

Sistem Monitoring dan Controlling “*Smart Waste*” Berbasis *Internet of Things* Menggunakan Modul ESP 32

The Internet of Things-based "Smart waste" Monitoring and Controlling System Uses the ESP 32 Module

Yosita Lianawati¹, Christy Mahendra^{2*}, Gerson Manuel Sugianto³, Syukur Jaya Mendrofa⁴,
Angelica Lulu Setiani⁵

*1,2,3,4 Program Studi S1 Teknik informatika, Sekolah tinggi Ilmu Komputer Yos Sudarso
Jalan SMP 5 Karangklesem Purwokerto, Banyumas, Jawa Tengah, Indonesia*

*5 Program Studi D3 Komputerisasi Akuntansi, Sekolah tinggi Ilmu Komputer Yos Sudarso
Jalan SMP 5 Karangklesem Purwokerto, Banyumas, Jawa Tengah, Indonesia*

*²Corresponding author: chrisma@stikomios.ac.id

¹yosita.lianawati@stikomios.ac.id, ³gerson.202103018@student.stikomios.ac.id,

⁴syukur.mendrofa@stikomios.ac.id, ⁵angelica.202102012@student.stikomios.ac.id,

Received on 18-01-2024, accepted on 15-05-2024, published on 29-07-2024

Abstrak

Sampah semakin meningkat setiap hari, dan pengolahan sampah masih merupakan proses yang membutuhkan waktu yang lama dan seringkali menjadi sumber penyakit. Melalui perkembangan teknologi penulis membuat sebuah inovasi untuk penanganan sampah dengan Internet of Things untuk melakukan monitoring dan controlling untuk memilah sampah berdasarkan kategori sampah organik dan sampah plastik. Hasil dari pemilahan sampah tersebut akan dimasukkan ke proses pencacahan sampah dan menghasilkan bahan mentah pupuk dari hasil pencacahan sampah organik dan biji plastik dari hasil pencacahan sampah plastic. Pengguna dapat melakukan controlling dan akan mendapatkan hasil notifikasi jika tempat penyimpanan pencacahan sudah mencapai berat lebih dari 4 kg melalui aplikasi Whatsapp. pengujian Sistem Monitoring dan Controlling “Smart waste” berbasis Internet of Things menggunakan modul ESP 32 dilakukan sebanyak 30x percobaan dan mendapatkan hasil keberhasilan sebesar 86,67%.

Kata kunci: Controlling, ESP 32, Internet of Things, Monitoring, Smart waste.

Abstract

Waste is increasing every day, and waste processing is still a process that takes a long time and is often a source of disease. Through the development of technology, the author makes an innovation for handling waste with the Internet of Things where this system can monitor and control to sort waste based on the category of organic waste and plastic waste. The results of the waste sorting will be put into the waste shredding process, and fertilizer raw materials from the shredding of organic waste and plastic seeds will be produced. Users can control and will get notification results if the shredding storage has reached a weight of more than 4 kg via the WhatsApp application. Testing of the Internet of Things-based "Smart waste" Monitoring and Controlling system using the ESP 32 module was conducted 30x trials, and a success rate of 86.67% was obtained.

Keywords: Internet of Things, Smart waste, Monitoring, Controlling, ESP 32

I. PENDAHULUAN

Internet of Things menjadi teknologi yang semakin populer merupakan sebuah teknologi yang digunakan untuk menggabungkan perangkat elektronik ke internet sehingga teknologi tersebut menjadi salah satu solusi yang menjanjikan untuk berbagai macam masalah [1], [2]. Salah satu penerapan teknologi *Internet of Things* adalah penggunaan untuk membantu mengolah penanganan sampah yang semakin hari kian meningkat dan sampai saat ini masalah sampah terus meningkat.

Sampah adalah masalah lingkungan yang terus berkembang [3]. Berbagai macam inovasi untuk menangani sampah telah dibuat, dimulai dari penggunaan teknologi *Internet of Things* untuk memonitoring pengumpulan data dan mengirimkan data tersebut untuk mengelola mekanisme pengumpulan sampah secara dinamis [4], [5], [6]. Penelitian tentang optimasi rute dan pemilihan jalur untuk pengumpulan sampah sesuai dengan status tempah sampah di kota untuk membantu efisiensi bahan bakar [7]. Penelitian tentang pengukuran berat sampah secara otomatis [8]. Dalam konteks pengelolaan sampah, *Internet of Things* memungkinkan pengumpulan data yang akurat dan *real-time* tentang sampah, yang dapat membantu dalam pengelolaan sampah yang lebih efektif dan efisien [9]. Sampah dikategorikan menjadi beberapa kategori, ada yang merupakan sampah organik, sampah plastik, sampah logam dan lain sebagainya. Sampah organik merupakan sampah yang berasal dari sampah daun kering, sampah buah dan sayuran yang dapat terurai dengan sendirinya [10] Sedangkan sampah plastik merupakan sampah dengan jumlah yang paling banyak, sampah ini terus mengalami peningkatan setiap tahunnya [11].

Dalam lingkungan kampus khususnya di STIKOM Yos Sudarso proses pengolahan sampah masih dilakukan secara manual yaitu dengan menumpuk sampah dan membakarnya. Hasil dari pengolahan sampah dengan cara menumpuk dapat menyebabkan timbulnya bau menyengat dan bahkan menimbulkan penyakit [12]. Sedangkan pengolahan dengan cara membakar dapat menimbulkan polusi udara dan mengganggu lingkungan kampus.

Dengan adanya permasalahan yang terjadi tersebut maka peneliti mempunyai inovasi untuk pengolahan sampah khususnya dalam lingkungan Kampus STIKOM Yos Sudarso yaitu dengan Sistem *Monitoring* dan *Controlling* “*Smart Waste*” berbasis *Internet of Things* menggunakan modul ESP32. Penulis mengembangkan inovasi berbasis teknologi *Internet of Things* untuk membantu dalam memilah sampah organik dan sampah plastik yang nantinya hasil pengolahan tersebut akan masuk kedalam tahap pencacahan dan hasil dari pencacahan tersebut akan dapat digunakan untuk pembuatan pupuk dan biji plastik. Sistem ini menyatukan sebuah alat “*Smart Waste*” dengan Sistem *controlling* dan *monitoring* yang dapat kita gunakan dengan perangkat pintar yang kita miliki. Hasil *monitoring* berupa notifikasi ke server user jika hasil dari pencacahan sampah sudah penuh atau mencapai batas 5 kg dalam setiap tempat penampungannya. Dan proses *controlling* yang dapat kita gunakan juga untuk mengaktifkan dan menonaktifkan alat “*Smart Waste*”.

II. STUDI LITERATUR

A. Internet of Things

Internet of things adalah teknologi dengan model komunikasi terkini yang memiliki tujuan dalam waktu yang dekat dimana objek akan dilengkapi dengan mikrokontroler, transceiver yang digunakan untuk komunikasi digital, serta protokol-protokol yang sesuai sehingga dapat berkomunikasi satu sama lain dan memudahkan akses maupun interaksi [13].

Internet of Things merupakan sebuah model baru yang berfungsi untuk saling berkomunikasi antar perangkat elektronik dengan sensor melalui internet. Hal ini akan membantu kita dalam menjalani kehidupan sehari-hari. IOT menerapkan kecerdasan buatan dan internet untuk memberikan solusi yang inovatif terhadap berbagai tantangan dan permasalahan yang ada di dunia [14].

B. ESP32

ESP32, mikrokontroler multifungsi yang dikembangkan oleh Espressif, sangat umum digunakan dalam banyak aplikasi. Contohnya termasuk sambungan robot, pengisi daya mobil pintar, otomatisasi pertanian, sistem pemantauan energi, dan kamera pengintai bergerak sederhana. ESP32 merupakan sistem mikrokontroler yang digunakan untuk merekam data dari beberapa sensor dan pengukurannya dikirimkan melalui wifi server klien. ESP32 akan berada dalam mode tidur dan akan meminta tanggal serta waktu kepada NTP (*Network Time Protocol*) [15]. ESP32 memungkinkan sistem pemantauan *real-time* untuk konsumsi energi dan air, deteksi pH, dan akses data jarak jauh melalui Wifi, memberdayakan pengguna untuk membuat keputusan berdasarkan informasi tentang konservasi sumber daya [15], [16]. Karena kemampuan untuk

disesuaikan dan berfungsi dengan baik, ESP32 sangat berguna di banyak bidang yang membutuhkan aplikasi dan sistem tertanam IoT.

C. Sensor Proximity

Sensor Proximity merupakan sensor jarak kapasitif yang bisa mendeteksi objek konduktif maupun non konduktif. Sensor ini sangat cocok digunakan untuk mendeteksi manusia [17]. Sensor ini memancarkan sinyal dan mengukur berapa lama sinyal harus kembali ke objek setelah mengenainya. Beberapa sensor jarak memiliki fitur yang berbeda. Misalnya, satu sensor menggunakan pelat logam, badan dielektrik, dioda, dan kapasitor untuk mendeteksi perubahan kapasitansi ketika tubuh manusia mendekati objek. Sensor proximity banyak digunakan dalam berbagai perangkat elektronik, seperti: *smartphone*, tablet, robot dan mesin industri.

D. Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik digunakan untuk mengukur jarak dengan menggunakan gelombang suara frekuensi tinggi untuk mendeteksi keberadaan objek dan jangkauannya. Sistem ini mengukur pantulan dari gema suara dari suatu objek atau mendeteksi gangguan suara saat objek lewat di antara pemancar dan penerima [18]. Sensor ultrasonik bekerja menggunakan metode trigger dan echo [19].

E. Load Cell

Load Cell adalah komponen utama pada sistem timbangan digital. Dengan menggunakan load cell kita akan menerima hasil perubahan beban sesuai yang terdapat di atasnya [20]. *Load Cell* ringan terdiri dari anggota penerima beban, anggota utama, anggota pemancar beban, dan bagian berhenti untuk mencegah kerusakan yang disebabkan oleh kelebihan beban. Untuk memenuhi kebutuhan tertentu, *load cell* dapat dibuat dari berbagai bahan, bentuk, dan konfigurasi. Misalnya, load cell tipe kolom dengan penampang berbentuk H atau pembawa bahan elastis dengan serat optik terpasang untuk penginderaan deformasi. Alat ini sangat penting untuk pengukuran beban dan pemantauan gaya dalam berbagai industri.

F. Motor servo

Motor servo digunakan dalam mesin-mesin industri untuk menggerakkan atau memutar objek dengan presisi tinggi [21], merupakan jenis motor yang posisinya terus dipantau dan dikontrol kembali ke dalam sistem kontrol melalui mekanisme umpan balik tertutup (*closed feedback*). Motor ini terbentuk oleh serangkaian gigi, potensiometer, dan rangkaian kontrol. Motor servo biasanya terdiri dari casing dengan fitur pembuangan panas yang ditingkatkan, struktur dengan penerapan dan stabilitas tinggi, dan desain untuk menekan pulsasi torsi keengganan untuk operasi yang lebih lancar. Selain itu, motor servo dapat memiliki fitur seperti penghapusan gaya gerak listrik belakang secara otomatis untuk meningkatkan keandalan dan masa pakai yang lebih lama. Motor servo sangat penting untuk mesin, dan membutuhkan mekanisme kontrol dan umpan balik yang tepat. Mereka dapat diintegrasikan ke dalam sistem dengan sensor induktif untuk kecepatan, orientasi, lokasi, dan deteksi arah, meningkatkan keselamatan, kontrol presisi, dan kemampuan otomatisasi.

G. Relay

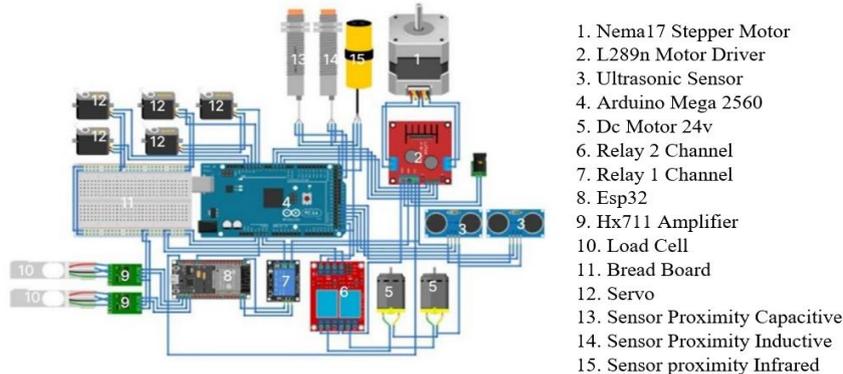
Relay adalah saklar yang dioperasikan secara elektrik. Relay yang dapat beroperasi secara mekanis disebut relai elektromagnetik dan ada pula yang merupakan relai solid-state. Relai diimplementasikan dan juga menyediakan isolasi listrik antara rangkaian penginderaan dan rangkaian penggerak, atau di mana beberapa rangkaian harus dikontrol oleh satu sinyal [22]. Relay biasanya bekerja seketika, tanpa adanya penundaan waktu, akan langsung menutup pengambilan keputusan [23]. Untuk berbagai tujuan, seperti perlindungan jaringan, relay komunikasi, dan pengecualian node dalam jaringan overlay, relay digunakan. Relay sangat penting dalam jaringan overlay untuk menjaga konektivitas sambil mengecualikan node yang meninggalkan. Model interkoneksi berbasis relay dapat digunakan untuk mengubah topologi dan mengatur hak akses. Secara umum, relay adalah perangkat yang dapat melakukan banyak hal dan dapat digunakan untuk berbagai tujuan, seperti melindungi listrik, mengoptimalkan jaringan, dan stabilkan sistem komunikasi sendiri.

III. METODE PENELITIAN

Tahapan yang dilakukan dalam menjalankan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan Data Sekunder
 - a) Menyusun tinjauan literatur serta tinjauan pustaka untuk menggali informasi terkini mengenai penerapan teknologi Internet of Things (IoT), peran Modul ESP32 dalam manajemen sampah, serta proses transformasi dari sampah biasa menjadi produk setengah jadi.
 - b) Mengkaji informasi dalam data sampah yang terdapat pada area instalasi guna menentukan banyaknya dan tipe sampah yang dihasilkan beserta karakteristiknya untuk persiapan proses pengolahan.
 - c) Melakukan kajian terhadap data pasar dan peluang bisnis yang terkait dengan transformasi sampah menjadi barang setengah jadi.
2. Penyusunan Rancangan Teknis
 - d) Melakukan perancangan dan pemilihan komponen Internet of Things (IoT) yang cocok dan sesuai untuk menjalankan fungsi pemilahan sampah organik dan non-organik.
 - e) Merencanakan dan menentukan mesin pengelolaan sampah yang cocok dengan jenis sampah yang akan diproses oleh sistem.
 - f) Menyusun rancangan teknis yang komprehensif dan rangkaian sistem pengelolaan sampah secara total.
3. Pembuatan Produk/ Layanan
 - g) Merancang dan mengembangkan sistem perangkat Internet of Things (IoT) dengan menggunakan Modul ESP32 untuk melaksanakan proses pemilahan sampah organik dan non-organik.
 - h) Membuat dan mengembangkan perangkat alat pengolahan sampah yang mampu mengubah sampah non-organik berubah menjadi produk setengah jadi.
 - i) Merancang dan membuat sistem monitoring serta evaluasi yang berbasis IoT untuk mengawasi performa perangkat pemrosesan sampah.
4. Pengujian Keandalan Karya

Menerapkan perangkat lunak Proteus sebagai alat untuk memasukkan data dan menghasilkan proyeksi hasil pengujian, bertujuan untuk memperkuat validitas serta memprediksi kinerja dari produk yang akan dihasilkan.
5. Evaluasi Penilaian atau Prediksi Penerimaan Masyarakat
 - j) Melakukan penilaian kelayakan bisnis guna mengevaluasi sejauh mana potensi respon masyarakat terhadap barang/layanannya yang akan dihasilkan.
 - k) Memanfaatkan data pasar dan analisis potensi bisnis yang telah diperoleh pada tahap pertama.
6. Tahap Akhir
 - l) Melakukan perbaikan serta modifikasi di dalam manajemen sampah berdasarkan temuan hasil pengujian dan penilaian.
 - m) Menyelenggarakan sesi pemberian pelatihan kepada pengguna tempat pembuangan sampah dan petugas pengumpulan sampah tentang penerapan teknologi Internet of Things (IoT) dalam manajemen sampah.
 - n) Melaksanakan pengawasan dan *maintenance* secara berkala untuk menjaga kinerja optimal manajemen sampah dan perangkat pemrosesan sampah.
 - o) Melaksanakan penilaian berkala terhadap sistem pengelolaan sampah untuk terus meningkatkan kinerja dan efisiensi dalam manajemen sampah.



Gambar 1. Schematic Sistem

Dalam pengembangan skematik IoT, sebuah sistem yang inovatif dan efisien telah dirancang untuk mengintegrasikan Arduino Mega dan ESP32. Pada Gambar 1. Arduino Mega bertindak sebagai bagian inti yang mengontrol dan mengolah data. Sementara itu ESP32 berfungsi sebagai modul IoT yang mengelola koneksi dan komunikasi dengan jaringan. Pada skematik ini, terdapat relay yang dikendalikan oleh ESP32 dalam hal catu daya untuk menyalakan dan mematikan Arduino Mega 2560. Relay berfungsi sebagai saklar yang dapat diatur melalui sinyal dari ESP32, yang memungkinkan pengguna untuk mengontrol perangkat Arduino Mega melalui jaringan internet atau *local server*.

Sistem ini memungkinkan ESP32 untuk mengirimkan perintah pengontrolan daya ke Arduino Mega melalui komunikasi serial, yang memicu relay untuk mengatur daya yang diteruskan ke perangkat eksternal. Hal ini memberikan fleksibilitas kepada pengguna untuk mengendalikan perangkat secara remote melalui antarmuka web atau aplikasi IoT. Selain itu, ESP32 dapat berfungsi sebagai titik akses Wi-Fi, yang memungkinkan pengaturan dan pemantauan yang mudah melalui jaringan lokal atau internet. Dengan integrasi Arduino Mega dan ESP32 dalam skematik ini, sistem IoT yang handal dan responsif dapat diciptakan untuk aplikasi kontrol daya yang efektif.

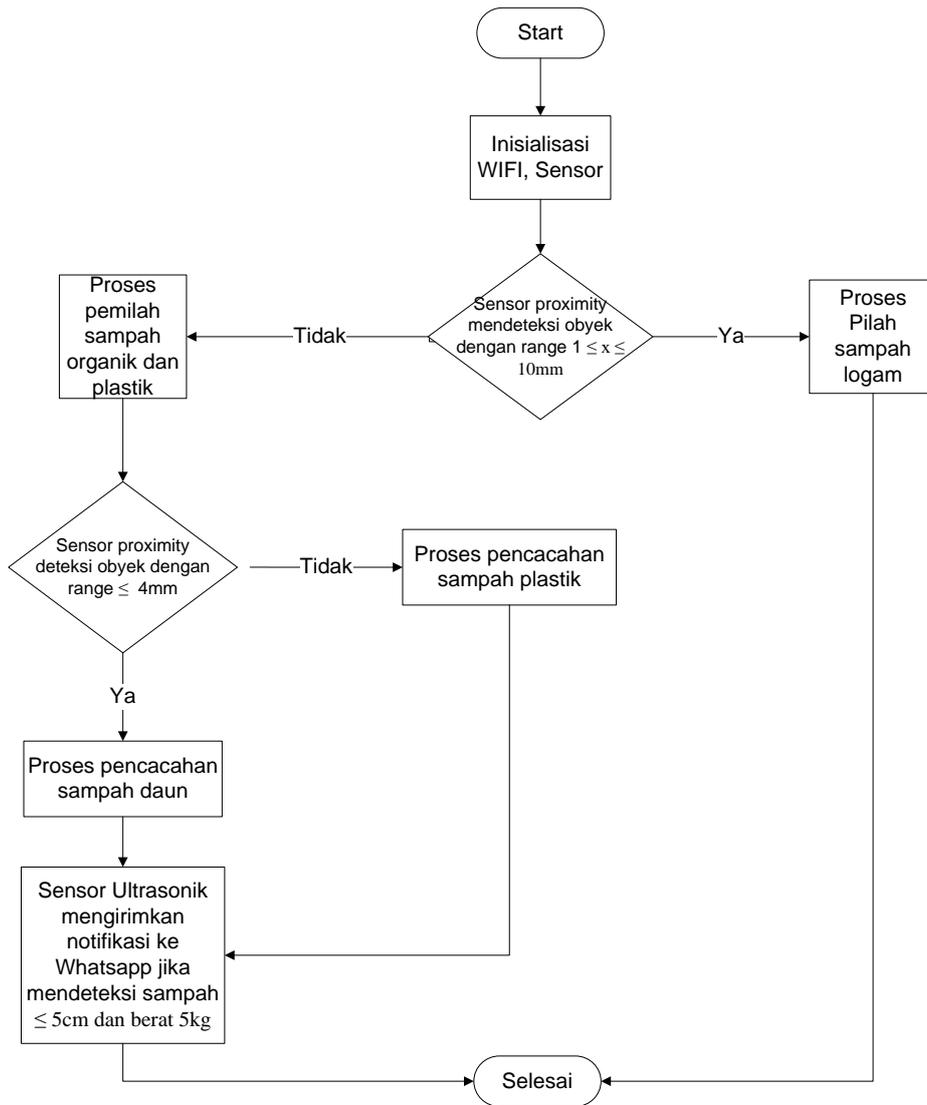
Dalam struktur kerja Arduino Mega pada sistem IoT ini, terdapat beberapa komponen dan sensor yang memberikan fungsionalitas yang beragam. Arduino Mega dilengkapi dengan 3 sensor proximity, masing-masing berjenis *infrared* (IR), kapasitif, dan induktif, yang bertugas mendeteksi adanya sampah di sekitarnya. Selain itu, terdapat juga 2 sensor ultrasonik yang berfungsi untuk mengukur jarak dan membantu dalam mendeteksi objek di sekitarnya.

Sistem ini menggunakan 5 servo motor yang dikendalikan oleh Arduino Mega dan bergerak sesuai dengan kondisi yang dideteksi oleh sensor. Selanjutnya, terdapat 2 *load cell* yang terhubung dengan ESP32 untuk memberikan informasi berat sampah melalui *live server*. Relay 2 *channel* pada Arduino Mega memberikan daya pada motor DC 24V yang digunakan dalam sistem ini.

Khusus untuk sensor proximity, ketika mendeteksi adanya sampah, *stepper motor* diaktifkan oleh Arduino Mega. *Stepper motor* ini dapat memberikan gerakan yang terukur dan presisi untuk tujuan tertentu, seperti menggeser sampah dan membuka penutup secara otomatis.

Dengan integrasi semua komponen ini, sistem menciptakan lingkungan IoT yang responsif, dimana Arduino Mega berfungsi sebagai otak utama yang mengkoordinasikan kerja semua sensor dan aktuator. Data berat dari *load cell* yang dikirim melalui ESP32 dan kontrol daya melalui relay memberikan pemantauan yang lengkap dan kendali yang efisien terhadap sistem manajemen sampah ini.

Gambar 2 menjelaskan tentang diagram alur berjalannya sistem secara keseluruhan. Dimulai dari proses pengaturan awal dengan internet, lalu selanjutnya akan masuk pada system *controlling* dimana kita dapat mengaktifkan dan menonaktifkan sistem. Setelah relay menyala maka system akan menjalankan sensor yang terdapat didalamnya. Jika sensor proximity mendeteksi adanya keberadaan sampah. Stepper motor akan mengarahkannya ke tempat penyimpanan yang telah disiapkan. Sampah yang memiliki dimensi antara 1 hingga 10 mm akan terkategori sebagai logam dan masuk ke tempat penyimpanan khusus. Sedangkan objek yang terdeteksi oleh sensor proximity induktif dengan jarak kurang dari atau sama dengan 4 mm akan diidentifikasi sebagai sampah daun. Jika tidak memenuhi kedua kondisi tersebut, objek dianggap sebagai sampah plastik. Proses pencacahan di setiap tempat penyimpanan dimulai ketika sensor ultrasonik mendeteksi objek dengan jarak kurang dari atau sama dengan 5 cm. Hasil pencacahan akan masuk ke tempat penyimpanan akhir, dan sistem akan mengirimkan notifikasi melalui live server saat kapasitas tempat penyimpanan akhir mencapai antara 4 kg hingga 5 kg pada setiap tempat penyimpanannya.



Gambar 2. Diagram Alir Sistem

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dalam penelitian ini berupa sebuah alat “*Smart waste*” yang dibuat menggunakan bahan baja ringan dan dilapisi dengan plat aluminium dengan ukuran 70 X 60 X 120 cm. Alat tersebut dilapisi dengan plat aluminium dan akrilik pada bagian depan sehingga pengguna dapat melihat proses pengolahan alat tersebut. Tampilan alat tersebut dijabarkan sebagai berikut :



Gambar 3. Tampilan Depan dan Belakang “*Smart waste*”

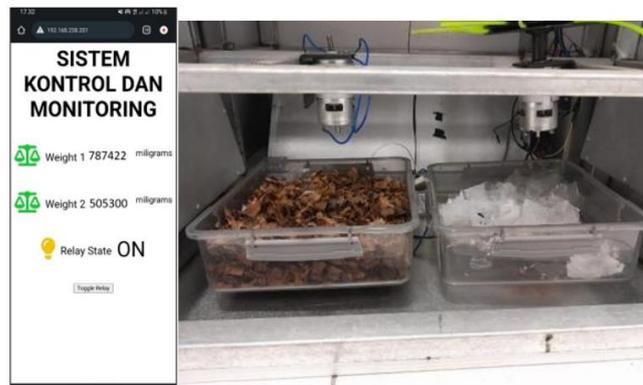
Alat ini dibuat dengan kerangka besi dan dilapisi plat aluminium, serta terdiri dari 3 tempat penyimpanan yang akan digunakan untuk hasil pencacahan sampah organik, sampah plastik, dan sampah yang tidak

terdeteksi. pengguna akan memasukkan sampah pada tempat yang telah tersedia kemudian stepper akan berjalan dan melakukan pemilahan sampah sesuai dengan kategori yang sudah didefinisikan pada program. Gambar 3 adalah tampilan depan dari alat “*Smart Waste*”.



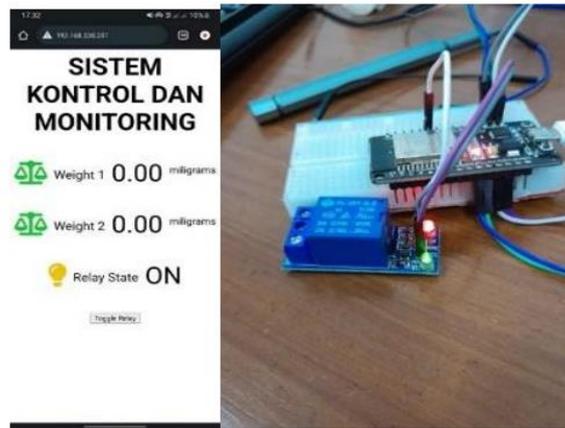
Gambar 4. Pengujian Load Cell Kondisi Pertama

Gambar 4 merupakan kondisi pertama tanpa beban berhasil divalidasi dengan kedua sensor load cell menunjukkan output nilai 0mg secara simultan. Penempatan objek pada kedua load cell menghasilkan respons yang stabil dan konsisten, hal ini untuk memastikan keberhasilan prototipe dalam memantau perubahan beban dari dua sumber secara real-time.



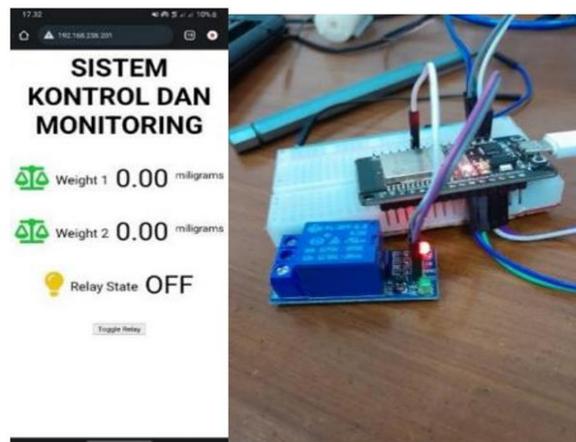
Gambar 5. Pengujian *Load Cell* Kondisi Kedua

Gambar 5 merupakan tahap pengujian selanjutnya, objek dengan beban ditempatkan pada dua sensor load cell yang terhubung dengan amplifier HX711 dan ESP32. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa load cell menanggung beban sebesar 787442 mg, sementara load cell 2 mendeteksi beban seberat 505300 mg. Sistem dengan cepat merespon perubahan beban dari kedua sumber, dan data hasil pengukuran tersebut ditransmisikan secara real-time melalui ESP32 ke server. Melalui antarmuka web, peneliti dapat memantau dan menganalisis perubahan nilai beban pada kedua load cell dengan akurat. Pengujian ini menegaskan fleksibilitas dan ketangguhan prototipe dalam mengatasi pemantauan beban ganda, serta menawarkan solusi yang dapat diandalkan untuk berbagai aplikasi pemantauan berat dengan tingkat akurasi yang tinggi.



Gambar 6. Pengujian Relay Kondisi ON

Dalam pengembangan prototipe dengan ESP32, dua sensor load cell, dan amplifier HX711, kami melibatkan tambahan fungsi relay untuk mengaktifkan atau mematikan perangkat eksternal. Saat tombol "On" di antarmuka web diaktifkan, kondisi relay diatur ke "On" dengan indikator led hijau menyala. Pada saat yang sama, objek dengan ditempatkan pada dua load cell yang menghasilkan pengukuran beban masing-masing 0 mg untuk load cell 1 dan 0 mg untuk load cell 2. Sistem dengan respons cepat menanggapi perubahan beban dan mentransmisikan data secara real-time ke server. Peneliti dapat memantau nilai beban pada kedua load cell melalui antarmuka web, sambil memiliki kontrol tambahan untuk mengaktifkan atau mematikan perangkat eksternal melalui kondisi relay yang diatur oleh tombol "On". Integrasi ini memberikan solusi yang komprehensif untuk pemantauan berat dengan kontrol fleksibel yang dapat disesuaikan melalui antarmuka web.



Gambar 7. Pengujian Relay Kondisi Off

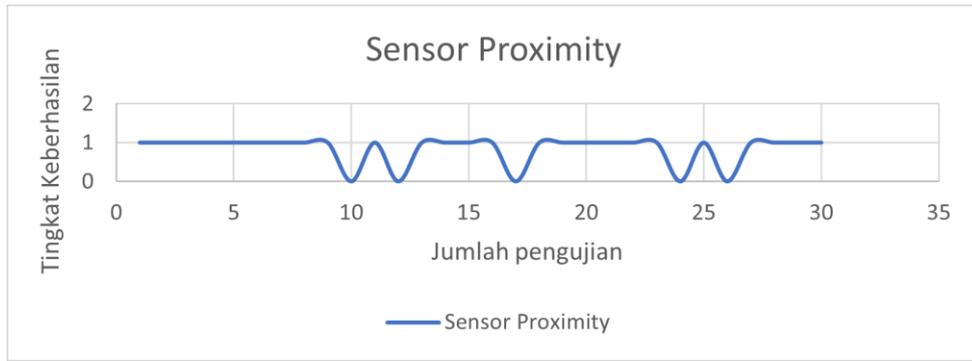
Dalam pengembangan prototipe dengan ESP32, dua sensor load cell, amplifier HX711, dan kontrol relay, kami mengimplementasikan fitur tambahan yang memungkinkan pengguna mematikan perangkat eksternal. Saat tombol "Off" di antarmuka web diaktifkan, kondisi relay diatur ke "Off" dengan indikator led hijau mati. Pada saat ini, meskipun objek masih ditempatkan pada dua load cell, nilai beban yang diukur oleh sensor tidak memengaruhi perangkat eksternal karena relay dalam kondisi mati. Sistem tetap responsif terhadap perubahan beban dan mentransmisikan data secara real-time ke server, sementara pengguna memiliki kontrol penuh untuk mengaktifkan atau mematikan perangkat eksternal sesuai kebutuhan melalui antarmuka web yang telah disediakan. Integrasi ini memberikan solusi yang fleksibel dan terkontrol dengan baik untuk pemantauan berat dan pengelolaan perangkat eksternal. Pengujian sistem dilakukan secara langsung dengan menjalankan alat dalam 30 kali percobaan untuk setiap komponen yang ada.

Tabel 1. Hasil Pengujian Komponen *Smart Waste*

Testing	Sensor Proximity	Sensor Ultrasonik	Motor Servo	Load cell HX711	Stepper	Whatsapp	Relay
1	-	√	√	√	√	√	√
2	√	√	√	√	√	√	√
3	√	√	√	√	√	√	√
4	√	√	√	√	√	√	√
5	√	√	√	-	√	√	-
6	√	√	-	√	√	-	√
7	√	√	√	√	√	√	√
8	√	√	√	-	√	√	√
9	√	√	√	√	√	√	-
10	-	√	-	√	√	√	√
11	√	√	√	√	√	√	√
12	-	√	√	-	√	√	√
13	√	√	√	√	√	√	√
14	√	√	√	√	√	√	√
15	√	√	-	√	√	√	√
16	√	√	√	√	√	√	-
17	√	√	√	√	√	-	√
18	√	√	√	√	√	√	√
19	√	√	√	√	√	√	√
20	√	√	-	√	√	√	√
21	√	√	√	√	√	√	-
22	√	√	√	√	√	√	√
23	√	√	-	√	√	√	√
24	-	√	√	√	√	√	√
25	√	√	√	√	√	-	√
26	-	√	√	√	√	√	√
27	√	√	-	√	√	√	-
28	√	√	√	√	√	√	√
29	√	√	-	√	√	√	√
30	√	√	√	√	√	√	√
Total	25	30	23	27	30	27	25

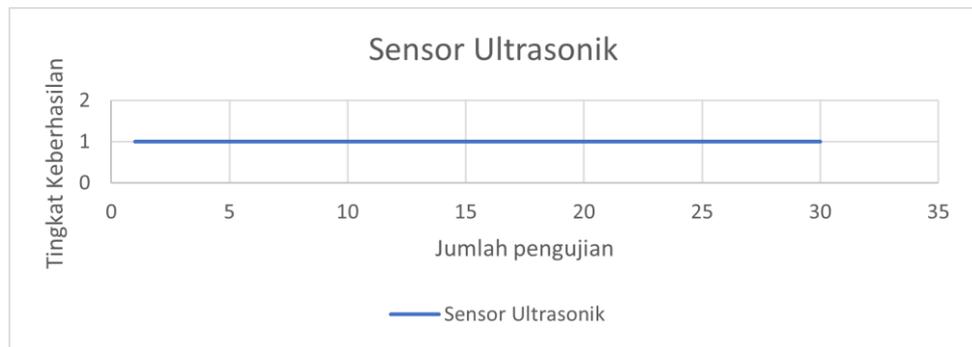
Dari Tabel 1 didapatkan total keberhasilan dalam pengujian sistem “*Smart Waste* “ pada masing-masing komponen yang telah di uji coba sebanyak 30 kali dan dalam tabel 1 ditampilkan hasil pengujian untuk Sensor Proximity berhasil sebanyak 26 kali, sensor ultrasonik berhasil sebanyak 30 kali, *motor servo* berhasil sebanyak 23 kali, *load cell* HZ711 berhasil sebanyak 27 kali, *stepper* berhasil sebanyak 30 kali, whatsapp berhasil sebanyak 26 dan relay berhasil sebanyak 26 kali.

Dari hasil pengujian pada sistem “*Smart Waste*” yang telah dijabarkan pada tabel 1 pengujian dilakukan sebanyak 30 kali pada masing-masing komponen sistem “*Smart Waste*” maka hasil pengujian akan ditampilkan dalam bentuk grafik seperti berikut ini.



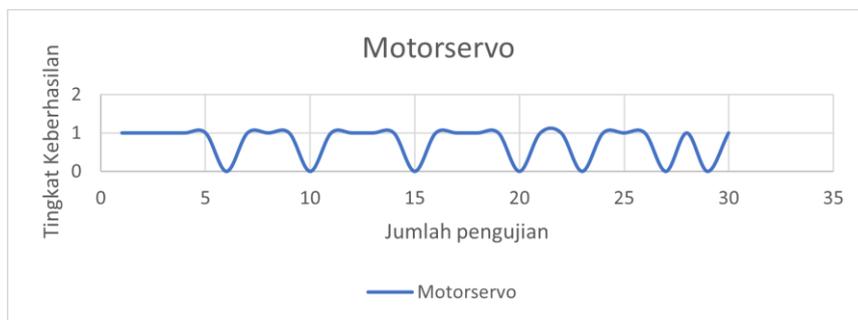
Gambar 8. Pengujian Sensor Proximity

Dalam Gambar 8 ditampilkan grafik dari hasil pengujian dari sensor untuk pendeteksi sampah dengan menggunakan proximity. Pengujian sensor ini dilakukan sebanyak 30 kali percobaan dan didapatkan hasil 83% keberhasilan karena 25 kali percobaan yang berhasil dan 5 kali percobaan dimana sensor tersebut gagal berjalan.



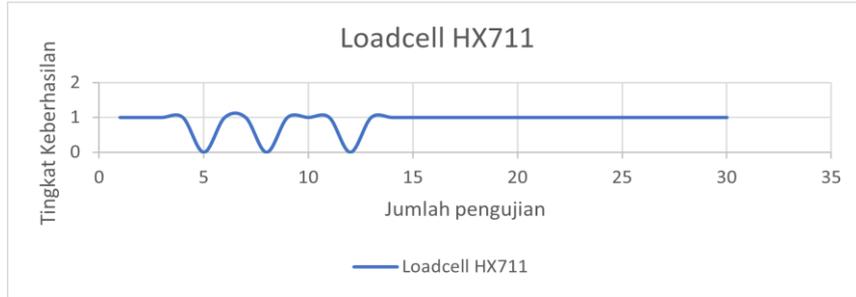
Gambar 9. Pengujian Sensor Ultrasonik

Dalam Gambar 9 ditampilkan grafik dari hasil pengujian sensor ultrasonik. Pengujian sensor ini dilakukan sebanyak 30 kali percobaan dan didapatkan hasil berhasil 100% karena selama 30 kali percobaan sensor ultrasonic berjalan dengan baik.



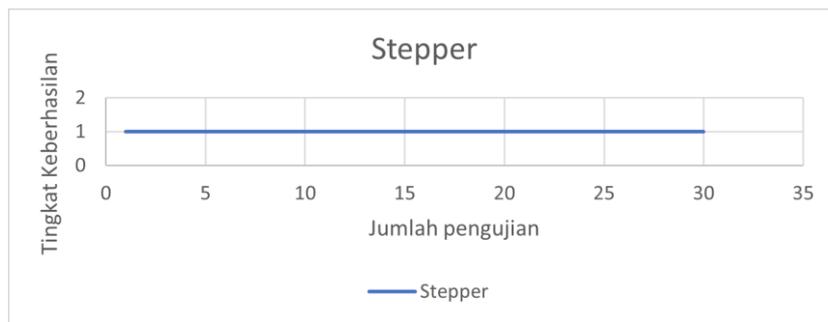
Gambar 10. Pengujian Motor Servo

Dalam Gambar 10 ditampilkan grafik dari hasil pengujian motor servo. Pengujian ini dilakukan sebanyak 30 kali percobaan dan didapatkan hasil berhasil sebesar 76 % dengan tingkat keberhasilan sebanyak 23 dan 7 kali percobaan dimana motor servo tidak berjalan.



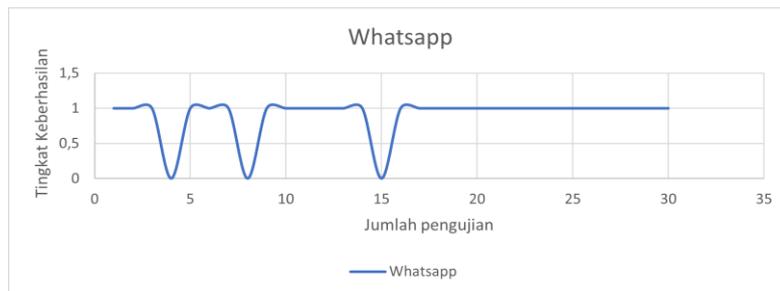
Gambar 11. Pengujian *Load Cell*

Dalam Gambar 11 ditampilkan grafik dari hasil pengujian *Load Cell*. Pengujian ini dilakukan sebanyak 30 kali percobaan dan didapatkan hasil berhasil 90% karena 27 kali percobaan yang berhasil dan 3 kali percobaan dimana *load cell* gagal berjalan.



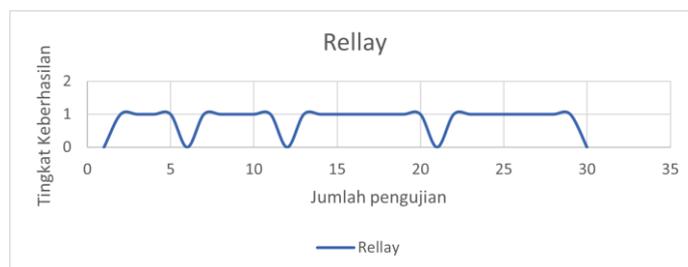
Gambar 12. Pengujian *Stepper*

Dalam Gambar 12 ditampilkan grafik dari hasil pengujian *stepper*. Pengujian ini dilakukan sebanyak 30 kali percobaan dan didapatkan hasil berhasil 100% .



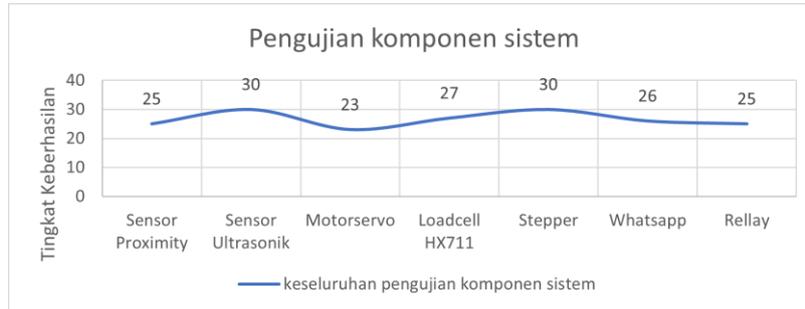
Gambar 13. Pengujian *App Whatsapp*

Dalam Gambar 13 ditampilkan grafik dari hasil pengujian *live Server* untuk *controlling* dan *monitoring*. Pengujian ini dilakukan sebanyak 30 kali percobaan dan didapatkan hasil berhasil 90% karena 27 kali percobaan yang berhasil dan 3 kali percobaan dimana aplikasi tersebut gagal.



Gambar 14. Pengujian *Relay*

Dalam Gambar 14 ditampilkan grafik dari hasil pengujian Relay. Pengujian ini dilakukan sebanyak 30 kali percobaan dan didapatkan hasil berhasil 83% karena 25 kali percobaan yang berhasil dan 5 kali percobaan dimana relay gagal berjalan.



Gambar 15. Pengujian semua komponen

Gambar 15 menjabarkan grafik hasil percobaan untuk seluruh komponen yang terdapat dalam system *Smart Waste*, hasil keseluruhan pengujian system didapatkan rata-rata hasil keberhasilan sebesar 86,67% yang didapatkan dengan menghitung rata-rata seluruh pengujian ini. Dalam pengujian ini terdapat error dalam ketersediaan komponen dan mengakibatkan ketidakstabilan pada sistem.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian ini maka Sistem Monitoring dan Controlling Smart waste berbasis Internet of Things menggunakan modul ESP 32 berjalan dengan baik dan dapat memberikan monitoring dan controlling pada user melalui live server pada aplikasi Whatsapp yang tersedia. Rata-rata keberhasilan untuk semua komponen pada *Smart Waste* tersebut sebesar 88,85%.

REFERENCES

- [1] A. Junaidi, "Internet Of Things, Sejarah, Teknologi Dan Penerapannya : Review," 2015.
- [2] A. Jasim, H. Qasim, E. Jasem, and R. Saihood, "An internet of things based smart waste system," *International Journal Of Electrical And Computer Engineering (IJECE)*, vol. 11, p. 2577, Jun. 2021, doi: 10.11591/ijece.v11i3.pp2577-2585.
- [3] A. Zhang, V. G. Venkatesh, Y. Liu, M. Wan, T. Qu, and D. Husingh, "Barriers To Smart Waste Management For A Circular Economy in China," *J Clean Prod.*, vol. 240, p. 118198, Dec. 2019, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2019.118198.
- [4] Sri Sairam Engineering College, Sri Sairam Engineering College. Department of Information Technology, and Institute of Electrical and Electronics Engineers, Proceedings of the 2017 Second International Conference on Computing and Communications Technologies (ICCCT'17): 23rd and 24th February 2017, Chennai, Tamil Nadu, India.
- [5] J. M. Gutierrez, M. Jensen, M. Henius, and T. Riaz, "Smart Waste Collection System Based on Location Intelligence," in *Procedia Computer Science*, Elsevier, 2015, pp. 120–127. doi: 10.1016/j.procs.2015.09.170.
- [6] T. Rodrigues, P. Ramos, C. Soares De Morais, and A. Paula Barbosa-Póvoa, "Ramos, T. R. P., Morais, C. S. & Barbosa-Póvoa, A. P. (2018). The smart waste collection routing problem: alternative operational management approaches. *Expert Systems with Applications*. 103,146-158."
- [7] D. Abuga and N. S. Raghava, "Real-time smart garbage bin mechanism for solid waste management in smart cities," *Sustain Cities Soc.*, vol. 75, p. 103347, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.SCS.2021.103347.
- [8] Institut Teknologi Bandung. Fakultas Teknologi Industri. Instrumentation and Control Research Group, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Indonesia Section, and Institute of Electrical and Electronics Engineers, Proceedings of the 2017 5th International Conference on Instrumentation, Control, and Automation (ICA): Yogyakarta, Special Region of Yogyakarta, Indonesia, August 9-11, 2017.
- [9] R. Rizal and I. Karyana, "Sistem Kendali dan Monitoring pada Smart Home Berbasis Internet of Things (IoT)," vol. 1, no. 2, pp. 43–50, 2019.
- [10] T. Fadlilla, Mt. S. Budiastuti, and M. R. Rosariastuti, "Potential of Fruit and Vegetable Waste as Eco-enzyme Fertilizer for Plants," *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, vol. 9, no. 4, pp. 2191–2200, Apr. 2023, doi: 10.29303/jppipa.v9i4.3010.
- [11] S. D. Meyrena and R. Amelia, "Analisis Pendayagunaan Limbah Plastik Menjadi Ecopaving Sebagai Upaya Pengurangan Sampah," *Indonesian Journal of Conservation*, vol. 9, no. 2, pp. 96–100, Dec. 2020, doi: 10.15294/ijc.v9i2.27549.
- [12] S. Farin, "Penumpukan Sampah Plastik Yang Sulit Terurai Berpengaruh Pada Lingkungan Hidup Yang Akan Datang. 2021. doi: 10.31219/osf.io/y2v5t.
- [13] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, and M. Zorzi, "Internet of things for smart cities," *IEEE Internet Things J.*, vol. 1, no. 1, pp. 22–32, Feb. 2014, doi: 10.1109/JIOT.2014.2306328.
- [14] S. Kumar, P. Tiwari, and M. Zymbler, "Internet of Things is A Revolutionary Approach For Future Technology Enhancement: a review," *J Big Data*, vol. 6, no. 1, Dec. 2019, doi: 10.1186/s40537-019-0268-2.

- [15] I. Al Abbas, "International Journal of Computer Science and Mobile Computing ESP32 Based Data Logger," 2019. [Online]. Available: www.ijcsmc.com pp 259-267.
- [16] A. Umare, "Wi-Fi Pan Tilt Surveillance Camera Using ESP32," *Int J Res Appl Sci Eng Technol*, vol. 11, no. 6, pp. 2375–2382, Jun. 2023, doi: 10.22214/ijraset.2023.53532.
- [17] R. Moheimani, P. Hosseini, S. Mohammadi, and H. Dalir, "Recent Advances on Capacitive Proximity Sensors: From Design and Materials to Creative Applications," *C-Journal of Carbon Research*, vol. 8, no. 2. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), Jun. 01, 2022. doi: 10.3390/c8020026.
- [18] K. K. H, H. Bongane, T. Jarag, A. Arjun, and S. Tingare, "Automatic Breaking System Using Ultrasonic Sensors." [Online]. Available: www.ijres.org
- [19] Hanan, A. A. N. Gunawan, and M. Sumadiyasa, "Water level detection system based on ultrasonic sensors HC-SR04 and Esp8266-12 modules with telegram and buzzer communication media," *Instrumentation Mesure Metrologie*, vol. 18, no. 3, pp. 305–309, 2019, doi: 10.18280/i2m.180311.
- [20] R. Ishak, H. Widyastuti, A. R. BSI Jakarta Jl S Fatmawati No, P. Labu, and J. Selatan, "Penjualan Toko Kue," *Jurnal SWABUMI*, vol. 6, no. 1, 2018.
- [21] H. M. Ali, Y. Hashim, and G. A. Al-Sakkal, "Design and implementation of Arduino based robotic arm," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 12, no. 2, pp. 1411–1418, Apr. 2022, doi: 10.11591/ijece.v12i2.pp1411-1418.
- [22] R. Parab and S. Prajapati, "IoT based relay operation," *Int J Eng Adv Technol*, vol. 9, no. 1, pp. 6515–6520, Oct. 2019, doi: 10.35940/ijeat.A1415.109119.
- [23] S. S. R, S. C. Biradar, and A. Professor, "Study and Analysis of Modern Numerical Relay Compared to Electromechanical Relay for Transmission of Power," *International Journal of Engineering Trends and Technology*, vol. 47, 2017, [Online]. Available: <http://www.ijettjournal.org> pp 509-515