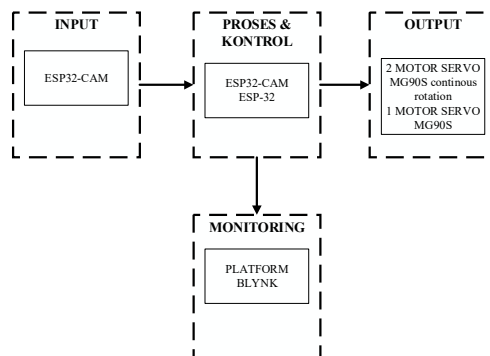
Tahapan ini meliputi perancangan konfigurasi software sistem dan perancangan hardware sistem. Perancangan software dilakukan menggunakan Arduino IDE sebagai lingkungan pemrograman mikrokontroler ESP32 dan ESP32-CAM, sedangkan platform Edge Impulse digunakan untuk membangun dan mengimplementasikan model deteksi objek berbasis algoritma *Faster Objects, More Objects* (FOMO). Tahap awal diawali dengan inisialisasi sistem, meliputi pemanggilan library yang diperlukan pada ESP32 dan ESP32-CAM serta konfigurasi koneksi WiFi untuk komunikasi data dengan platform ThingSpeak. Selanjutnya dilakukan pembuatan logika kontrol untuk mengatur sinyal PWM pada motor servo continuous A dan C yang berfungsi mengendalikan arah putaran dan kecepatan *conveyor* pengangkutan serta jalur deteksi sampah. Proses pemilahan dilakukan oleh ESP32-CAM menggunakan model FOMO untuk mengidentifikasi jenis sampah. Berdasarkan hasil deteksi, sistem mengendalikan servo B sebagai portal pemilah sehingga sampah organik diarahkan ke wadah penampungan organik, sedangkan sampah anorganik tetap mengikuti jalur conveyor menuju wadah penampungan anorganik. Selain itu, ESP32-CAM menghitung jumlah sampah organik dan anorganik yang terdeteksi, kemudian mengirimkan data tersebut secara real-time ke platform *ThingSpeak* untuk ditampilkan dalam bentuk visualisasi sebagai media pemantauan jarak jauh. Alur kerja konfigurasi software sistem ditunjukkan pada Gambar 1.

PROTOTIPE SISTEM PENYARING SAMPAH PINTAR BERBASIS IOT DENGAN KENDALI JARAK JAUH UNTUK OPTIMALISASI KEBERSIHAN SALURAN AIR



Gambar 1. Flowchart alur kerja software

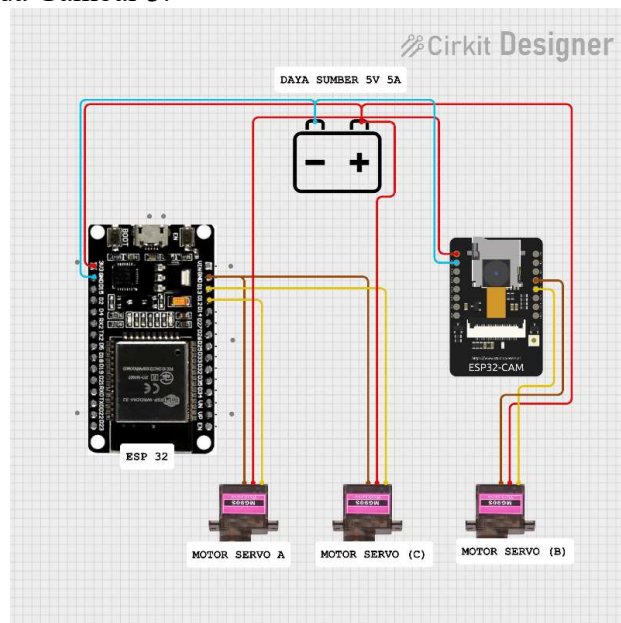
Selanjutnya dilakukan perancangan *hardware* yang meliputi perancangan rangkaian elektronika dan koneksi antar komponen utama sistem. ESP32 digunakan sebagai pusat kendali motor servo A dan servo C, sedangkan ESP32-CAM berfungsi sebagai perangkat pendeteksi objek menggunakan model *Faster Objects, More Objects* (FOMO) sekaligus mengendalikan motor servo B. Sistem menggunakan dua motor servo *continuous* MG90S sebagai penggerak *conveyor line* dan satu motor servo MG90S 180° sebagai penggerak portal pemilah sampah.



Gambar 2. Blok Diagram Sistem

Blok diagram sistem penyaring sampah pintar pada Gambar 2 terdiri atas empat bagian, yaitu input, proses, output, dan monitoring. Pada tahap input, ESP32-CAM mendeteksi objek sampah pada conveyor line. Tahap proses dilakukan oleh ESP32-CAM untuk mengidentifikasi jenis sampah menggunakan model Faster Objects, More Objects (FOMO) dan oleh ESP32 untuk mengendalikan dua motor servo continuous rotation. Pada tahap output, dua motor servo continuous rotation menggerakkan conveyor line, sedangkan motor servo 180° menggerakkan portal pemilah sampah. Selanjutnya, data hasil pemilahan dikirim ke platform ThingSpeak melalui jaringan WiFi untuk ditampilkan sebagai media pemantauan secara real-time.

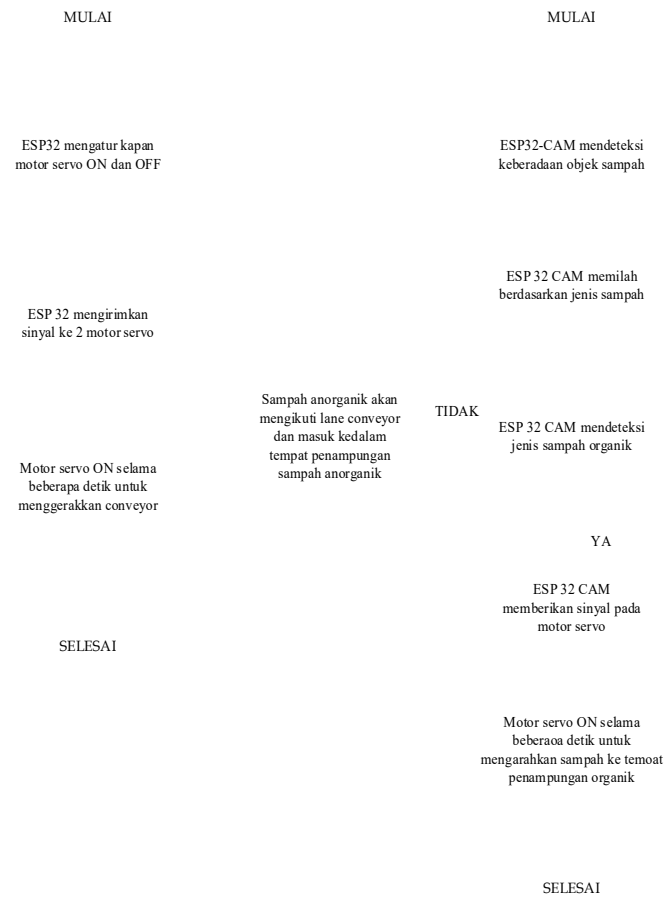
Berdasarkan blok diagram sistem, tahap selanjutnya adalah perancangan wiring untuk menghubungkan seluruh komponen agar sistem dapat beroperasi secara terintegrasi. ESP32 berfungsi sebagai pengendali dua motor servo continuous yang menggerakkan conveyor line, sedangkan ESP32-CAM berperan sebagai pendeteksi jenis sampah menggunakan model Faster Objects, More Objects (FOMO) sekaligus mengendalikan motor servo pemilah. Berdasarkan hasil deteksi, servo pemilah akan mengarahkan sampah organik ke wadah penampungan organik, sedangkan sampah anorganik tetap mengikuti jalur conveyor menuju wadah penampungan anorganik. Pengendalian motor servo dilakukan menggunakan sinyal Pulse Width Modulation (PWM) untuk mengatur pergerakan aktuator sesuai logika sistem. Rancangan wiring sistem ditunjukkan pada Gambar 3.



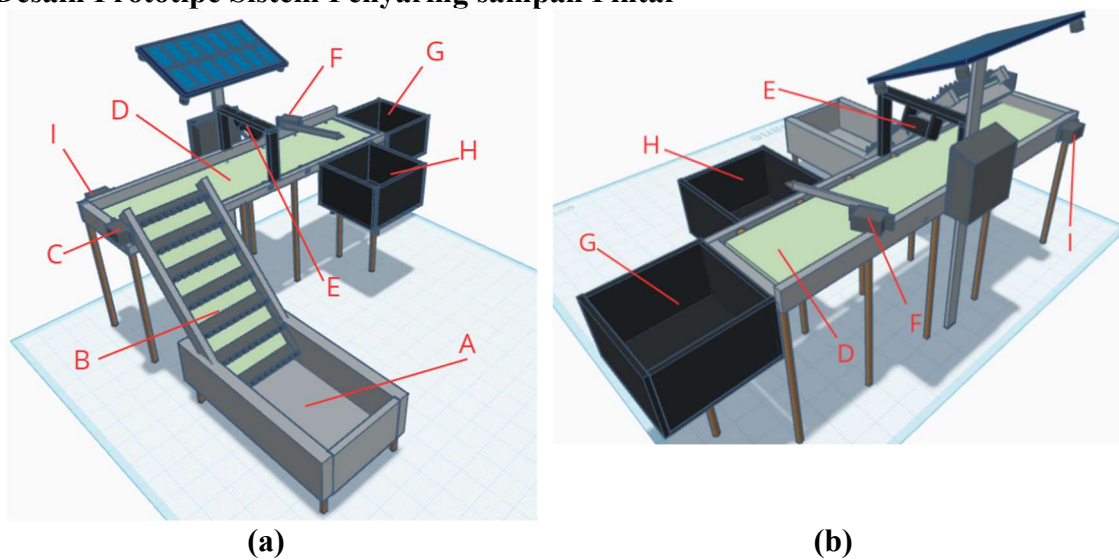
Gambar 3. Wiring Diagram Komponen

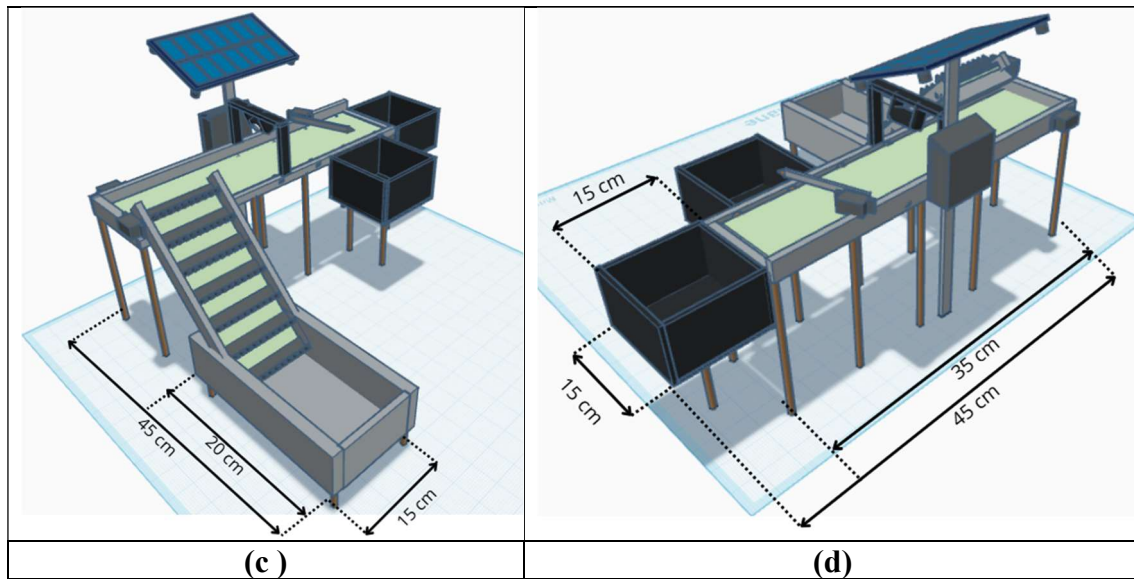
Perancangan pemrograman dilakukan untuk mengintegrasikan proses kendali, deteksi objek, dan pemilahan sampah pada sistem. ESP32 memperoleh catu daya dari modul 3 V 3 A dan berfungsi mengendalikan dua motor servo continuous sebagai penggerak conveyor, sedangkan ESP32-CAM memperoleh catu daya dari modul 5 V 5 A serta berperan mendeteksi jenis sampah menggunakan model Faster Objects, More Objects (FOMO) sekaligus mengendalikan motor servo pemilah. Berdasarkan hasil deteksi, servo pemilah akan mengarahkan sampah organik ke wadah penampungan organik, sedangkan sampah anorganik tetap mengikuti jalur conveyor menuju wadah penampungan anorganik. Alur perancangan pemrograman sistem ditunjukkan pada Gambar 4 berikut.

PROTOTIPE SISTEM PENYARING SAMPAH PINTAR BERBASIS IOT DENGAN KENDALI JARAK JAUH UNTUK OPTIMALISASI KEBERSIHAN SALURAN AIR



Gambar 4. Flowchart Alur Kerja Sistem Desain Prototipe Sistem Penyaring sampah Pintar





Keterangan:

- A: Wadah air (simulasi aliran air)
- B: Conveyor line A
- C: Motor servo A
- D: Conveyor line B
- E: ESP32-CAM
- F: Motor servo B
- G: Penampungan sampah anorganik
- H: Penampungan sampah organik
- I: Motor servo C

Gambar 5. Desain Prototipe (a) tampak depan, (b) tampak belakang, (c) detail ukuran prototipe bagian depan, dan (d) detail ukuran prototipe bagian belakang

Gambar 5(a) dan 5(b) memperlihatkan desain prototipe sistem yang dirancang dari dua sudut pandang berbeda untuk memberikan gambaran tata letak dan struktur alat secara keseluruhan. Prototipe mengintegrasikan dua proses utama, yaitu pengangkutan dan pemilahan sampah. Proses pengangkutan menggunakan wadah air, conveyor line A, dan motor servo continuous A, sedangkan proses pemilahan menggunakan conveyor line B, ESP32-CAM sebagai pendeteksi objek, motor servo continuous B sebagai penggerak conveyor, motor servo C sebagai penggerak portal pemilah, serta dua wadah penampungan sampah organik dan anorganik. Dimensi utama prototipe meliputi wadah air berukuran $20 \times 15 \times 7$ cm, conveyor line A berukuran 20×15 cm dengan kemiringan 35° , conveyor line B berukuran 35×15 cm, dan masing-masing wadah penampungan berukuran $15 \times 15 \times 10$ cm. Detail dimensi prototipe ditunjukkan pada Gambar 5(c) dan Gambar 5(d).

Tahap Pengambilan Data

Prosedur pengambilan data diawali dengan penentuan jenis objek sampah yang digunakan sebagai sampel penelitian. Sampah dikelompokkan menjadi dua kategori, yaitu sampah organik yang terdiri atas kulit pisang, daun, dan ranting, serta sampah anorganik yang terdiri atas botol plastik, gelas plastik, dan kantong plastik. Seluruh objek yang digunakan memiliki ukuran maksimum 15 cm agar sesuai dengan dimensi conveyor dan mekanisme pemilahan.

Tahap berikutnya adalah pengambilan data citra menggunakan kamera pada ESP32-CAM sebagai dataset pelatihan model *Faster Objects, More Objects* (FOMO). Pengambilan citra dilakukan dari berbagai sudut pandang untuk meningkatkan kemampuan model dalam mengenali objek pada berbagai posisi di *conveyor*. Selanjutnya, setiap citra diberi anotasi pada platform Edge Impulse dengan menentukan *bounding box* dan label sesuai jenis objek.

Tahap akhir adalah pengujian kinerja sistem melalui beberapa percobaan untuk memperoleh data hasil. Pengujian meliputi evaluasi tingkat keberhasilan deteksi ESP32-CAM dalam mengidentifikasi jenis sampah, pengujian kinerja motor servo *continuous* berdasarkan parameter *duty cycle*, kecepatan putar (RPM), dan *response time*, pengujian sudut gerak motor servo 180° sebagai aktuator portal pemilah, serta pengujian *response time* platform ThingSpeak dalam menampilkan data hasil pemilahan secara *real-time*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian Setelah seluruh tahapan perancangan perangkat keras (hardware) dan pengembangan perangkat lunak (software) selesai dilaksanakan, tahap berikutnya adalah melakukan pengujian sistem secara menyeluruh. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja setiap komponen serta memastikan bahwa seluruh bagian sistem dapat bekerja secara terintegrasi sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Selain itu, pengujian juga dilakukan untuk memverifikasi bahwa prototipe Sistem Penyaring Sampah Pintar Berbasis IoT dengan Kendali Jarak Jauh untuk Optimalisasi Kebersihan Saluran Air mampu menjalankan fungsi deteksi objek, mekanisme penyortiran, dan pengiriman data ke platform ThingSpeak dengan baik. Hasil pengujian ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menilai kesesuaian sistem terhadap spesifikasi teknis yang telah ditetapkan serta mengetahui tingkat keberhasilan implementasi prototipe yang dikembangkan.

Hasil Pengujian Akurasi Esp32-cam

Pengujian akurasi ESP32-CAM dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan objek sampah berdasarkan citra yang ditangkap oleh kamera (Yulita & Afriansyah, 2022). Akurasi merupakan ukuran yang menunjukkan tingkat kesesuaian antara hasil prediksi sistem dengan kondisi sebenarnya. Semakin tinggi nilai akurasi, semakin baik kemampuan model dalam mengenali objek yang diuji. Pada penelitian pengujian akurasi menjadi salah satu parameter penting untuk mengevaluasi performa sistem deteksi objek sebelum diimplementasikan pada kondisi nyata (Arrahma & Mukhaiyar, 2023).

Pada penelitian ini, modul ESP32-CAM berfungsi sebagai perangkat akuisisi citra yang menangkap gambar objek sampah, kemudian mengirimkan citra tersebut ke model klasifikasi untuk menentukan kategori sampah organik, anorganik, atau objek tidak terdeteksi. Pengujian dilakukan terhadap enam jenis objek, yaitu kantong kresek, gelas plastik, botol plastik, daun, ranting, dan kulit pisang. Setiap objek diuji sebanyak 15 kali untuk mengetahui konsistensi sistem dalam mengenali masing-masing objek. Hasil pengujian akurasi deteksi menggunakan ESP32-CAM ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Akurasi Objek
OBJEK BERHASIL TERDETEKSI

Kantong Kresek	Gelas	Botol	Daun	Ranting	Kulit Pisang
Anorganik	Anorganik	Anorganik	Organik	Organik	Objek tidak terdeteksi
Objek tidak terdeteksi	Anorganik	Anorganik	Objek tidak terdeteksi	Organik	Objek tidak terdeteksi
Organik	Anorganik	Anorganik	Anorganik	Organik	Objek tidak terdeteksi
Anorganik	Objek tidak terdeteksi	Anorganik	Organik	Organik	Anorganik
Anorganik	Anorganik	Anorganik	Objek tidak terdeteksi	Objek tidak terdeteksi	Organik
Anorganik	Anorganik	Anorganik	Anorganik	Organik	Organik
Anorganik	Objek tidak terdeteksi	Objek tidak terdeteksi	Organik	Objek tidak terdeteksi	Objek tidak terdeteksi
Objek tidak terdeteksi	Anorganik	Anorganik	Organik	Objek tidak terdeteksi	Anorganik
Objek tidak terdeteksi	Anorganik	Anorganik	Objek tidak terdeteksi	Organik	Objek tidak terdeteksi
Anorganik	Objek tidak terdeteksi	Anorganik	Anorganik	Organik	Anorganik
Organik	Objek tidak terdeteksi	Anorganik	Organik	Organik	Anorganik
Anorganik	Anorganik	Anorganik	Anorganik	Objek tidak terdeteksi	Organik
Anorganik	Anorganik	Objek tidak terdeteksi	Objek tidak terdeteksi	Organik	Anorganik
Anorganik	Anorganik	Anorganik	Objek tidak terdeteksi	Objek tidak terdeteksi	Objek tidak terdeteksi
Anorganik	Objek tidak terdeteksi	Anorganik	Anorganik	Organik	Organik

Pengujian kemampuan ESP32-CAM dalam mendeteksi objek dilakukan untuk mengevaluasi tingkat keberhasilan model *machine learning* yang telah diimplementasikan pada sistem. Setiap jenis objek, yaitu gelas, botol, kantong kresek, daun, ranting, dan kulit pisang, diuji sebanyak 15 kali menggunakan tiga variasi sampel dengan kondisi pengujian yang sama. Variasi sampel diberikan melalui perbedaan warna, bentuk, maupun ukuran agar kemampuan model dalam mengenali karakteristik visual objek dapat dievaluasi. Untuk objek yang memiliki bentuk tidak tetap, seperti kantong kresek, daun, ranting, dan kulit pisang, dilakukan penyesuaian bentuk terlebih dahulu agar lebih konsisten selama proses pengujian.

Berdasarkan hasil pengujian, tingkat keberhasilan deteksi setiap objek menunjukkan nilai yang berbeda. Objek botol memperoleh tingkat keberhasilan tertinggi sebesar 86%, sedangkan gelas, kantong kresek, dan ranting masing-masing mencapai sekitar 66%. Sementara itu, objek daun dan kulit pisang memiliki tingkat keberhasilan

terendah, yaitu sekitar 33%. Selain objek yang berhasil terdeteksi, masih ditemukan beberapa kondisi di mana objek tidak berhasil dikenali maupun mengalami kesalahan klasifikasi, terutama pada objek yang memiliki karakteristik visual yang mirip dengan kelas lain.

Perbedaan tingkat keberhasilan deteksi dipengaruhi oleh beberapa faktor. Salah satu faktor utama adalah kondisi pencahayaan, karena model *machine learning* yang dikembangkan menggunakan *Edge Impulse* mempelajari karakteristik objek berdasarkan dataset hasil pelatihan. Perbedaan intensitas maupun arah pencahayaan antara proses pengambilan dataset dan proses pengujian menyebabkan karakteristik visual objek yang diterima kamera berubah, sehingga proses ekstraksi fitur menjadi kurang optimal dan berdampak pada hasil klasifikasi.

Selain faktor pencahayaan, bentuk, tekstur, dan variasi visual objek juga memengaruhi kemampuan model dalam melakukan identifikasi. Objek dengan bentuk yang tidak beraturan atau mudah berubah, seperti kantong kresek, daun, dan kulit pisang, memiliki karakteristik visual yang pada beberapa kondisi saling menyerupai sehingga menyebabkan kesalahan klasifikasi. Di sisi lain, objek yang memiliki bentuk lebih konsisten, seperti botol, cenderung lebih mudah dikenali oleh model. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa performa sistem tidak hanya dipengaruhi oleh kualitas model, tetapi juga oleh jumlah dan variasi dataset yang digunakan selama proses pelatihan. Oleh karena itu, peningkatan jumlah dataset, penambahan variasi sampel, serta pengambilan citra pada berbagai kondisi pencahayaan perlu dilakukan untuk meningkatkan kemampuan generalisasi model dan menghasilkan tingkat akurasi deteksi yang lebih baik pada penelitian selanjutnya

Hasil Pengujian rpm Motor servo Continuous tanpa beban

Motor servo continuous rotation merupakan jenis motor servo yang telah dimodifikasi sehingga mampu berputar secara kontinu (360°) dengan arah dan kecepatan putar yang dikendalikan menggunakan sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) (Wang *et al* 2026). Berbeda dengan motor servo standar yang mengatur posisi sudut poros, motor servo continuous memanfaatkan perubahan lebar pulsa (*pulse width*) atau nilai PWM untuk mengatur kecepatan serta arah putaran. Oleh karena itu, proses kalibrasi diperlukan untuk mengetahui hubungan antara nilai PWM yang diberikandengan kecepatan putar motor, karena setiap motor servo dapat memiliki karakteristik respons yang berbeda akibat toleransi manufaktur, kondisi mekanis, maupun tegangan catu daya (Baballe, 2022).

Pada penelitian ini, pengujian RPM motor servo continuous tanpa beban dilakukan untuk memperoleh karakteristik kecepatan putar motor terhadap variasi nilai *servo.write()* dan *duty cycle*. Pengujian tanpa beban bertujuan untuk mengetahui performa dasar motor tanpa dipengaruhi oleh beban mekanis dari *conveyor* maupun objek yang diangkut, sehingga hasil kalibrasi dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan nilai *servo.write()* yang sesuai untuk menggerakkan conveyor pada sistem penyortiran sampah otomatis. Kecepatan putar motor diukur menggunakan tachometer pada setiap variasi nilai *servo.write()*, sedangkan nilai *duty cycle* diperoleh melalui perhitungan berdasarkan lebar pulsa (*pulse width*) sinyal PWM. Hasil pengujian RPM motor servo A dan motor servo C tanpa beban disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian rpm Motor servo A dan Motor servo C

<i>Duty Cycle</i>	<i>Nilai Servo Write (Servo A)</i>	RPM Servo (A)	Motor Servo (A)	<i>Nilai Servo Write (Servo C)</i>	RPM Servo (C)	Motor Servo (C)
-------------------	------------------------------------	---------------	-----------------	------------------------------------	---------------	-----------------

7,7	100	60,65	85	65,1
7,5	95	0	80	69,55
7,2	90	60,65	75	74,0
6,9	85	68,1	70	78,45
6,7	80	72,55	65	82,9
6,4	75	77,0	60	87,35

Pengujian motor servo MG90S Continuous dilakukan untuk menentukan nilai servo.write() yang paling sesuai sebagai penggerak kedua conveyor pada sistem. Proses pengujian dilakukan melalui beberapa tahap kalibrasi dengan mengubah nilai servo.write(), kemudian mengamati secara langsung kecepatan pergerakan conveyor hingga diperoleh kondisi yang paling optimal. Penentuan nilai tersebut mempertimbangkan kemampuan conveyor dalam mengangkut objek secara stabil, sehingga objek dapat bergerak tanpa mengalami penumpukan maupun bergerak terlalu cepat selama proses deteksi dan penyortiran.

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh konfigurasi servo.write(85) sebagai pengaturan yang paling sesuai untuk conveyor pengangkutan (conveyor line B), sedangkan servo.write(75) digunakan pada conveyor jalur deteksi objek. Nilai servo.write(85) menghasilkan pulse width sebesar 1397,22 μ s, duty cycle sebesar 6,9%, serta kecepatan putar 68,1 RPM berdasarkan hasil pengukuran menggunakan tachometer. Sementara itu, servo.write(75) menghasilkan duty cycle sebesar 6,4% dengan kecepatan putar 74,0 RPM. Nilai duty cycle diperoleh melalui proses konversi nilai servo.write() menjadi pulse width, kemudian dihitung menggunakan persamaan duty cycle pada frekuensi kerja 50 Hz (Bennett, 2017).

$$Pulse\ width = Min\ pulse + \frac{0}{180} (max\ pulse - min\ pulse)$$

$$Duty\ cycle = \frac{lebar\ pulsa}{periode} \times 100\%$$

Konfigurasi tersebut dinilai telah memenuhi kebutuhan sistem. Kecepatan conveyor pengangkutan mampu mengalirkan objek menuju area penyortiran secara stabil, sedangkan conveyor pada jalur deteksi memberikan waktu yang cukup bagi ESP32-CAM untuk melakukan proses akuisisi citra, inferensi model, dan pengambilan keputusan sebelum objek mencapai mekanisme penyortiran. Dengan demikian, kedua nilai servo.write() yang diperoleh melalui proses kalibrasi dipilih sebagai konfigurasi optimal untuk mendukung kinerja sistem secara keseluruhan.

Hasil pengujian juga menunjukkan adanya perbedaan nilai kecepatan putar (RPM) antara kedua motor servo meskipun menggunakan tipe yang sama, yaitu MG90S Continuous. Perbedaan tersebut merupakan kondisi yang wajar karena hubungan antara sinyal PWM dan kecepatan putar dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti beban mekanis, tegangan catu daya, karakteristik gearbox, toleransi manufaktur motor, serta driver internal servo. Oleh karena itu, proses kalibrasi dilakukan pada masing-masing servo agar kecepatan conveyor yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan sistem dan mampu mendukung proses deteksi serta penyortiran secara optimal.

Hasil pengujian arah sudut motor servo

Motor servo merupakan aktuator yang mampu mengatur posisi poros secara presisi berdasarkan sinyal Pulse Width Modulation (PWM). Perubahan nilai servo.write() akan menghasilkan variasi lebar pulsa (pulse width) yang memengaruhi sudut putaran servo. Oleh karena itu, pengujian sudut servo diperlukan untuk menentukan nilai servo.write() yang mampu menghasilkan posisi pintu pemilah sesuai dengan kebutuhan sistem (Hilal & Manan, 2015). Hasil pengujian arah sudut motor servo ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian arah sudut motor servo

Nilai Servo <i>Write</i>	<i>Duty Cycle</i>	Arah sudut motor servo
90	7,2	100°
80	6,7	110°
70	6,1	122°
60	5,6	131°
50	5,1	142°
40	4,6	150°

Pada sistem prototipe sampah pintar yang dikembangkan, motor servo MG90S yang digunakan sebagai penggerak pintu pemilah sampah diatur menggunakan nilai servo.write(40) seperti yang tertera pada tabel 4.9. Nilai tersebut diperoleh melalui proses pengujian dan kalibrasi untuk mendapatkan arah gerak pintu pemilah yang paling sesuai dengan kebutuhan sistem. Pengaturan ini dipilih karena mampu menghasilkan arah sudut yang dianggap optimal, sehingga pintu pemilah dapat mengarahkan objek organik kedalam wadah penampungan sampah organik.

Berdasarkan hasil pengujian, nilai servo.write(40) menghasilkan duty cycle sebesar 4,6. Selanjutnya, arah gerak sudut pintu pemilah diukur menggunakan busur agar diketahui derajat yang di dapat. Seperti yang tertera pada tabel 4.9, nilai sudut yang di dapatkan sebesar 150°. Nilai sudut yang diperoleh merupakan hasil pengukuran menggunakan alat ukur busur.

Hasil pengujian keberhasilan sistem

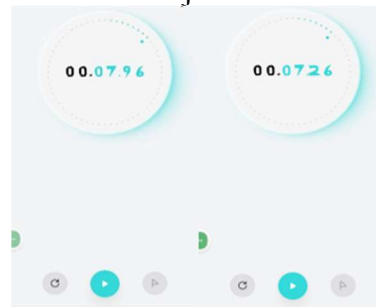
Subbab hasil pengujian keberhasilan sistem membahas dua parameter utama, yaitu waktu respons (*response time*) sistem dan keberhasilan ESP32-CAM dalam mengirimkan hasil deteksi ke platform ThingSpeak. Pengukuran *response time* dilakukan dengan menghitung selang waktu sejak objek sampah mulai memasuki area conveyor line pada proses pemilahan hingga objek tersebut berhasil dipilah sesuai dengan kategori yang telah ditentukan. Selain itu, pengujian juga dilakukan untuk memastikan bahwa hasil deteksi objek dapat dikirim dan ditampilkan pada platform ThingSpeak sebagai media pemantauan sistem secara *real-time*.

Tabel 4. Hasil pengujian keberhasilan sistem

Objek Sampah	<i>Respond Time</i>	Berhasil ditampilkan pada <i>ThingSpeak</i>
Daun	7,26	Berhasil
Ranting	7,96	Berhasil
Botol	8,10	Berhasil

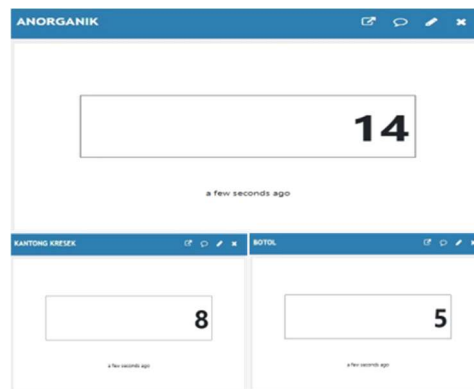
Gelas	8,18	Berhasil
Kantong plastik	8,05	Berhasil
Kulit pisang	7,44	Berhasil

Pengujian *response time* dilakukan dengan mengukur waktu sejak objek memasuki area conveyor line proses pemilahan hingga objek berhasil masuk ke wadah sampah yang sesuai. Seperti yang terlihat pada gambar 4.32, pengukuran menggunakan fitur *stopwatch* pada telepon seluler dengan satuan detik. Berdasarkan Tabel 4.10, objek daun memiliki *response time* sebesar 7,26 detik, sedangkan objek ranting 7,96 detik. Perbedaan waktu yang relatif kecil tersebut dipengaruhi oleh karakteristik bentuk objek, di mana objek terkadang bergesekan dengan dinding conveyor atau pintu pemilah sehingga sedikit menghambat proses pemilahan. Pada objek anorganik, seperti botol dan gelas, *response time* juga berbeda dibandingkan objek organik. Hal ini disebabkan oleh bentuk objek yang cenderung membulat sehingga dapat menggelinding di atas conveyor, serta posisi wadah sampah anorganik yang berada di ujung conveyor, sehingga waktu yang dibutuhkan objek untuk mencapai wadah menjadi sedikit lebih lama.



Gambar 6. *Stopwatch* hasil *respond time*

Pada prototipe sampah pintar ini akan menggunakan platform *thingspeak* sebagai monitoring hasil pengujian atau pemilahan objek sampah. Yang dimana keberhasilan sistem dalam mendeteksi objek sudah dijelaskan pada sub-sub bab 4.4.1. dalam sub bab ini hanya akan membahas keberhasilan *thingspeak* dalam menampilkan hasil deteksi yang telah dilakukan. Dapat dilihat pada tabel 4.10, jika semua objek berhasil ditampilkan pada dashboard *thingspeak*. Jika dilihat pada gambar 4.33, platform *thingspeak* berhasil menampilkan hasil deteksi dan menampilkan pada dashboard nya, di dalam dashboard *thingspeak* terdapat 2 indikator, yaitu indikator kategori dan jenis, untuk indikator kategori merupakan indikator utama yang berisi parameter organik dan anorganik, lalu untuk indikator jenis berisi parameter tiap objek seperti daun, gelas, dan botol. yang dimana jika objek terdeteksi adalah botol maka parameter yang bertambah adalah indikator kategori anorganik dan indikator jenis botol, begitu pula untuk objek yang lain.



Gambar 7. Hasil *dashboard thingspeak*

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa prototipe Sistem Penyaring Sampah Pintar Berbasis Internet of Things (IoT) dengan Kendali Jarak Jauh untuk Optimalisasi Kebersihan Saluran Air berhasil direalisasikan sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem mampu mengintegrasikan proses deteksi objek menggunakan ESP32-CAM dengan model FOMO berbasis Edge Impulse, mekanisme penyortiran menggunakan motor servo, serta pemantauan hasil penyortiran secara real-time melalui platform ThingSpeak.

pengujian menunjukkan bahwa kemampuan deteksi objek oleh ESP32-CAM masih bervariasi pada setiap jenis sampah. Tingkat keberhasilan deteksi diperoleh sebesar 66% untuk objek gelas, 86% untuk botol, 66% untuk kantong kresek, 33% untuk daun, 66% untuk ranting, dan 33% untuk kulit pisang, sehingga diperoleh rata-rata tingkat keberhasilan deteksi sebesar 58%. Perbedaan tingkat keberhasilan tersebut dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan, jumlah dan variasi dataset pelatihan, serta karakteristik visual setiap objek, seperti bentuk, warna, tekstur, dan perubahan bentuk selama proses pengujian. Meskipun demikian, sistem telah mampu melakukan identifikasi dan klasifikasi sampah organik maupun anorganik sesuai mekanisme yang dirancang.

Pengujian aktuator menunjukkan bahwa proses kalibrasi motor servo berhasil menghasilkan kecepatan conveyor yang sesuai dengan kebutuhan sistem. Pada conveyor pengangkutan digunakan konfigurasi `servo.write(85)` yang menghasilkan duty cycle 6,9% dengan kecepatan 68,1 RPM, sedangkan pada conveyor jalur deteksi digunakan konfigurasi `servo.write(75)` yang menghasilkan duty cycle 6,4% dengan kecepatan 74,0 RPM. Selain itu, pengujian motor servo pemilah menunjukkan bahwa konfigurasi `servo.write(40)` menghasilkan sudut gerak sebesar 150°, sehingga mampu mengarahkan sampah organik menuju wadah penampungan dengan baik. Perbedaan nilai RPM antarservo masih berada pada kondisi yang wajar karena dipengaruhi oleh karakteristik mekanis dan toleransi masing-masing motor servo.

Berdasarkan pengujian keberhasilan sistem secara keseluruhan, prototipe mampu melakukan proses pemilahan sampah secara otomatis dengan response time sekitar 7–8 detik, dihitung sejak objek memasuki area deteksi hingga berhasil masuk ke wadah penampungan. Seluruh hasil deteksi juga berhasil dikirim dan ditampilkan pada dashboard ThingSpeak secara real-time sesuai kategori dan jenis objek yang dikenali. Hal ini menunjukkan bahwa sistem telah mampu mengintegrasikan proses deteksi, penyortiran, dan monitoring berbasis IoT sesuai dengan rancangan penelitian.

Meskipun sistem telah bekerja sesuai tujuan penelitian, peningkatan performa masih diperlukan, terutama pada aspek akurasi deteksi. Pengembangan selanjutnya dapat

dilakukan dengan menambah jumlah dan variasi dataset, memperkaya kondisi pencahayaan saat proses pelatihan, serta mengoptimalkan parameter pelatihan model Edge Impulse agar kemampuan generalisasi model menjadi lebih baik dan akurasi deteksi meningkat pada berbagai kondisi pengujian

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Teknik Listrik Universitas Negeri Surabaya yang telah memberikan dukungan selama pelaksanaan penelitian. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada dosen pembimbing serta semua pihak yang telah memberikan arahan, masukan, dan bantuan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR REFERENSI

- Agustya, A. F., & Fahrudi, A. (2020, September). Rancang Bangun Alat Otomatis Pemilah Sampah Logam, Organik Dan Anorganik Menggunakan Sensor Proximity Induksi Dan Sensor Proximity Kapasitif. In *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan* (Vol. 1, No. 1, pp. 475-480).
- Arrahma, S. A., & Mukhaiyar, R. (2023). Pengujian Esp32-Cam Berbasis Mikrokontroler ESP32. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 4(1), 60-66. <https://doi.org/10.24036/jtein.v4i1.347>
- Baballe, M. A., Bello, M. I., Umar, A. A., Shehu, A. K., Bello, D., & Abdullahi, F. T. (2022, May). Different types of servo motors and their applications. In *1st International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences* (pp. 974-979). <https://orcid.org/0000-0001-9441-7023>
- Bennett, J. K. (2017). ESP32Servo Library.
- Elvina, Y., & Harmadi, H. (2022). Prototipe Sistem Pemantau dan Pengangkat Sampah di Sungai Secara Otomatis Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Fisika Unand*, 11(2), 201-207. <https://doi.org/10.25077/jfu.11.2.201-207.2022>
- Hartanto, S. (2025). Alat Pengambil Sampah Di Sungai Menggunakan Sistem Pemantauan Berbasis Internet of Things. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan (JITET)*, 13(3), 1600-1608. <https://repository.unkris.ac.id/id/eprint/3396>
- Hilal, A., & Manan, S. (2015). Pemanfaatan Motor Servo Sebagai Penggerak Cctv Untuk Melihat Alat-Alat Monitor Dan Kondisi Pasien Di Ruang Icu. *Gema Teknologi*, 17(2). <https://doi.org/10.14710/gt.v17i2.8924>
- Judijanto, L., Muhammadiyah, M. U., Utami, R. N., Suhirman, L., Laka, L., Boari, Y., ... & Yunus, M. (2024). *Metodologi Research and Development: Teori dan Penerapan Metodologi RnD*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Mauludi, P. R. (2025). Implementasi arm robot menggunakan ESP32-CAM untuk pemilah sampah dengan metode CNN (Doctoral dissertation, UIN Sunan Gunung Djati Bandung).
- Rusvinasari, D., & Risnanto, A. S. (2024). Rancangan prediksi volume sampah TPA Kota Semarang dengan pendekatan sistem dinamik. *Journal of Data Science Theory and Application*, 3(1), 14-22. <https://jurnal.universitaspotrabangsa.ac.id/index.php/ijasta/article/view/775>
- Saripuddin, M., Haslinah, A., Ma'ruf, S., & Gunawan, H. (2022). Rancang Bangun Prototype Alat Pengangkut Sampah Otomatis Pada Saluran Air. *ILTEK: Jurnal Teknologi*, 17(01), 32-36.
- Sudarsana, P. B., Winata, I. M. P. A., & Subagia, I. D. A. (2021). Rancang bangun sistem penangkap sampah Daerah Aliran Sungai (DAS) berbasis integrasi screw

- conveyor dan sistem pemantauan menggunakan Internet of Things (IoT). *Jurnal Energi dan Manufaktur* Vol, 14(1), 1-9. <http://ojs.unud.ac.id/index.php/jem>
- Swarga, L. A., Setyadjit, K., Hartayu, R., & Ridho'i, A. (2024). The Pembuatan Sistem Monitoring Filtering Sampah menggunakan IoT Camera di Desa Sajen, Kecamatan Pacet, Kabupaten Mojokerto. *JPM17: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 9(02). <https://doi.org/10.30996/jpm17.v9i02.10837>
- Wang, X., Chu, X., & Yuan, S. (2026). Leakage–friction optimisation of a composite dynamic seal for continuous-rotation electro-hydraulic servo motors using a hybrid PSO–GA algorithm. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 09544089261430079. <https://doi.org/10.1177/09544089261430079>
- Yulita, W., & Afriansyah, A. (2022). Alat Pemantau Keamanan Rumah Berbasis Esp32-Cam. *J. Teknol. dan Sist. Tertanam*, 3(2), 2-10.
- Yuskar, A. F. (2024). PENGGUNAAN MODUL ESP32 CAM FAEDAH PEMBUANGAN SAMPAH SEMBARANGAN GUNA PENERTIBAN DAN KEPATUHAN MASYARAKAT MENGGUNAKAN ARDUINO MEGA 2560 DAN INTERNET OF THINGS (Doctoral dissertation, Universitas Putra Indonesia YPTK).
- Zaman, F. F., & Mubarok, A. S. (2025). PENGEMBANGAN PROTOTIPE SISTEM KLASIFIKASI SAMPAH OTOMATIS BERBASIS ROBOTIKA DENGAN MACHINE LEARNING (STUDI KASUS DINAS LINGKUNGAN HIDUP KABUPATEN KUNINGAN). *Jurnal Fakultas Teknik Kuningan*, 6(1), 8-15.