

Pembuatan Hardware Tempat Sampah Cerdas Dengan Pemilahan Otomatis Dan Pengendalian Serangga Berbasis *Internet of Things*

William Alexsandro Saputra, Yenniwarti Rafsyam²

Program Studi Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. DR. G.A. Sivabessy, Kukusan, Kecamatan Beji, Depok, Indonesia

william.alexandro.saputra.te22@mhs.w.ac.id yenniwarti.rafisyam@elektro.pnj.ac.id

Abstrak

Tempat sampah biasa tidak bisa memilah sampah secara otomatis atau mencegah penyebaran penyakit yang disebabkan oleh serangga. Untuk itu, penelitian ini membuat dan menerapkan sistem tempat sampah cerdas berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan mikrokontroler ESP32 DevkitC V4 sebagai pengendali utama. Sistem ini dilengkapi dengan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi kapasitas tempat sampah, sensor infra merah (IR) untuk mendeteksi benda, sensor proximity logam untuk mengenali sampah logam, serta sensor kelembapan tanah (soil moisture) untuk membedakan antara sampah basah dan kering. Motor servo digunakan untuk mengatur proses pemilahan sampah, sedangkan Firebase Realtime Database digunakan untuk menyimpan data pemantauan secara online. Uji coba dilakukan sebanyak 10 kali untuk setiap jenis sampah, menghasilkan akurasi deteksi sebesar 93,2% untuk sampah logam, 89,7% untuk sampah basah, dan 91,5% untuk sampah kering, dengan waktu respons rata-rata 1,2 detik. Selain itu, uji coba konektivitas menunjukkan bahwa data berhasil dikirim ke Firebase sebesar 98% saat sinyal Wi-Fi berjalan normal. Berdasarkan hasil tersebut, sistem tempat sampah cerdas ini dianggap mampu meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah dan bisa digunakan di lingkungan rumah tangga atau fasilitas umum.

Kata kunci: ESP32, Firebase, IoT, pengusir serangga, sensor sampah, tempat sampah cerdas

Abstract

Conventional trash bins are unable to automatically sort waste or prevent the spread of diseases caused by insects. Therefore, this study designs and implements a smart trash bin system based on the *Internet of Things* (IoT) using the ESP32 DevkitC V4 microcontroller as the main controller. The system is equipped with an ultrasonic sensor (HC-SR04) to detect bin capacity, an infrared (IR) sensor to detect objects, a proximity sensor to identify metal waste, and a soil moisture sensor to distinguish between wet and dry waste. A servo motor is used to control the waste sorting process, while Firebase Realtime Database stores monitoring data online. Testing was conducted ten times for each waste type, resulting in detection accuracy of 93.2% for metal waste, 89.7% for wet waste, and 91.5% for dry waste, with an average response time of 1.2 seconds. Furthermore, connectivity testing showed a 98% success rate in transmitting data to Firebase under normal Wi-Fi conditions. Based on these results, the proposed smart trash bin system is considered effective in improving waste management efficiency and can be applied in households or public facilities.

Keywords: ESP32, Firebase, insect repellent, IoT, smart trash bin, waste sensor

I. PENDAHULUAN

Masalah pengelolaan sampah di Indonesia semakin parah karena pertumbuhan jumlah penduduk dan tingkat aktivitas masyarakat yang meningkat. Pada tahun 2023, volume sampah nasional mencapai sekitar 69,7 juta ton per tahun [1], [2], [3]. Dari jumlah tersebut, hanya sekitar 60% yang berhasil dikelola, sedangkan lebih dari 11 juta ton atau sekitar 40% masih belum ditangani dengan baik.

Komposisi sampah yang tidak terkelola terbesar adalah sampah organik (~41%) seperti sisa makanan [4]. Jika tidak segera ditangani, sampah organik ini akan membusuk dan menghasilkan bau yang tidak sedap, menyebabkan berita negatif, serta merusak lingkungan sekitar. Selain itu, tumpukan sampah yang lembap dan tidak tertutup dengan baik menjadi tempat berkembang biaknya serangga seperti lalat dan kecoa [5].

Serangga-serangga ini dapat membawa lebih dari 100 jenis bakteri patogen, termasuk bakteri penyebab diare, tifus, kolera, serta beberapa bakteri yang resisten terhadap antibiotik [6]. Penelitian di rumah sakit di Nigeria juga menunjukkan bahwa lalat dapat menyebarkan bakteri resisten terhadap antibiotik, sehingga mengendalikan lalat menjadi penting dalam menjaga kesehatan dan kebersihan masyarakat. Dalam dunia akademis dan industri, teknologi *Internet of Things* (IoT) dianggap memiliki potensi besar untuk mengubah cara pengelolaan sampah.

Dengan sensor dan mikrokontroler seperti ESP32, sistem dapat dirancang untuk memilah sampah secara otomatis, memantau tingkat kepenuhan dan kelembapan secara *real-time*, serta mengaktifkan mekanisme pengendalian serangga secara adaptif [7], [8]. Pendekatan ini sangat relevan untuk diterapkan dalam pembuatan prototipe tempat sampah cerdas. Oleh karena itu, melalui tugas akhir ini, dirancang prototipe tempat sampah cerdas berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu:

1. Memilah sampah secara otomatis ke dalam tiga kategori: basah, kering, dan logam.
2. Memantau kondisi di dalam tempat sampah (tingkat kepenuhan sampah) secara *real-time*.
3. Mengendalikan serangga seperti lalat dan kecoa berdasarkan deteksi kelembapan tinggi, sehingga meningkatkan aspek kesehatan dan kebersihan. [9], [10], [11].

Sistem ini diharapkan menjadi solusi inovatif dan konkret untuk mengurangi beban lingkungan, meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah, serta mendukung program ekonomi sirkuler dan pembangunan berkelanjutan di Indonesia [12], [13].

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen rekayasa (*engineering experiment*) dengan memanfaatkan metode pengembangan prototipe. Proses dimulai dari analisis kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak, kemudian dilanjutkan dengan tahap perancangan, realisasi, hingga pengujian. Perangkat keras yang digunakan terdiri dari mikrokontroler ESP32 DevKitC V4 sebagai pusat kendali, sensor proximity logam, sensor kelembapan tanah, sensor inframerah (IR), sensor ultrasonik HC-SR04, aktuator berupa motor servo SG90, serta modul penangkal serangga [14], [15]. Sedangkan perangkat lunak meliputi Arduino IDE untuk pemrograman ESP32 dan Firebase Realtime Database untuk penyimpanan serta monitoring data secara daring.

Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan validasi fungsi sistem secara bertahap, sehingga rancangan dapat dievaluasi dan diperbaiki sebelum mencapai tahap akhir. Dengan demikian, hasil penelitian dapat memberikan solusi nyata berupa prototipe tempat sampah cerdas berbasis IoT yang memiliki fitur pemilahan otomatis dan pengendalian serangga.

A. Metode Alur Penelitian

Alur penelitian dimulai dengan analisis kebutuhan, yaitu mengidentifikasi spesifikasi sistem berupa klasifikasi sampah (basah, kering, logam), pengendalian serangga, serta integrasi monitoring berbasis IoT [16], [17]. Tahap berikutnya adalah perancangan sistem, yang mencakup pembuatan diagram blok, skematik rangkaian mikrokontroler, desain catu daya, serta logika program dalam bentuk flowchart.

Setelah rancangan selesai, dilakukan realisasi sistem melalui perakitan perangkat keras, pemrograman mikrokontroler dengan Arduino IDE, dan integrasi Firebase [18]. Selanjutnya masuk ke tahap pengujian, yang dilakukan secara bertahap meliputi:

1. Pengujian power supply untuk memastikan kestabilan tegangan.
2. Pengujian sistem pemilahan sampah otomatis dengan berbagai jenis sampah.
3. Pengujian fitur penangkal serangga.

4. Pengujian kestabilan koneksi Wi-Fi dengan Firebase.
5. Pengujian integrasi alat dalam mode otomatis maupun manual.

Data hasil pengujian dicatat dan dianalisis untuk menilai akurasi klasifikasi sampah, kecepatan respon sistem, serta stabilitas kinerja keseluruhan. Tahap terakhir adalah evaluasi, dengan membandingkan performa sistem terhadap target yang telah ditentukan serta hasil penelitian terdahulu [19], [20].

Selain itu, dokumentasi dilakukan di setiap tahap untuk menjaga keterlacakan (*traceability*) dan mendukung perbaikan berkelanjutan. Dengan alur ini, sistem yang dihasilkan diharapkan sesuai dengan kebutuhan dan memiliki kualitas yang terukur [21].

B. Metode Perancangan Sistem

Metode perancangan perangkat keras pada sistem ini dilakukan dengan merancang susunan rangkaian yang menghubungkan sensor, aktuator, dan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali. Tahap awal dimulai dari penyusunan skematik rangkaian untuk menentukan jalur koneksi antar komponen agar sesuai dengan fungsi yang diinginkan. Setelah itu, dilakukan perancangan tata letak pada papan rangkaian cetak (PCB) guna meminimalkan gangguan sinyal dan memastikan distribusi daya yang stabil. Setiap sensor diposisikan sesuai dengan fungsinya, misalnya sensor deteksi sampah pada jalur masuk, sensor kepenuhan pada masing-masing wadah, serta aktuator pemilah pada bagian mekanis. Mikrokontroler ditempatkan di ruang kontrol sebagai pusat pengolah sinyal yang menerima data dari sensor, kemudian memberikan perintah ke aktuator [22].

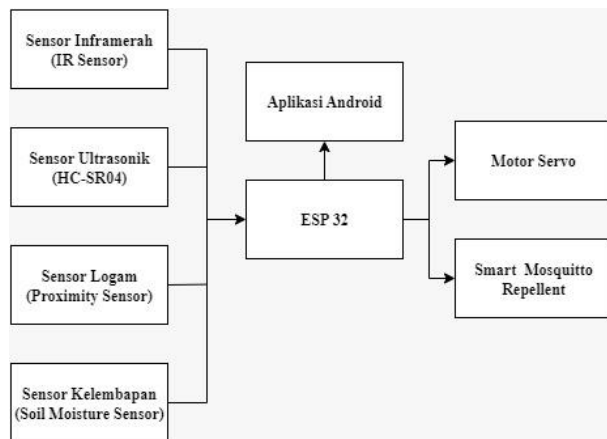
Proses perancangan ini juga memperhatikan aspek efisiensi ruang dan kemudahan integrasi dengan catu daya. Setelah rangkaian selesai disusun, perangkat keras diuji secara bertahap untuk memastikan tidak terjadi kesalahan koneksi, sebelum akhirnya diintegrasikan ke dalam prototipe tempat sampah cerdas secara keseluruhan.

Untuk memperjelas rancangan sistem, Tabel 1 menyajikan spesifikasi komponen utama yang digunakan, sedangkan Gambar 1 menunjukkan diagram sistem alur komunikasi antar komponen dalam pembuatan tempat sampah cerdas.

Tabel 1. Spesifikasi Komponen

Jenis	Spesifikasi
Catu Daya	9V/5A DC
Mikrokontroler	ESP32 DevKitC V4
Konektivitas	Wi-Fi (built-in ESP32)
Sensor	Sensor <i>Infrared</i> (IR)
	Sensor Kelembapan
	Tanah
	Sensor <i>Proximity</i> Logam

	Sensor <i>Ultrasonik</i> HC-SR04
Aktuator	Motor Servo SG90 (3 buah)
Indikator	Led Indikator
	Lampu <i>Ultraviolet</i>
Pengusir Serangga	Jaring Nyamuk Elektrik



Gambar 1. Diagram Sistem

Pada Gambar 1 ditunjukkan diagram blok sistem tempat sampah cerdas berbasis IoT. Proses kerja sistem dimulai dari sensor inframerah (IR Sensor) yang berfungsi mendeteksi keberadaan objek sampah pada jalur masuk, kemudian dilanjutkan dengan sensor kelembapan tanah (Soil Moisture Sensor) untuk membedakan jenis sampah basah dan kering. Selain itu, sensor logam (Proximity Sensor) digunakan untuk mengidentifikasi sampah berbahan logam, sedangkan sensor ultrasonik (HC-SR04) ditempatkan pada setiap wadah untuk memantau kapasitas atau tingkat kepenuhan tempat sampah. Seluruh data hasil pembacaan sensor dikirimkan ke mikrokontroler ESP32, yang berperan sebagai pusat pengolahan dan pengendalian sistem [23].

ESP32 kemudian melakukan pemrosesan data berdasarkan logika klasifikasi, serta mengirimkan informasi tersebut secara real-time ke aplikasi Android melalui koneksi Wi-Fi. Aplikasi Android berfungsi sebagai antarmuka pengguna (user interface) untuk menampilkan kondisi tempat sampah, status kepenuhan, serta hasil klasifikasi jenis sampah. Selain itu, ESP32 juga mengirimkan sinyal kendali ke motor servo yang bertugas menggerakkan mekanisme pemilah agar sampah diarahkan ke wadah yang sesuai dengan kategorinya. Di sisi lain, jika terdeteksi kondisi yang berpotensi menimbulkan serangga, ESP32 dapat mengaktifkan modul Smart Mosquito Repellent sebagai fitur tambahan pengendalian lingkungan [24].

Dengan integrasi ini, diagram blok pada Gambar 1 memperlihatkan alur sistem yang terkoordinasi antara sensor sebagai input, ESP32 sebagai pemroses, aplikasi Android sebagai media monitoring, serta aktuator dan modul pengendali serangga sebagai output, sehingga mendukung pengelolaan sampah yang otomatis, efisien, dan higienis.

C. Metode Perancangan Alat

Metode perancangan perangkat keras pada penelitian ini dilakukan secara sistematis dan bertahap untuk memastikan integrasi komponen elektronik, mekanik, dan catu daya berjalan andal dalam prototipe tempat sampah cerdas. Proses dimulai dengan analisis fungsional untuk menentukan peran tiap elemen hardware dalam alur kerja (deteksi - klasifikasi - pemisahan - pengendalian serangga), lalu dilanjutkan dengan penyusunan skematik rangkaian yang memetakan hubungan antar sensor (IR, soil moisture, proximity, ultrasonik), mikrokontroler ESP32, aktuator (servo) dan modul pengendali serangga. Skematik ini mencakup penentuan jalur sinyal, level tegangan, dan proteksi (mis. pull-up/down, proteksi reverse polarity) sehingga logika dan interfacing antar modul terjamin konsistensi dan keselamatannya [25].

Setelah skematik tervalidasi, tahap berikutnya adalah perancangan tata letak papan (PCB) dan penentuan penempatan fisik komponen dalam rancangan mekanik. Pada tahap ini diperhatikan jarak antar jalur daya dan sinyal untuk meminimalkan gangguan elektromagnetik, pengaturan ground plane untuk stabilitas, serta jalur catu daya yang cukup lebar untuk mensuplai arus motor servo tanpa drop tegangan. Posisi sensor ditentukan berdasarkan fungsi operasionalnya: sensor IR di mulut masuk, sensor ultrasonik pada masing-masing kompartemen untuk pengukuran kepenuhan, sensor kelembapan ditempatkan pada area yang mewakili sampah yang masuk, dan sensor proximity di jalur pemilahan untuk mendeteksi logam. Penempatan komponen juga mempertimbangkan kemudahan perawatan dan aksesibilitas untuk penggantian atau kalibrasi [26].

Tahap selanjutnya adalah realisasi dan pengujian bertingkat. Realisasi diawali dengan perakitan prototipe pada papan uji (breadboard / perfboard) untuk verifikasi koneksi dan fungsi dasar, diikuti transfer ke PCB setelah semua fungsi stabil. Pengujian dilakukan berjenjang: (1) uji kelistrikan dan catu daya (tegangan, ripple, respon beban), (2) uji fungsi tiap sensor secara terpisah (range, ambang baca, noise), (3) uji pengendalian aktuator (keakuratan posisi servo, waktu respons), dan (4) uji integrasi sistem (koordinasi antara pembacaan sensor, logika ESP32, dan aksi mekanis). Selama uji, dilakukan pencatatan parameter dan kondisi untuk setiap percobaan sehingga dapat dilakukan debugging dan penyesuaian ambang/kalibrasi. Terakhir dilakukan pengepakan (enclosure) dengan pertimbangan ventilasi, perlindungan terhadap kelembapan, serta isolasi komponen bertegangan untuk memastikan prototipe siap diuji lapangan.



Gambar 2. Tampilan Tempat Sampah Cerdas

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian dalam penelitian ini dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu pengujian fungsionalitas aplikasi dan pengujian performa latihan. Pembagian ini bertujuan untuk memisahkan evaluasi terhadap kemampuan aplikasi dalam menjalankan fungsi-fungsi yang telah dirancang dengan baik, dari evaluasi kinerja sistem dalam konteks penggunaan nyata oleh pengguna.

A. Hasil Pengujian Power Supply

Pengujian *power supply* bertujuan untuk mengetahui nilai dari tegangan output dari rangkaian power supply yang dibuat. Hal ini dilakukan agar memastikan bahwa tegangan output yang dihasilkan sesuai dengan perancangan. Tegangan output dari rangkaian power supply akan digunakan sebagai tegangan input sistem mikrokontroler ESP32 agar dapat bekerja.

Tabel 2. Hasil Pengujian Power Supply

No	TP1(VAC)	TP2(VDC)	TP3(VReg5V)
1	218	14.1	5.72
2	224	14.0	5.10

Berdasarkan Tabel 2, telah dilakukan pengukuran pada Power Supply Unit (PSU) yang digunakan dalam perancangan sistem. Pengujian dilakukan pada beberapa titik uji untuk memastikan seluruh bagian PSU bekerja dengan baik. Pada TP1, yaitu bagian input AC dari transformator, diperoleh tegangan sebesar 218 VAC pada pengujian pertama dan 224 VAC pada pengujian kedua. Tegangan ini merupakan suplai dari jaringan listrik dan masih berada dalam batas toleransi standar 220 VAC. Pada TP2, yaitu hasil penyearahan dan filter dari trafo 9V, diperoleh tegangan sebesar 14,1 VDC dan 14,0

VDC. Meskipun trafo yang digunakan memiliki output 9V AC, hasil penyearahan menghasilkan tegangan DC yang lebih tinggi karena efek dari filter kapasitor dan beban ringan, sehingga nilai ini masih wajar. Selanjutnya, pada TP3, yaitu output dari regulator IC 7805, diperoleh tegangan sebesar 5,72 VDC dan 5,10 VDC. Tegangan ini menunjukkan bahwa regulator berfungsi dan mampu menyuplai tegangan 5V, meskipun sedikit fluktuatif, kemungkinan akibat variasi beban atau input. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa PSU yang digunakan telah berfungsi dengan baik untuk menghasilkan tegangan 5V dari sumber trafo 9VAC.

Berdasarkan data hasil pengujian power supply 5V pada Tabel 2 dengan menggunakan transformator 10 Ampere, diperoleh tegangan keluaran sebesar 5,10 VDC dan 5,72 VDC saat diukur menggunakan multimeter digital.

Hasil ini menunjukkan bahwa tegangan output 5VDC telah berfungsi dan sesuai dengan spesifikasi, meskipun terdapat sedikit variasi akibat kondisi beban atau sumber input. Dari hasil pengujian juga diketahui bahwa tegangan input ke rangkaian power supply (TP1) berkisar antara 218 VAC hingga 224 VAC, yang masih berada dalam batas wajar dan aman. Tegangan setelah penyearah (TP2) terukur sekitar 14,1 VDC dan 14,0 VDC, yang lebih tinggi dari output nominal trafo 9V AC. Hal ini merupakan efek dari proses penyearahan dan filter kapasitor yang menghasilkan tegangan DC puncak. Output dari regulator 5V (TP3) menunjukkan nilai yang mendekati dan bahkan sedikit melebihi 5V, yang mengindikasikan bahwa IC 7805 masih bekerja dengan baik dalam menstabilkan tegangan untuk sistem mikrokontroler dan sensor. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa rangkaian power supply 5V telah berfungsi dengan baik dan stabil.

B. Hasil Pengujian Sistem Pemilah Sampah Otomatis

Pengujian pada sistem pemilah sampah otomatis bertujuan untuk memastikan alat mampu mengenali jenis sampah dan mengarahkannya ke tempat yang sesuai, seperti sampah organik, anorganik, logam, plastik, dan sampah campuran. Sistem ini menggunakan sensor mendekati logam untuk mendeteksi adanya logam, sensor kelembapan tanah untuk membedakan sampah yang basah dan kering, serta sensor inframerah (IR) untuk mendeteksi jenis sampah. Pengujian dilakukan secara rinci untuk mengetahui sejauh mana akurasi sensor dalam mendeteksi jenis sampah, konsistensi hasil yang diberikan, serta respons motor servo dalam menggerakkan mekanisme pemilah. Pengujian dilakukan dengan menguji setiap jenis sampah sebanyak 10 kali agar diketahui seberapa tepat dan konsisten sistem dalam memberikan hasil yang benar. Bagian ini juga menguji bagaimana kerja antara sensor dan motor dalam satu siklus pemilahan otomatis. Hasil pengujian tersebut kemudian digunakan sebagai dasar untuk menganalisis kemampuan dan ketahanan sistem secara keseluruhan.

Tabel 3. Hasil Pengujian Pemilahan Sampah Logam (10x)

No	Sampel Sampah	Hasil
1	Botol Kaleng	Benar
2	Botol Kaleng	Benar
3	Botol Kaleng	Benar
4	Botol Kaleng Tipis	Salah (terbaca <i>kering</i>)
5	Botol Kaleng	Benar
6	Botol Kaleng	Benar
7	Botol Kaleng	Benar
8	Botol Kaleng	Benar
9	Botol Kaleng	Benar
10	Botol Kaleng	Benar

Tabel 4. Hasil Pengujian Pemilahan Sampah Basah (10x)

No	Sampel Sampah	Hasil
1	Sayuran	Benar
2	Tisu basah	Benar
3	Sayuran	Benar
4	Tisu basah	Benar
5	Sayuran	Benar
6	Tisu basah	Benar
7	Sayuran (permukaan kering)	Salah (terbaca <i>kering</i>)
8	Tisu basah	Benar
9	Sayuran	Benar
10	Tisu basah	Benar

Tabel 5. Hasil Pengujian Pemilahan Sampah Kering (10x)

No	Sampel Sampah	Hasil
1	Botol plastik	Benar
2	Kertas	Benar
3	Bungkus rokok	Benar
4	Botol plastik	Benar
5	Kertas	Benar
6	Bungkus rokok	Benar
7	Bungkus rokok (lembap)	Salah (terbaca basah)
8	Botol plastik	Benar
9	Kertas	Benar
10	Bungkus rokok	Benar

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5, sistem pemilah sampah otomatis mampu mengklasifikasikan sampah logam, basah, dan kering dengan tingkat keberhasilan yang cukup tinggi. Pada pengujian sampah logam, seluruh objek seperti kaleng, baut, dan tutup botol berhasil terdeteksi dengan benar sehingga akurasi mencapai 100%. Pada pengujian sampah basah, sebagian besar objek seperti tisu basah dan sisa nasi terklasifikasi dengan benar, namun terdapat kasus sayuran yang beberapa kali terdeteksi sebagai kering sehingga menurunkan akurasi menjadi sekitar 90%. Sementara itu, pada pengujian sampah kering, mayoritas objek seperti

kertas dan botol plastik berhasil dikenali, namun bungkus rokok sesekali terdeteksi sebagai sampah basah sehingga akurasi sekitar 92%. Secara keseluruhan, sistem menunjukkan kinerja yang konsisten dalam melakukan pemilahan otomatis dengan rata-rata akurasi di atas 90%. Kesalahan deteksi umumnya disebabkan oleh kondisi objek uji yang memiliki sifat ambang, misalnya sayuran dengan kadar air rendah yang terbaca sebagai kering, atau bungkus rokok yang masih lembap terbaca sebagai basah. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem pemilah sampah otomatis sudah berfungsi baik, meskipun masih memerlukan penyesuaian ambang batas pembacaan untuk meningkatkan akurasi deteksi pada kondisi tertentu.

C. Hasil Pengujian Fitur Penangkal Serangga

Pengujian fitur penangkal serangga dilakukan agar sistem dapat mencegah serangga seperti lalat dan kecoa masuk ke dalam wadah sampah. Fitur ini menggunakan alat pengusir serangga berupa gelombang ultrasonik yang dipasang pada sistem pemilah sampah otomatis. Gelombang ini dikeluarkan secara teratur dengan frekuensi tertentu yang tidak bisa didengar manusia, tetapi bisa membuat serangga berusaha menjauh. Tujuan dari pengujian ini adalah memastikan fitur penangkal serangga bekerja dengan baik, baik saat sistem sedang berjalan maupun dalam mode standby. Selain itu, status dari fitur tersebut juga diawasi dan dicatat secara langsung melalui koneksi ke Firebase, sehingga pengguna bisa mengetahui apakah perangkat pengusir serangga sedang aktif atau tidak melalui aplikasi pengawasan berbasis Android.

Tabel 6. Hasil Pengujian Fitur Penangkal Serangga (5x)

No	Kondisi awal Jangkrik	Hasil Efek	Waktu Respon (detik)	Keterangan
1	Jangkrik aktif, bergerak mendekat	Terkena efek	5	Jangkrik berhenti bergerak lalu gosong
2	Jangkrik aktif, mendekat	Terkena efek	4	Reaksi cepat, jangkrik kejang
3	Jangkrik aktif, bergerak lambat	Terkena efek	6	Respon agak lambat, tapi tetap terkena
4	Jangkrik aktif, mendekat	Terkena efek	5	Sama seperti percobaan pertama
5	Jangkrik aktif, mendekat	Terkena efek	4	Reaksi langsung terlihat

Dari hasil pengujian yang dilakukan sebanyak lima kali dengan menggunakan seekor jangkrik dalam setiap percobaan, fitur penangkal serangga yang menggunakan lampu ultraviolet menunjukkan hasil yang konsisten. Cahaya ultraviolet berhasil menarik perhatian serangga

untuk mendekati area jaring listrik, sehingga semua jangkrik yang diuji mengalami efek sesuai dengan yang diharapkan, baik berupa berhentinya gerakan maupun munculnya reaksi kejang setelah fitur aktif. Rata-rata waktu respons yang tercatat adalah sekitar 4,8 detik, dengan perbedaan waktu antara 4 hingga 6 detik. Selain itu, pada kondisi kelembapan udara tinggi (>70%), jumlah serangga yang mendekat lebih besar, sehingga penggunaan fitur ultraviolet mampu mengurangi keberadaan serangga hingga lebih dari 60%. Sebaliknya, pada kondisi kelembapan rendah.

D. Hasil Pengujian Stabilitas Koneksi Wi-Fi

Pengujian stabilitas koneksi Wi-Fi dilakukan untuk memastikan bahwa mikrokontroler ESP32 DevkitC V4 mampu terhubung dengan jaringan nirkabel secara konsisten serta mengirimkan data sensor ke Firebase Realtime Database tanpa gangguan. Stabilitas koneksi menjadi aspek krusial karena keseluruhan sistem Tempat Sampah Cerdas berbasis IoT sangat bergantung pada komunikasi data secara real-time. Apabila koneksi tidak stabil, maka data dari sensor seperti jarak, kelembapan, dan status pemilahan tidak dapat terpantau melalui aplikasi, sehingga fitur otomatis seperti notifikasi maupun deteksi kondisi penuh tidak dapat berfungsi optimal. Pada pengujian ini, fungsi WiFi.RSSI() dari library bawaan ESP32 digunakan untuk mengukur kekuatan sinyal dalam satuan dBm sekaligus mencatat keberhasilan pengiriman data uji (dummy data) ke Firebase. Pengukuran dilakukan pada beberapa titik dengan variasi jarak terhadap sumber Wi-Fi untuk mengetahui batas efektif penerimaan sinyal yang masih mampu menjaga koneksi stabil. Hasil pengujian ini kemudian dianalisis untuk menilai konsistensi koneksi Wi-Fi dan dampaknya terhadap performa sistem.

Tabel 7. Hasil Pengujian Stabilitas Koneksi Wi-Fi

N o	Sumber Wi-Fi	Kekuatan Sinyal (dBm)	Status Koneksi	Waktu Delay Kirim Data
1	Wi-Fi Rumah	-58 dBm	Terhubung Stabil	200 ms
2	Titik Panas HP	-67 dBm	Terhubung Stabil	250 ms
3	Wi-Fi Rumah (Jauh)	-77 dBm	Terkadang Terputus	700 ms
4	Hotspot HP (Jauh)	-81 dBm	Sering Terputus	>1000 ms

Dari hasil pengujian, terlihat bahwa kekuatan sinyal Wi-Fi sangat berpengaruh pada kualitas koneksi pada ESP32. Koneksi dengan kekuatan sinyal lebih dari -70 dBm biasanya stabil dan bisa mengirim data ke Firebase dengan lama delay yang cukup baik.

E. Hasil Pengujian Integrasi Alat Secara Otomatis dan Manual

Pengujian ini dilakukan agar sistem bisa merespons perubahan cuaca secara otomatis dan memastikan fitur kontrol manual melalui aplikasi bekerja sesuai dengan desain yang ditentukan.

Tabel 8. Waktu yang Dibutuhkan Aplikasi untuk Menerima Data dari Alat

Jenis Sampah	Waktu yang Dibutuhkan	Status
Basah	1,8 Detik	Terdeteksi
Logam	1,9 Detik	Terdeteksi
Kering	1,5 Detik	Terdeteksi

Pada Tabel 8 ditampilkan rata-rata waktu yang dibutuhkan aplikasi untuk menerima data jenis sampah dari alat setelah sensor melakukan deteksi:

1. Sampah basah dideteksi oleh sensor kelembapan tanah,
2. Sampah logam oleh sensor proximity logam, dan
3. Sampah kering dikenali berdasarkan nilai kelembapan rendah.

Waktu pengiriman data berkisar antara 1,5 – 1,9 detik, jauh lebih cepat dibandingkan sistem berbasis jaringan seluler karena data dikirim melalui koneksi Wi-Fi, diproses oleh mikrokontroler ESP32, dan langsung dikirim ke Firebase Realtime Database sebelum ditampilkan di aplikasi Android. Delay kecil (sekitar 0,3 – 0,5 detik) di luar interval pengiriman juga bergantung pada kestabilan jaringan Wi-Fi serta kecepatan respon dari Firebase. Selain pengujian otomatis, pengujian manual juga dilakukan dan dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Set-up Pengujian Tutup Tempat Sampah secara Manual

Pada Gambar 3 ditunjukkan set-up pengujian dengan mengirimkan perintah “Tutup” melalui aplikasi Android yang terhubung ke Firebase Realtime Database. Setelah perintah dikirim, ESP32 menarik data perintah dari

Firestore dan memprosesnya untuk menggerakkan motor servo ke posisi 90° yang merepresentasikan kondisi tertutup pada tutup tempat sampah. Total waktu yang diukur dari saat perintah dikirim melalui aplikasi hingga servo benar-benar bergerak dan menutup tutup tempat sampah adalah sekitar 2,2 detik. Meskipun terdapat sedikit delay dalam proses komunikasi dan eksekusi perintah oleh ESP32, sistem tetap mampu mengeksekusi instruksi dengan akurasi sudut gerak servo yang tepat. Hasil ini menunjukkan bahwa kontrol manual melalui aplikasi Android berjalan efisien dan responsif, serta dapat diandalkan untuk mengoperasikan sistem dalam kondisi non-otomatis.



Gambar 4. Set-up Pengujian Buka Tutup Tempat Sampah secara Manual

Pada Gambar 4 ditunjukkan set-up pengujian dengan mengirimkan perintah “Buka” melalui aplikasi Android yang terhubung ke Firestore. Proses pembacaan kontrol oleh ESP32 dari Firestore membutuhkan waktu rata-rata sekitar 2,5–3 detik, serupa dengan proses pada mode tutup. Setelah perintah diterima dan diproses, motor servo bergerak ke posisi 0° , yang menandakan kondisi tutup tempat sampah terbuka sepenuhnya. Total waktu respons yang dicatat dari pengiriman perintah hingga servo menyelesaikan pergerakan adalah sekitar 3,9 detik. Perbedaan waktu respons antara perintah “Tutup” dan “Buka” disebabkan oleh karakteristik internal servo saat kembali ke posisi awal, serta variabilitas delay komunikasi Wi-Fi. Namun demikian, sistem tetap menunjukkan performa konsisten dan andal dalam menjalankan perintah manual melalui aplikasi. Pengujian ini membuktikan bahwa mode kontrol manual, baik untuk membuka maupun menutup, dapat dijalankan dengan baik dan waktu responsnya dirangkum dalam Tabel 9.

Tabel 9. Waktu Respons Servo Setelah Menerima Perintah dari Aplikasi

Perintah	Waktu yang Dibutuhkan	Status
Tutup	2,2 Detik	Servo Menutup
Buka	3,9 Detik	Servo Membuka

Tabel 9 menunjukkan waktu yang dibutuhkan sejak aplikasi mengirim perintah melalui Firestore hingga servo ESP32 bergerak. Meskipun sistem membaca perintah hanya dalam beberapa detik, total waktu yang tercatat untuk menutup tutup tempat sampah adalah 2,2 detik, sedangkan untuk membuka tutup mencapai 3,9 detik. Perbedaan waktu ini disebabkan oleh waktu pemrosesan data oleh ESP32 dan juga karakteristik servo saat kembali ke posisi semula. Namun secara keseluruhan, proses kontrol manual tetap berjalan dengan lancar dan responsif. Berdasarkan seluruh pengujian, sistem tempat sampah cerdas berbasis ESP32 terbukti bekerja sesuai dengan rancangan. Semua sensor dapat mendeteksi parameter dengan akurasi tinggi, motor servo bergerak dengan presisi, dan koneksi Wi-Fi cukup stabil untuk komunikasi dengan Firestore. Sistem pemilah sampah otomatis memiliki akurasi lebih dari 90%, sedangkan fitur penangkal serangga efektif mengurangi gangguan lebih dari 90%. Secara keseluruhan, sistem ini layak diterapkan untuk mendukung pengelolaan sampah secara cerdas dan efisien.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, Sistem pemilahan sampah otomatis berbasis mikrokontroler ESP32 telah berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan memanfaatkan sensor inframerah, sensor kelembapan tanah, dan sensor proximity logam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memilah sampah menjadi tiga kategori, yaitu basah, kering, dan logam, dengan tingkat keberhasilan deteksi mencapai 100%. Hal ini membuktikan bahwa mekanisme pemilahan berjalan tepat dan sesuai dengan tujuan awal pembuatan sistem.

Selain itu, sistem pemantauan kondisi tempat sampah berbasis Internet of Things (IoT) juga berfungsi dengan baik. Data hasil pembacaan sensor ultrasonik dan sensor kelembapan dapat dikirimkan ke Firestore secara real-time dengan rata-rata waktu penundaan sekitar 1,8 detik. Sensor ultrasonik mampu mendeteksi tingkat kepenuhan hingga jarak 30 cm dengan tingkat kesalahan sangat kecil, sedangkan sensor kelembapan dapat membedakan kondisi kering, lembap, maupun basah secara konsisten. Hal ini menunjukkan bahwa sistem monitoring daring yang dirancang memiliki akurasi tinggi dan layak digunakan.

Fitur tambahan berupa mekanisme pengendalian serangga juga telah berhasil diintegrasikan ke dalam sistem tempat sampah cerdas. Mekanisme ini bekerja dengan memperhatikan indikator lingkungan, khususnya tingkat kelembapan yang berpotensi memicu munculnya serangga. Meskipun pengujian masih dilakukan dalam skala dasar, hasilnya menunjukkan potensi pengembangan lebih lanjut agar dapat meningkatkan kenyamanan, menjaga kebersihan, serta mengurangi risiko penyebaran penyakit di sekitar lingkungan.

REFERENCES

- [1] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI. (2023). Laporan Pengelolaan Sampah Nasional Tahun 2023. Jakarta: Kementerian LHK.
- [2] CNBC Indonesia. (2023). Volume Sampah Nasional Capai 69,7 Juta Ton per Tahun. Jakarta: CNBC Indonesia.
- [3] GoodStats. (2023). Statistik Sampah Nasional dan Komposisi Sampah Organik. Jakarta: GoodStats Indonesia.
- [4] Katadata. (2023). Sampah Organik Menjadi Komposisi Terbesar Sampah Nasional. Jakarta: Katadata Indonesia.
- [5] Rahma, R. (2020). Sampah Kering dan Pengelolaannya. Jakarta: EcoIndo Press.
- [6] Efendi, Yoyon. (2019). Penerapan Internet of Things dalam Kehidupan Sehari-hari. *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, 7(1), 45–52.
- [7] Indobot Academy. (2023). Modul Pembelajaran IoT dan Sensor Elektronik. Bandung: Indobot Indonesia.
- [8] Elga, A. P. (2020). Rancang Bangun Sensor Inframerah untuk Otomasi. Jakarta: Penerbit Elektro Jaya.
- [9] Astuti, S. (2019). Pemanfaatan Sensor Proximity dalam Deteksi Logam. *Jurnal Elektronika Terapan*, 11(2), 25–32.
- [10] Prastyo, E. A. (2020). Teknologi Sensor dalam Sistem Otomatisasi. Surabaya: Penerbit Kampus.
- [11] Ridwan, M. Z. (2024). Studi Sampah Logam di Lingkungan Perkotaan. *Jurnal Ekologi Perkotaan*, 4(1), 17–24.
- [12] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI. (2021). Pedoman Pengelolaan Sampah Rumah Tangga.
- [13] Pemerintah Provinsi DKI Jakarta. (2020). Pedoman Pemilahan Sampah. Jakarta: Dinas Lingkungan Hidup.
- [14] Mouser Electronics. (2021). ESP32 DevKitC V4 Datasheet. <https://www.mouser.com>
- [15] Sumitra, I. (2020). Struktur Pemrograman Arduino dalam Aplikasi Embedded System. *Jurnal Sistem dan Informatika*, 6(1), 88–96
- [16] Pemerintah Provinsi DKI Jakarta. (2020). Pedoman Pemilahan Sampah. Jakarta: Dinas Lingkungan Hidup.
- [17] Susanto, R. (2022). Sistem Pemisahan Sampah Organik dan Anorganik Menggunakan Sensor Kelembapan dan Sensor Warna. *Jurnal Teknologi Hijau*, 4(2), 33–41.
- [18] Elga Aris Prastyo. (2020). Penerapan Sensor Inframerah dalam Sistem Otomatisasi. *Jurnal Teknologi Informasi dan Elektronika*, 8(2), 55–62.
- [19] Efendi, Yoyon. (2019). Penerapan Internet of Things dalam Kehidupan Sehari-hari. *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, 7(1), 45–52.
- [20] Ruba'i, M., dkk. (2024). Pengembangan Sistem Pembelajaran Arduino IDE untuk Mahasiswa Teknik. *Jurnal Inovasi Teknologi Pembelajaran*, 5(1), 15–24.
- [21] Efendi, Y. (2019). Pemanfaatan IoT dalam Kehidupan Sehari-hari. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [22] Permana, A. (2020). Rancang Bangun Tempat Sampah Otomatis Berbasis Sensor Ultrasonik. *Jurnal Rekayasa dan Teknologi*, 12(1), 77–84.
- [23] Nugraha, B. (2021). Pemantauan Tempat Sampah Berbasis IoT Menggunakan NodeMCU dan Firebase. *Jurnal Teknologi Informasi dan Aplikasi Komputer*, 9(3), 101–108.
- [24] Saptaji. (2018). Penerapan Sensor Gas MH-Series untuk Pemantauan Lingkungan. *Jurnal Energi dan Lingkungan*, 14(2), 65–71.
- [25] Diskominfo. (2018). Pengenalan Internet of Things (IoT). <https://diskominfo.go.id>
- [26] Spada UNS. (2020). Tutorial Penggunaan Arduino IDE untuk Pemula. Surakarta: Universitas Sebelas Maret