

---

# Smart Trash Bin Implementation Using Esp32-Cam And Arduino Uno For IoT-Based Trash Type Detection

Micshael Zeens Imanuel Faisan<sup>1)</sup>, Ahmad Fajri<sup>2)</sup>, dan Presa Taruna Oliver<sup>3)</sup> Eka Arriyanti<sup>4)</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Informatika, STMIK Widya Cipta Dharma, <sup>3</sup>Program Studi Sistem Infromasi, STMIK Widya Cipta Dharma

Jl. M. Yamin No.25, Gn. Kelua, Kec. Samarinda Ulu, Kota Samarinda, Kalimantan Timur 75123

E-mail: [2243105@wicida.ac.id](mailto:2243105@wicida.ac.id), <sup>1)</sup>, [AhmadFajri@wicida.ac.id](mailto:AhmadFajri@wicida.ac.id), <sup>2)</sup>, [Presa@wicida.ac.id](mailto:Presa@wicida.ac.id) <sup>3)</sup> [ekaarry@wicida.ac.id](mailto:ekaarry@wicida.ac.id) <sup>4)</sup>

## ABSTRACT

*The integration of automation technology into waste management systems has become a crucial aspect of enhancing the efficiency of precision waste sorting processes. This research aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based Smart Trash Bin prototype integrated with a belt conveyor mechanism to automatically classify waste into metal, plastic, and organic categories at the STMIK Widya Cipta Dharma campus environment. The software development method employed is the prototyping paradigm, encompassing the stages of communication, quick plan, modeling quick design, construction, deployment, delivery, and feedback. The system architecture utilizes a distributed computing approach to optimize data processing. Arduino Uno functions as the primary mechanical actuator controller and physical sensor reader, the ESP32-CAM module is dedicated to visual image capture, while the ESP32 Wrover acts as the data communication center for the Blynk platform. Organic waste identification is processed using an artificial intelligence model trained through Teachable Machine. System testing results indicate that the prototype operates stably and accurately. Physical sensors achieved a 99% success rate in detecting metal and plastic bottles. The artificial intelligence successfully verified organic waste with a confidence level ranging from 90% to 98%. The 15-second timeout security algorithm proved effective in executing fail-safe instructions, and the IoT-based monitoring feature successfully transmitted real-time updates to the Blynk application with a 100% success rate.*

**Keywords:** Smart Trash Bin, Internet of Things, Arduino Uno, ESP32-CAM, Conveyor, Distributed Computing.

---

## Implementasi Smart Trash Bin Menggunakan Esp32-Cam Dan Arduino Uno Untuk Deteksi Jenis Sampah Berbasis Iot

### ABSTRAK

Integrasi teknologi otomatisasi pada sistem manajemen limbah telah menjadi aspek krusial dalam meningkatkan efisiensi proses pemilahan sampah secara presisi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan purwarupa Smart Trash Bin berbasis Internet of Things (IoT) yang terintegrasi dengan mekanisme konveyor sabuk untuk mengklasifikasikan limbah ke dalam kategori logam, plastik, dan organik secara otomatis di lingkungan kampus STMIK Widya Cipta Dharma. Metode pengembangan perangkat keras yang digunakan adalah paradigma prototyping, yang mencakup tahapan komunikasi, perencanaan cepat, pemodelan desain cepat, konstruksi, penyebaran, pengiriman, dan umpan balik. Arsitektur sistem menggunakan pendekatan komputasi terdistribusi untuk mengoptimalkan pemrosesan data. Arduino Uno berfungsi sebagai pengendali utama aktuator mekanik dan pembaca sensor fisik, modul ESP32-CAM didedikasikan untuk penangkapan citra visual, sementara ESP32 Wrover berperan sebagai pusat komunikasi data untuk platform Blynk. Identifikasi sampah organik diproses menggunakan model kecerdasan buatan yang dilatih melalui Teachable Machine. Hasil pengujian sistem menunjukkan bahwa purwarupa beroperasi secara stabil dan akurat. Sensor fisik mencapai tingkat keberhasilan 99% dalam mendeteksi material logam dan botol plastik. Kecerdasan buatan berhasil memverifikasi sampah organik dengan tingkat kepercayaan berkisar antara 90% hingga 98%. Algoritma keamanan timeout 15 detik terbukti efektif dalam menjalankan instruksi pengamanan (*fail-safe*), dan fitur pemantauan berbasis IoT sukses mentransmisikan pembaruan waktu nyata (*real-time*) ke aplikasi Blynk dengan tingkat keberhasilan 100%.

**Kata Kunci:** Smart Trash Bin, Internet of Things, Arduino Uno, ESP32-CAM, Konveyor, Komputasi Terdistribusi

---

### 1. PENDAHULUAN

Penelitian ini difokuskan pada perancangan dan pengembangan purwarupa *Smart Trash Bin* berbasis *Internet of Things (IoT)* yang terintegrasi dengan sistem

konveyor sabuk (*belt conveyor*) untuk mengotomatisasi proses pemilahan sampah di lingkungan kampus STMIK Widya Cipta Dharma. Sistem ini mengimplementasikan perpaduan sensor fisik dan analisis citra digital

(*Computer Vision*) untuk mengklasifikasikan sampah ke dalam kategori logam, organik, dan plastik, serta mendukung pemantauan kapasitas dan notifikasi secara *real-time* melalui aplikasi *mobile*. Pendekatan ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi tata kelola limbah dan mengurangi proses pemilahan manual. Sampah merupakan sisa aktivitas manusia yang dapat menimbulkan pencemaran tanah, air, dan udara apabila tidak dikelola dengan baik. Peningkatan jumlah sampah dipengaruhi oleh pertumbuhan populasi, perubahan pola konsumsi, dan rendahnya kesadaran masyarakat dalam melakukan pemilahan sampah pada tingkat sumber. Penelitian Oni May Nggadi, Hikmah, dan Jakobis J. Messakh (2022) menunjukkan bahwa praktik pembuangan sampah memiliki pengaruh signifikan terhadap pencemaran lingkungan, sehingga diperlukan perbaikan tata kelola sampah secara lebih efektif. Sebagai solusi terhadap permasalahan tersebut, penerapan teknologi *Internet of Things (IoT)* mulai digunakan dalam pengembangan *Smart Trash Bin* otomatis. Penelitian Ade Agung Kurniawan et al. (2024) berhasil mengembangkan sistem pemilah sampah berbasis sensor dan IoT, namun masih memiliki keterbatasan karena hanya menggunakan sensor warna TCS230 dan belum mampu melakukan klasifikasi material secara lebih spesifik, seperti logam. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan pengembangan *Smart Trash Bin* otomatis dengan sistem pemilahan dinamis berbasis konveyor sabuk. Proses pemilahan diawali dengan sensor induktif untuk mendeteksi logam dan sensor ultrasonik untuk mendeteksi botol plastik. Objek yang tidak terdeteksi oleh kedua sensor tersebut akan dipindai menggunakan ESP32-CAM dan dianalisis menggunakan kecerdasan buatan berbasis *Computer Vision* dengan tingkat kepercayaan 90% hingga 98%. Sistem juga menerapkan mekanisme fail-safe berupa batas waktu 15 detik untuk mengarahkan objek yang tidak teridentifikasi ke wadah plastik. Seluruh data kapasitas penampungan kemudian dikirim secara *real-time* ke aplikasi *Blynk* melalui ESP32 Wrover untuk memudahkan pemantauan jarak jauh.

## 2. RUANG LINGKUP

Ruang lingkup penelitian ini meliputi:

### 2.1 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan purwarupa *Smart Trash Bin* berbasis sistem konveyor sabuk menggunakan Arduino Uno sebagai pengendali aktuator mekanis serta ESP32 Wrover sebagai pusat komunikasi data *Internet of Things (IoT)*?
2. Bagaimana mengimplementasikan sistem pemilahan berlapis menggunakan sensor induktif dan ultrasonik sebagai filter awal, serta teknologi *Computer Vision* berbasis *web* melalui tangkapan visual ESP32-CAM untuk mengklasifikasikan sampah secara presisi?
3. Bagaimana merancang sistem pemantauan kapasitas pada setiap wadah penampungan agar dapat menyajikan data jumlah dan status penampungan

sampah secara *real-time* kepada pengguna melalui aplikasi *Blynk*?

### 2.2 Batasan Masalah

1. Purwarupa *Smart Trash Bin* dirancang untuk memproses objek sampah berukuran kecil dengan kapasitas maksimal setara botol plastik 330 ml dan beban maksimal 100 gram per objek. Batasan-batasan penelitian.
2. Sistem pemilahan difokuskan pada kategori sampah logam, plastik, dan organik menggunakan kombinasi sensor fisik dan *Computer Vision*.
3. Proses pemilahan dilakukan secara berurutan dan hanya dapat memproses satu objek sampah dalam satu waktu.
4. Identifikasi visual menggunakan ESP32-CAM dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan ruangan yang stabil dan cukup terang.
5. Monitoring kapasitas penampungan dan pengiriman data *real-time* ke aplikasi *Blynk* bergantung pada koneksi jaringan *Wi-Fi* melalui modul ESP32 Wrover.

### 2.3 Tujuan Penelitian

1. Merancang dan mengimplementasikan purwarupa *Smart Trash Bin* berbasis sistem konveyor sabuk dengan mekanisme penggerak roller kayu yang mengintegrasikan Arduino Uno sebagai pusat kendali aktuator mekanis dan ESP32 Wrover sebagai modul komunikasi data *Internet of Things (IoT)*.
2. Mengimplementasikan sistem pemilahan berlapis menggunakan sensor induktif dan ultrasonik sebagai filter awal untuk mendeteksi sampah logam dan botol plastik, serta teknologi *Computer Vision* berbasis ESP32-CAM untuk memverifikasi sampah organik dengan mekanisme *locking* data selama 3 detik dan algoritma *timeout* 15 detik untuk klasifikasi otomatis ke wadah plastik apabila objek tidak teridentifikasi.
3. Membangun sistem pemantauan kapasitas penampungan limbah pada setiap kompartemen sampah logam, organik, dan plastik secara *real-time* melalui aplikasi *Blynk* menggunakan modul ESP32 Wrover.

### 2.4 Manfaat Penelitian

#### 1. Bagi Pengembangan Ilmu Pengetahuan (Manfaat Akademis)

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam bidang Teknik Informatika, khususnya pada integrasi *Internet of Things (IoT)* dan *Computer Vision*. Sistem ini menunjukkan pembagian beban kerja antara Arduino Uno, ESP32 Wrover, ESP32-CAM, dan *platform* kecerdasan buatan berbasis *web* untuk mendukung proses klasifikasi dan kendali sistem secara bersamaan tanpa terjadinya *bottleneck*.

#### 2. Bagi Lingkungan dan Pengguna Fasilitas (Manfaat Praktis)

3. Penelitian ini menghadirkan solusi pemilahan sampah otomatis melalui integrasi sensor fisik dan deteksi visual untuk mengurangi ketergantungan pada pemilahan manual serta meningkatkan akurasi pemisahan sampah logam, plastik, dan organik guna mendukung pengelolaan lingkungan dan proses daur ulang.
4. **Bagi Pengelola Kebersihan atau Institusi**  
 Penelitian ini menyediakan sistem pemantauan kapasitas limbah secara *real-time* melalui aplikasi *Blynk* sehingga pengelola kebersihan dapat memantau kondisi setiap kompartemen sampah dari jarak jauh dan meningkatkan efisiensi operasional pengangkutan sampah.
5. **Bagi Peneliti**  
 Penelitian ini menjadi sarana implementasi teori rekayasa perangkat lunak, pemrograman, arsitektur IoT, dan elektronika terapan yang telah dipelajari selama perkuliahan serta dapat menjadi dasar pengembangan penelitian selanjutnya terkait sistem pemilahan sampah pintar berbasis kecerdasan buatan

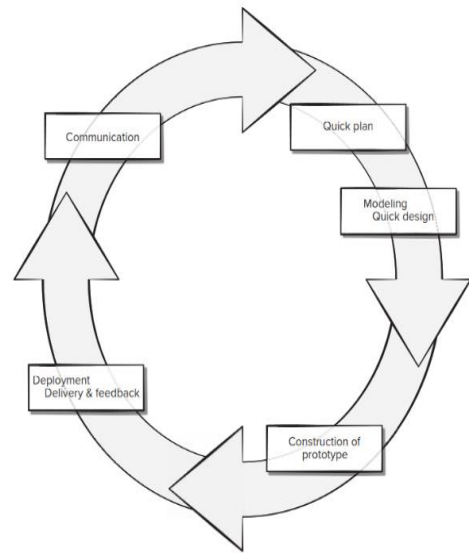
### 3. BAHAN DAN METODE

#### 3.1 Bahan dan Perangkat

Penelitian ini menggunakan beberapa perangkat keras dan perangkat lunak untuk mendukung proses perancangan dan implementasi sistem *Smart Trash Bin* berbasis *Internet of Things (IoT)*. Perangkat keras yang digunakan meliputi Arduino Uno sebagai pengendali utama aktuator dan pembaca sensor, ESP32-CAM sebagai modul pengambilan citra untuk proses identifikasi visual, ESP32 Wrover sebagai pusat komunikasi data IoT, sensor induktif untuk mendeteksi logam, sensor ultrasonik untuk mendeteksi botol plastik, sensor infrared sebagai pemicu dan penghenti konveyor, motor servo sebagai pengarah jalur sampah, serta motor DC dan belt conveyor sebagai mekanisme pemindahan objek sampah. Perangkat lunak yang digunakan terdiri dari Arduino IDE untuk pemrograman mikrokontroler, Visual Studio Code sebagai editor pengembangan program, aplikasi *Blynk* sebagai media monitoring kapasitas sampah secara *real-time*, serta *Teachable Machine* untuk pelatihan model kecerdasan buatan berbasis *Computer Vision*.

#### 3.2 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada pengembangan sistem ini adalah metode *prototyping*. Metode ini digunakan untuk mempermudah proses pengembangan sistem melalui tahapan *Communication*, *Quick Plan*, *Modeling Quick Design*, *Construction of Prototype*, dan *Deployment Delivery & Feedback*. Pendekatan ini dipilih karena mampu memberikan proses pengembangan yang lebih fleksibel terhadap perubahan dan penyempurnaan sistem selama penelitian berlangsung.



Gambar 1. *Prototyping Paradigm*  
 Sumber: (Maxim & Pressman, 2020:27) *Software Engineering A Practitioner's Approach*

#### 3.3 Model Pengembangan Sistem pada Penelitian

Model pengembangan sistem pada penelitian ini menggunakan paradigma *prototyping* yang bersifat iteratif untuk mendukung pengembangan purwarupa *Smart Trash Bin*. Pendekatan ini memberikan fleksibilitas dalam menyinkronkan sistem komputasi terdistribusi pada Arduino Uno, ESP32 Wrover, dan ESP32-CAM, mekanisme belt conveyor, multi sensor fisik, serta integrasi kecerdasan buatan berbasis *web*. Melalui tahapan identifikasi kebutuhan, Quick Plan, Modeling Quick Design, Construction of Prototype, hingga Deployment Delivery & Feedback, sistem dapat diuji dan disempurnakan secara bertahap sehingga purwarupa mampu berkembang menjadi sistem operasional yang reliabel dan optimal.

##### 3.2.1 Communication

Tahap *Communication* merupakan langkah awal penelitian untuk merumuskan tujuan, kebutuhan fungsional, dan batasan operasional purwarupa *Smart Trash Bin* bersama dosen pembimbing dan pengguna di lingkungan STMIK Widya Cipta Dharma. Tahap ini menghasilkan penetapan target pemilahan sampah logam, organik, dan plastik, integrasi notifikasi *real-time* melalui *Blynk*, serta pembagian peran perangkat keras. Arduino Uno digunakan untuk pembacaan sensor dan kendali motor, ESP32-CAM untuk proses visual berbasis kecerdasan buatan, dan ESP32 Wrover sebagai pusat komunikasi data IoT. Tahap ini menjadi dasar dalam menentukan parameter pengujian dan evaluasi sistem.

##### 3.2.2 quick plan

Pada tahap *Quick Plan*, dirumuskan ruang lingkup pengembangan purwarupa untuk menetapkan fitur operasional inti dan alokasi perangkat keras yang digunakan. Tahap ini mencakup penggunaan sensor logam dan ultrasonik sebagai filter klasifikasi awal, serta

dua sensor inframerah sebagai pemicu dan penghenti konveyor pada area pemindaian ESP32-CAM. Arduino Uno digunakan untuk pembacaan sensor dan pengendalian aktuator mekanis, sedangkan ESP32 Wrover berperan sebagai pusat koordinasi komunikasi serial, antarmuka AI berbasis web, dan pengiriman notifikasi ke aplikasi Blynk. Selain itu, tahap ini juga menetapkan parameter evaluasi sistem, meliputi akurasi identifikasi visual dengan *locking* 3 detik, mekanisme *timeout* 15 detik, dan responsivitas keseluruhan sistem.

### 3.2.3 modeling quick design

Tahap *Modeling Quick Design* merupakan fase perancangan awal sistem sebagai dasar pembangunan purwarupa *Smart Trash Bin*. Pada tahap ini disusun diagram blok arsitektur untuk memetakan interkoneksi perangkat keras, meliputi sensor logam, sensor ultrasonik, sensor inframerah, mikrokontroler, dan aktuator mekanis. Selain itu, dirancang flowchart sistem untuk mengatur alur logika pemrosesan data, sinkronisasi komunikasi serial, proses *locking* verifikasi visual selama 3 detik, serta mekanisme *timeout* 15 detik untuk klasifikasi otomatis sampah plastik. Tahap ini juga mencakup perancangan dashboard Blynk untuk pemantauan kapasitas wadah secara *real-time* sebagai acuan dalam proses konstruksi dan pengembangan program sistem

### 3.2.4 construction of prototype

Pada tahap *Construction of Prototype*, dilakukan proses pembangunan dan pengujian sistem untuk memverifikasi logika pemrograman dan alur kerja internal pada arsitektur komputasi terdistribusi. Pengujian dilakukan pada Arduino Uno, ESP32 Wrover, dan antarmuka kecerdasan buatan berbasis web untuk memastikan percabangan kondisi, pembacaan sensor, dan sinkronisasi komunikasi antarperangkat berjalan dengan baik. Pengujian difokuskan pada respons sensor inframerah kedua, mekanisme *locking* verifikasi visual selama 3 detik, serta protokol *timeout* 15 detik untuk klasifikasi otomatis sampah plastik. Selain itu, komunikasi serial asinkron dipantau menggunakan *Serial Monitor* untuk mencegah konflik perintah dan kehilangan data sebelum sistem memasuki tahap evaluasi secara menyeluruh.

### 3.2.5 deployment, delivery And feedback

Tahap *Deployment Delivery & Feedback* merupakan fase evaluasi sistem di STMIK Widya Cipta Dharma melalui pengujian *black-box* dan *white-box* secara menyeluruh. Pengujian *black-box* difokuskan pada validasi fungsi sensor induktif, sensor ultrasonik, sensor infrared 1 sebagai pemicu konveyor, dan sensor infrared 2 sebagai penghenti objek di area pemindaian visual. Sementara itu, pengujian *white-box* dilakukan untuk memverifikasi logika internal sistem, meliputi percabangan kondisi, mekanisme *timeout* 15 detik, *locking* data 3 detik pada antarmuka AI berbasis web, serta stabilitas komunikasi serial antar mikrokontroler. Seluruh proses sistem, termasuk pengiriman notifikasi kapasitas ke aplikasi Blynk secara *real-time*, dianalisis

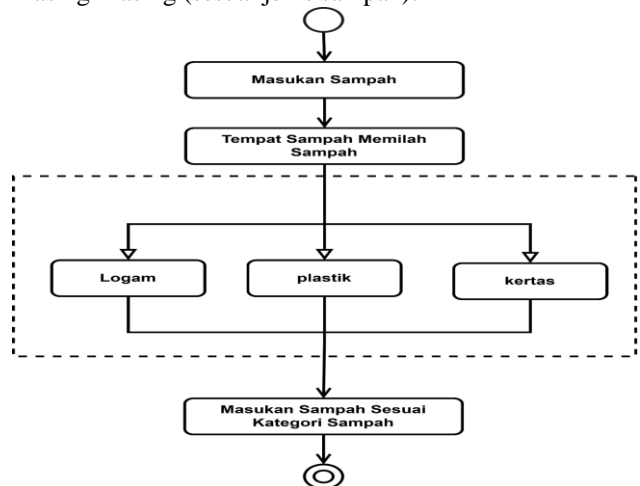
berdasarkan metrik keberhasilan dan waktu respons aktuator untuk mendukung proses penyempurnaan sistem agar lebih presisi dan andal.

### 3.4 Skenario Pengujian Sistem

Skenario pengujian sistem dirancang untuk memvalidasi tingkat keberhasilan, stabilitas, dan reliabilitas purwarupa melalui pengujian *black-box* dan *white-box*. Pengujian meliputi validasi sensor fisik sebagai filter awal, yaitu sensor induktif untuk mendeteksi logam, sensor ultrasonik untuk mengidentifikasi botol plastik, serta sensor infrared 1 sebagai pemicu konveyor bagi objek yang jatuh cepat seperti sampah kertas. Selanjutnya, sensor infrared 2 digunakan sebagai penghenti konveyor di area pemindaian ESP32-CAM untuk mendukung proses verifikasi visual berbasis kecerdasan buatan. Pada aspek perangkat lunak, pengujian *white-box* difokuskan pada mekanisme *locking* data selama 3 detik pada antarmuka AI berbasis web dan efektivitas protokol *timeout* 15 detik sebagai sistem *fail-safe* untuk mengarahkan objek yang tidak teridentifikasi ke wadah plastik. Selain itu, pengujian integrasi IoT dilakukan untuk memastikan stabilitas komunikasi serial antar mikrokontroler dan sinkronisasi pengiriman data kapasitas wadah serta notifikasi *real-time* ke aplikasi Blynk melalui ESP32 Wrover agar seluruh sistem dapat bekerja secara terintegrasi dan andal.

### 3.5 Kerangka Berpikir (Konsep Kecerdasan Sistem )

Pengguna tempat sampah cerdas ini hanya meletakkan sampah ke dalam lubang memasukkan sampah pada tempat sampah, kemudian tempat sampah memilah sendiri sampah sesuai jenisnya : logam, plastik, atau kertas, untuk dimasukkan ke dalam tempatnya masing-masing (sesuai jenis sampah).



Gambar 2. konsep awal kecerdasan sistem

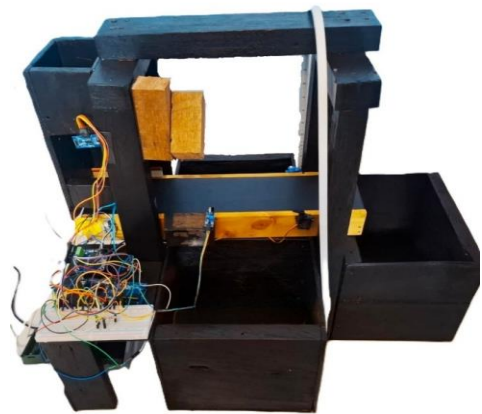
Sistem operasional *Smart Trash Bin* dirancang untuk melakukan pemilahan sampah secara otomatis melalui integrasi sensor fisik, belt conveyor, dan kecerdasan buatan berbasis *Computer Vision*. Proses dimulai ketika objek sampah dimasukkan ke dalam sistem, kemudian sensor induktif mendeteksi material logam dan sensor ultrasonik mendeteksi botol plastik sebagai filter awal.

Jika salah satu sensor aktif, Arduino Uno akan menggerakkan konveyor dan motor servo untuk mengarahkan sampah ke wadah yang sesuai. Apabila objek tidak terdeteksi oleh kedua sensor tersebut, sensor infrared 1 akan memicu konveyor membawa objek menuju area pemindaian visual, kemudian sensor infrared 2 menghentikan objek tepat di bawah ESP32-CAM untuk dilakukan analisis citra menggunakan model kecerdasan buatan *Teachable Machine* dengan mekanisme *locking* data selama 3 detik dan tingkat kepercayaan 90% hingga 98%. Jika objek teridentifikasi sebagai sampah organik, konveyor akan mengarahkan sampah ke wadah tengah tanpa pergerakan servo, sedangkan apabila objek terverifikasi sebagai anorganik atau terjadi kondisi *timeout* selama 15 detik akibat kegagalan klasifikasi visual, sistem secara otomatis mengarahkan sampah ke wadah plastik sebagai mekanisme *fail-safe* untuk mencegah gangguan operasional. Seluruh proses sistem terintegrasi dengan ESP32 Wrover yang mengirimkan data kapasitas wadah dan notifikasi secara *real-time* ke aplikasi *Blynk*. Diagram alir sistem digunakan untuk memetakan alur kerja perangkat keras mulai dari proses deteksi sensor hingga pengiriman data ke aplikasi *Blynk*, termasuk proses pengambilan keputusan pada sistem AI, mekanisme fokus kamera, *locking* data, dan protokol *timeout* 15 detik untuk klasifikasi otomatis sampah plastik

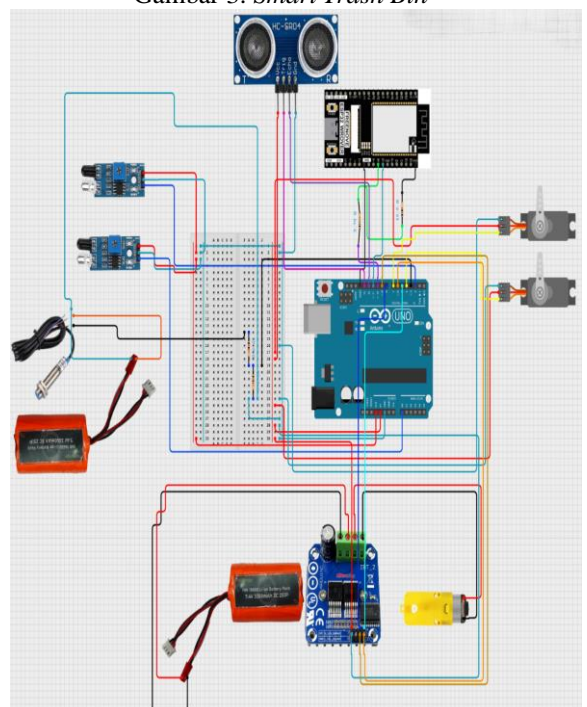
#### 4. PEMBAHASAN

##### 4.1 Perancangan Sistem

Sistem *Smart Trash Bin* dirancang untuk melakukan proses pemilahan sampah secara otomatis menggunakan kombinasi sensor fisik dan analisis citra digital. Proses dimulai ketika objek sampah dimasukkan ke dalam sistem dan melewati sensor induktif untuk mendeteksi material logam serta sensor ultrasonik untuk mendeteksi botol plastik. Apabila objek tidak teridentifikasi oleh kedua sensor tersebut, sensor infrared pertama akan mengaktifkan motor konveyor untuk membawa objek menuju area pemindaian kamera. Ketika objek berada tepat di bawah kamera ESP32-CAM, sensor infrared kedua akan menghentikan konveyor secara otomatis agar proses pengambilan citra dapat dilakukan secara stabil. Selanjutnya sistem melakukan analisis visual menggunakan model kecerdasan buatan berbasis *blynk* untuk mengidentifikasi kategori sampah organik dan plastik. Hasil identifikasi kemudian digunakan sebagai dasar penggerak motor servo untuk mengarahkan objek menuju wadah yang sesuai. Data kapasitas penampungan sampah pada masing-masing kategori dikirimkan secara *real-time* ke aplikasi *Blynk* melalui modul ESP32 Wrover menggunakan koneksi jaringan *Wi-Fi*.



Gambar 3. *Smart Trash Bin*



Gambar 4. Konfigurasi Pin Perangkat Keras

skema rangkaian tersebut mengilustrasikan integrasi antara tiga pemrosesan utama, yaitu Arduino Uno, ESP32-CAM, dan ESP32 Wrover. Seluruh komponen sensor dan aktuator dihubungkan melalui jalur breadboard untuk mendistribusikan daya dari sumber tegangan secara merata. Pada rangkaian tersebut, Arduino Uno berperan sebagai pusat kendali untuk sensor ultrasonik, sensor infra merah, sensor logam, serta penggerak motor konveyor melalui driver BTS7960. Integrasi data antar mikrokontroler dilakukan melalui komunikasi serial, di mana terdapat rangkaian pembagi tegangan (*voltage divider*) yang menggunakan resistor 5.7k Ohm dan 10k Ohm pada jalur kirim data Arduino menuju ESP32 untuk menyesuaikan level logika tegangan. Selain itu, penggunaan dua buah resistor 20k Ohm pada sensor logam berfungsi untuk memastikan stabilitas sinyal masukan pada pin digital Arduino.

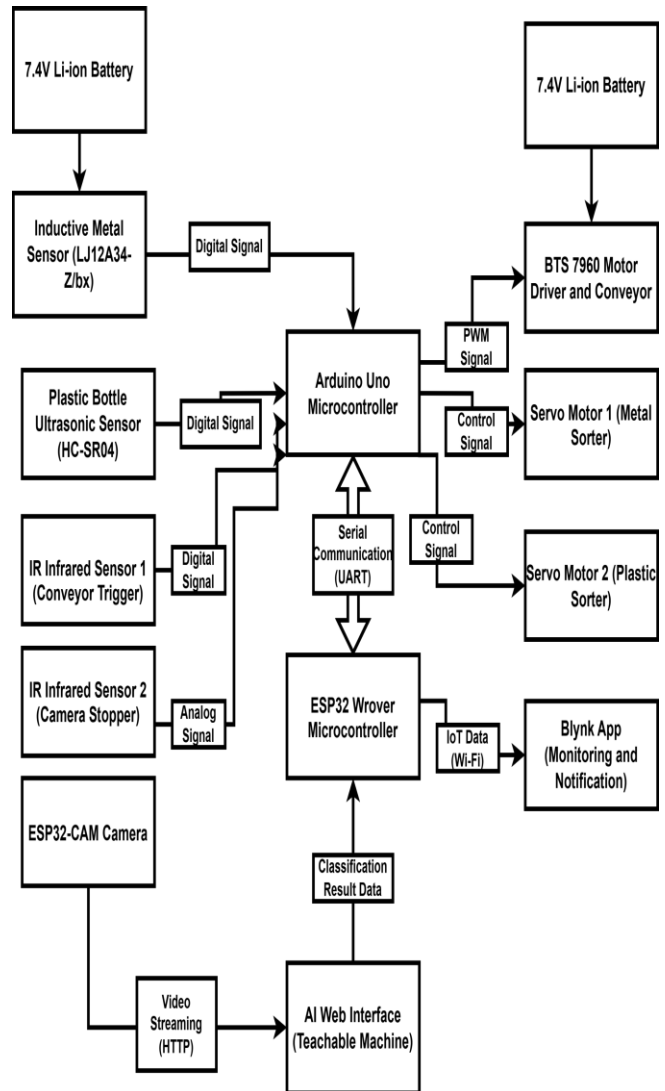
Tabel 1. Konfigurasi Pin *Arduino Uno*

Komponen	Pin Komponen	Sambungan ke Pin Arduino Uno
Sensor Logam	Sinyal (OUT)	Pin Digital 3
Sensor Inframerah 1 (Masuk)	Sinyal (OUT)	Pin Digital 2
Sensor Inframerah 2 (Kamera)	Sinyal (OUT)	Pin Analog A0
Sensor Ultrasonik	TRIG	Pin Digital 13
Sensor Ultrasonik	ECHO	Pin Digital 12
Motor Servo 1 (Logam)	Data (PWM)	Pin Digital 4
Motor Servo 2 (Plastik)	Data (PWM)	Pin Digital 7
Driver Motor Konveyor	RPWM	Pin Digital 5
Driver Motor Konveyor	LPWM	Pin Digital 6
Driver Motor Konveyor	R_EN	Pin Digital 8
Driver Motor Konveyor	L_EN	Pin Digital 9
Koneksi Serial ke ESP32	TX (Kirim), (melalui resistor 5,7k ohm dan (GND 10k Ohm)	Pin Digital 10
Koneksi Serial ke ESP32	RX (Terima)	Pin Digital 11

Tabel 2. Konfigurasi Pin *ESP32 Wrover*

Fungsi Koneksi	Pin Komponen	Sambungan ke Pin ESP32 Wrover
Koneksi Serial ke Arduino	RX2 (Terima)	GPIO 18
Koneksi Serial ke Arduino	TX2 (Kirim)	GPIO 19

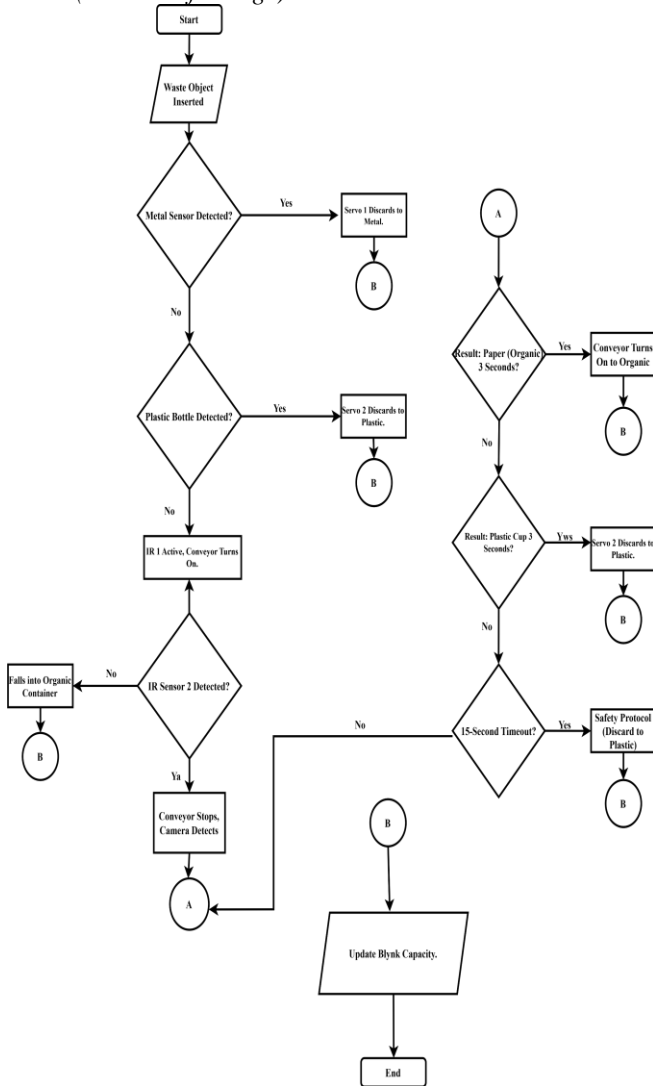
Sumber Daya Utama  
 VCC / VIN  
 Kabel USB  
 Grounding  
 Dari GND Arduino  
 GND



Gambar 5. Diagram blok Sistem Smart Trash Bin

Diagram Blok Sistem *Smart Trash Bin*, mikrokontroler Arduino Uno difungsikan sebagai pusat kendali mekanis. Arduino menerima sinyal dari sensor induktif logam, sensor ultrasonik, dan sensor inframerah (IR 1), lalu mengirimkan sinyal kontrol ke aktuator (motor konveyor dan motor servo). Selain itu, terdapat penggunaan dua buah baterai yang menghasilkan daya 7,4 Volt untuk menyuplai tenaga khusus ke sensor logam dan motor driver agar komponen tersebut dapat bekerja secara optimal. Sementara itu, ESP32-CAM bertugas khusus merekam dan melakukan streaming video ke antarmuka *Web AI (Teachable Machine)*. Hasil klasifikasi dari antarmuka *Web AI* kemudian dikirimkan

ke mikrokontroler ESP32 Wrover. ESP32 Wrover ini bertindak sebagai otak komunikasi yang meneruskan perintah eksekusi ke Arduino Uno melalui komunikasi serial *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (UART)*, sekaligus mengirimkan data kapasitas tempat sampah ke antarmuka aplikasi *Blynk* melalui jaringan *Wi-Fi (Internet of Things)*.



Gambar 6. Flowchart Smart Trash Bin

flowchart Sistem *Smart Trash Bin*, proses operasional diawali menggunakan sensor fisik untuk mendeteksi material logam dan botol plastik secara langsung. Apabila objek lolos dari tahap ini, sensor inframerah pertama (IR 1) akan memicu pergerakan konveyor. Selanjutnya, sensor inframerah kedua (IR 2) bertugas mendeteksi objek untuk menghentikan konveyor tepat di area pemindaian kamera. Sensor IR 2 ini juga berfungsi sebagai jalur filtrasi objek tipis (seperti daun) yang tidak terdeteksi oleh pantulan sensor, sehingga objek tersebut akan langsung diteruskan jatuh ke wadah organik. Pada fase pemindaian kamera, sistem mengimplementasikan mekanisme penguncian data (locking) selama 3 (tiga) detik pada proses verifikasi visual AI guna menjamin akurasi sebelum motor servo bergerak. Sistem juga

dilengkapi dengan protokol keamanan batas waktu (timeout) 15 detik. Jika AI gagal memverifikasi objek dalam batas waktu tersebut, sistem secara otomatis akan mengeksekusi (fail-safe) objek ke wadah plastik agar konveyor kembali steril. Rangkaian siklus ini diakhiri dengan pengiriman update kapasitas wadah penampungan ke aplikasi *Blynk*.

#### 4.2 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan deteksi sensor, akurasi identifikasi visual, dan kestabilan komunikasi data *IoT*. Pengujian sensor induktif dilakukan untuk mendeteksi objek logam, sedangkan sensor ultrasonik digunakan untuk mendeteksi botol plastik. Pengujian *Computer Vision* dilakukan menggunakan ESP32-CAM terhadap objek organik dan plastik dengan tingkat kepercayaan identifikasi berkisar antara 90% hingga 98%. Selain itu, dilakukan pengujian terhadap mekanisme fail-safe dengan batas waktu 15 detik apabila sistem tidak memperoleh hasil identifikasi visual. Pengujian monitoring *IoT* dilakukan dengan mengamati keberhasilan pengiriman data kapasitas penampungan ke aplikasi *Blynk* secara *real-time* melalui jaringan *Wi-Fi*.

Tabel 3 Hasil Pengujian (Black Box)

Testin g Catego ry	Paramet ers / Test Objects	Numb er of Trials	Succe ded	Fa il	Success Percent age
Sensor Fisik	Sensor Induktif (Logam)	3	2	1	99%
	Sensor Ultrasonik (Plastik)	3	2	1	99%
Kamera AI	Sensor IR 1 Pemicu	3	2	1	95%
	Sensor IR 2 Stopper Organik	3	2	1	90%-98%
	Anorganik	3	2	1	90%-98%
<i>IoT</i> dan Jaringan	Pembaruan Kapasitas <i>Blynk</i> Notifikasi Wadah Penuh	3	3	0	100%
		3	3	0	100%

Tabel 4. Hasil Pengujian (White Box)

Testing Category	Independent Path	Number of Trials	Success	Fail	Success Percent age
Algoritma Timeout 15 Detik (Arduino Uno)	Eksekusi normal pembacaan AI (Sistem menerima data serial sebelum batas 15 detik, <i>break loop</i> berjalan).	3	3	0	99%
	Eksekusi <i>Fail-Safe</i> Plastik (Sistem gagal menerima instruksi AI, kondisi $\text{millis}() > 15000$ terpenuhi mutlak).	3	3	0	99%
Algoritma Locking 3 Detik (Web AI)	Penolakan fluktuasi data (Kondisi <i>confidence score</i> < 0.90 tereksekusi, <i>timer locking</i> otomatis di-reset).	3	2	1	95%
	Konfirmasi data sukses (Kondisi <i>timeLeft</i> <= 0 terpenuhi tanpa terputus, instruksi <i>sendToWrapper</i> dieksekusi)	3	2	1	99%

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian mengenai purwarupa *Smart Trash Bin* berbasis *Internet of Things (IoT)* ini telah berhasil menyelesaikan tahapan perancangan, implementasi, dan

pengujian sistem secara menyeluruh. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu bekerja secara otomatis untuk memilah sampah logam, organik, dan plastik melalui integrasi sensor fisik dan kecerdasan buatan. Seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak dapat beroperasi secara sinkron sesuai logika sistem yang dirancang. Berikut kesimpulan dari penelitian ini:

1. Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan purwarupa *Smart Trash Bin* berbasis belt conveyor menggunakan arsitektur komputasi terdistribusi antara Arduino Uno dan ESP32 Wrover sehingga proses pemilahan dapat berjalan tanpa *bottleneck*.
2. Sistem pemilahan hibrid menggunakan sensor fisik dan *Computer Vision* berhasil bekerja dengan tingkat akurasi tinggi. Sensor induktif dan ultrasonik mampu mendeteksi logam dan botol plastik dengan tingkat keberhasilan 99%, sedangkan ESP32-CAM mampu memverifikasi sampah organik dengan tingkat kepercayaan 90% hingga 98%.
3. Mekanisme keamanan berupa algoritma *timeout* 15 detik dan *locking* data 3 detik berhasil menjaga stabilitas alur kerja sistem sehingga proses pemilahan tetap berjalan meskipun terjadi kegagalan deteksi visual.
4. Sistem monitoring berbasis *Internet of Things (IoT)* melalui aplikasi *Blynk* berhasil mengirimkan data kapasitas dan notifikasi secara *real-time* dengan tingkat keberhasilan 100%, sehingga mendukung pemantauan pengelolaan sampah jarak jauh secara andal.

#### 5. SARAN

Meskipun purwarupa *Smart Trash Bin* telah berfungsi sesuai tujuan penelitian, masih terdapat beberapa aspek yang dapat dikembangkan untuk meningkatkan performa sistem pada penelitian selanjutnya. Beberapa saran pengembangan yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Optimasi Pencahayaan  
Penambahan sistem pencahayaan internal seperti *LED ring* pada area pemindaian disarankan untuk menjaga stabilitas deteksi visual ESP32-CAM pada berbagai kondisi pencahayaan lingkungan.
2. Peningkatan Dataset AI  
Model kecerdasan buatan dapat dikembangkan dengan menambah variasi dataset citra sampah agar sistem mampu mengenali lebih banyak jenis material limbah secara lebih spesifik dan akurat.
3. Material Rangka  
Penggunaan material rangka yang lebih tahan terhadap kelembapan dan cuaca dibandingkan kayu solid disarankan agar perangkat memiliki daya tahan lebih baik untuk penggunaan jangka panjang.
4. Jangkauan Sensor  
Penggunaan sensor induktif dengan jangkauan deteksi lebih jauh dari 4 mm disarankan untuk mengurangi kegagalan pembacaan objek logam yang tidak berada tepat di dekat permukaan sensor

---

## 6. REFERENSI

- Ade Agung Kurniawan, Hermanto, & Rahmawati, S. (2024). Smart Tong Sampah Pendeteksi Otomatis Sampah Organik & Anorganik Berbasis IoT Smart city. *Jurnal KomtekInfo*, 11(3), 163–172. <https://doi.org/10.35134/komtekinfo.v11i3.564>
- Aldin Rizqi Pratama, & Seliwati, S. (2024). Monitoring Tempat Sampah Pintar Berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal RESTIKOM : Riset Teknik Informatika Dan Komputer*, 6(3), 544–553. <https://doi.org/10.52005/restikom.v6i3.381>
- Denice, Oska Amanda, R., & Pradana, E. (2025). Implementasi Dan Deteksi Tong Sampah Pintar Menggunakan Esp8266 dengan Algoritma CNN. *Metik Jurnal*, 9(2), 364–374. <https://doi.org/10.47002/metik.v9i2.1083>
- Linda Dwi Rachmawan. (2025). *Inovasi Tempat Sampah Pintar Berbasis Esp32-Wrover Untuk Efisiensi Pengelolaan Sampah Melalui Pemantauan Kapasitas Dan Pemilahan Otomatis*. 1(1).
- Kupang, K. (2022). Pengaruh Sampah Dan Limbah Terhadap Pencemaran Lingkungan Pesisir Oesapa Kecamatan Kelapa Lima , Kota Kupang The Effect Of Waste On Environmental Pollution Coastal Oesapa , Oni May Nggadi , Hikmah dan Jakobis J . Messakh. 18.