MASPOIN : SISTEM PENYETORAN SAMPAH PLASTIK BERBASIS IoT MENGGUNAKAN ESP 32

Dede Kusnadi[1], Reni Listiana[2]

[1,2] *Program Studi Teknik Elektronika - Politeknik TEDC Bandung*

Jl. Politeknik-Pesantren KM2 Cibabat Cimahi Utara – Cimahi Jawa Barat - Indonesia

dede.kusnadi26@gmail.com, renilistiana@poltektedc.ac.id

Correspondent Email: renilistiana@poltektedc.ac.id

Abstrak— Permasalahan pengelolaan sampah plastik yang semakin meningkat membutuhkan inovasi sistem pengumpulan sampah yang lebih efektif dan menarik bagi masyarakat. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah menerapkan konsep bank sampah berbasis teknologi yang mampu memberikan nilai tambah bagi pengguna. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun ATM Bank Sampah Botol MASPOIN (*Masukkan Sampah Peroleh Poin*) berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32 dengan sistem identifikasi dan klasifikasi otomatis. Sistem menggunakan RFID untuk identifikasi pengguna, sensor *proximity* untuk mendeteksi keberadaan material logam, *load cell* untuk mengukur berat, sensor *infrared* untuk klasifikasi ukuran botol, serta servo motor sebagai mekanisme penyortiran. Pada proses validasi berat, pengukuran awal terhadap berbagai jenis dan merek botol plastik yang umum ditemukan menghasilkan berat maksimum 28 gram. Nilai tersebut kemudian diberikan toleransi sebesar 2 gram sehingga ditetapkan batas penerimaan sebesar 30 gram. Data hasil penyetoran dikirimkan melalui jaringan internet menuju Firebase Realtime Database dan ditampilkan melalui *dashboard* monitoring. Pengujian dilakukan terhadap setiap komponen dan sistem secara keseluruhan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa MASPOIN mampu melakukan identifikasi pengguna, validasi sampah, pengukuran berat, klasifikasi ukuran botol, pemberian poin, serta penyimpanan data transaksi dengan tingkat keberhasilan sebesar 96,67%. Nilai tersebut diperoleh berdasarkan 30 pengujian sistem secara keseluruhan, dengan 29 pengujian berhasil dan 1 pengujian tidak berhasil. Pengujian juga menunjukkan keterbatasan pada kemasan bekas minuman berbentuk kotak yang tidak berhasil terdeteksi oleh sensor *infrared* dan *proximity* karena bentuknya tidak sesuai dengan selongsong berbentuk bulat sehingga terdapat jarak antara objek dan sensor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa MASPOIN dapat menjadi solusi alternatif dalam mendukung proses pemilahan dan pengumpulan sampah plastik berbasis IoT.

Kata kunci— ESP32, Internet of Things, MASPOIN, sampah plastik, RFID, load cell, Firebase.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah mendorong penerapan teknologi digital pada berbagai bidang, termasuk dalam pengelolaan lingkungan. Salah satu teknologi yang berkembang dan banyak diterapkan adalah *Internet of Things* (IoT), yaitu konsep yang memungkinkan perangkat fisik terhubung melalui jaringan internet untuk melakukan pertukaran data secara otomatis [1]. Penerapan IoT dalam sistem pengelolaan lingkungan dapat mendukung proses pemantauan dan pengendalian secara lebih terintegrasi.

Salah satu permasalahan lingkungan yang masih memerlukan perhatian adalah pengelolaan sampah plastik. Sampah plastik memiliki karakteristik sulit terurai sehingga dapat menimbulkan permasalahan lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik [2]. Kondisi tersebut mendorong perlunya upaya pengelolaan sampah yang tidak hanya berorientasi pada pengumpulan, tetapi juga mendukung proses pemilahan dan pemanfaatan kembali sampah yang masih memiliki nilai guna [2].

Bank sampah merupakan salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mendorong masyarakat melakukan pemilahan sampah sejak dari sumbernya. Melalui konsep tersebut, sampah yang telah dipilah dapat dikumpulkan dan memiliki nilai ekonomi sehingga memberikan manfaat bagi lingkungan sekaligus memberikan nilai tambah bagi masyarakat [2]. Namun, proses penerimaan sampah pada sistem bank sampah masih dapat melibatkan aktivitas manual, seperti identifikasi pengguna, pemeriksaan sampah, penimbangan, pencatatan transaksi, dan pengelolaan data.

Perkembangan mikrokontroler dan sensor memberikan peluang untuk mengembangkan proses tersebut menjadi sistem yang lebih otomatis. Mikrokontroler dapat digunakan sebagai pusat pengendalian untuk menerima data dari berbagai sensor, melakukan proses validasi, serta mengendalikan aktuator berdasarkan kondisi yang telah ditentukan. Integrasi dengan teknologi IoT juga

memungkinkan data transaksi yang dihasilkan sistem dikirimkan dan disimpan pada basis data sehingga informasi dapat dipantau secara lebih mudah.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem berbasis teknologi untuk mendukung pengumpulan, identifikasi, dan pemilahan sampah. Santoso dan Irmanto [3] mengembangkan sistem *Smart Trash Bank Sampah* berbasis *Internet of Things* dengan memanfaatkan RFID dan sensor berat untuk identifikasi pengguna serta pencatatan data sampah secara digital. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa penerapan IoT dapat mendukung proses pengelolaan data pengguna dan transaksi pada bank sampah.

Penelitian lain oleh Pamungkas dan Persada [4] mengembangkan *Reverse Vending Machine* (RVM) berbasis IoT untuk pengelolaan sampah botol plastik dengan mekanisme insentif berupa poin. Sistem tersebut menggunakan autentikasi pengguna serta ESP32-CAM dan *MobileNet SSD* untuk mendeteksi botol secara *real-time*. Penelitian Sangprasert *et al.* [5] mengembangkan RVM berbiaya rendah untuk mengidentifikasi dan memilah botol plastik dan kaleng menggunakan sensor warna dan *proximity*. Sistem tersebut juga dilengkapi mekanisme pemberian poin sebagai insentif kepada pengguna. Penelitian lain mengenai RVM berbasis *deep learning* telah menerapkan *image processing* dan model MobileNet untuk melakukan identifikasi, klasifikasi, dan penyortiran botol plastik [6].

Berdasarkan penelitian terdahulu tersebut, teknologi IoT, *reverse vending machine*, dan sistem otomatis telah digunakan untuk mendukung proses pengumpulan, identifikasi, klasifikasi, pemilahan, serta pemberian insentif pada sampah. Namun, penelitian sebelumnya memiliki fokus yang berbeda, seperti klasifikasi berbasis citra, pemilahan berdasarkan material, atau mekanisme autentikasi dan pemberian poin. Belum terdapat integrasi yang mencakup identifikasi pengguna, validasi material, pengukuran berat, klasifikasi ukuran botol, pemberian poin, pencatatan transaksi, serta pemantauan data melalui *dashboard* dalam satu sistem berbasis ESP32. Kondisi tersebut menjadi dasar pengembangan MASPOIN sebagai sistem penyetoran sampah plastik yang mengintegrasikan berbagai fungsi tersebut dalam satu prototipe.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan MASPOIN (*Masukkan Sampah Peroleh Poin*) sebagai sistem penyetoran sampah plastik berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32. Sistem mengintegrasikan RFID untuk identifikasi pengguna, sensor *proximity* untuk mendeteksi keberadaan material logam, *load cell* untuk mengukur berat, sensor *infrared* untuk klasifikasi ukuran botol, serta servo motor sebagai mekanisme penyortiran. Data hasil penyetoran dikirimkan melalui jaringan internet ke Firebase Realtime Database dan ditampilkan melalui *dashboard* monitoring berbasis web.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan MASPOIN yang mampu melakukan identifikasi pengguna, validasi sampah, pengukuran berat, klasifikasi ukuran botol, pemberian poin, serta penyimpanan data transaksi secara terintegrasi. Kinerja sistem dievaluasi melalui pengujian setiap komponen dan pengujian sistem secara keseluruhan untuk mengetahui tingkat keberhasilan fungsi yang dirancang. Makalah ini selanjutnya membahas tinjauan pustaka pada Bagian II, metode penelitian pada Bagian III, hasil dan pembahasan pada Bagian IV, serta kesimpulan pada Bagian V.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Internet of Things

Internet of Things (IoT) digunakan sebagai pendekatan untuk menghubungkan perangkat fisik dengan jaringan komunikasi sehingga data dari perangkat dapat dikirimkan dan dipertukarkan secara terintegrasi [1]. Karakteristik tersebut mendukung penerapan sistem yang membutuhkan pemantauan data dari perangkat secara jarak jauh dan berkelanjutan.

Pada sistem MASPOIN, konsep IoT dipilih karena sistem tidak hanya melakukan pengolahan data pada perangkat, tetapi juga membutuhkan pengiriman data hasil penyetoran menuju basis data. ESP32 digunakan sebagai pengendali yang menghubungkan proses pembacaan sensor dengan Firebase Realtime Database. Data pengguna, hasil validasi sampah, berat, kategori botol, dan poin kemudian dapat ditampilkan melalui *dashboard* berbasis web sehingga informasi hasil penyetoran dapat dipantau oleh pengguna.

2.2 ESP32

ESP32 dipilih sebagai pengendali utama sistem MASPOIN karena memiliki konektivitas WiFi yang mendukung kebutuhan komunikasi data pada sistem berbasis IoT. Selain itu, ketersediaan GPIO, SPI, I2C, PWM, dan ADC mendukung integrasi ESP32 dengan berbagai sensor, modul RFID RC522, *load cell* melalui HX711, serta aktuator servo [7]. Berdasarkan karakteristik tersebut, ESP32 digunakan sebagai pusat pengolahan data sensor dan pengiriman data transaksi menuju Firebase Realtime Database pada sistem MASPOIN.

Pada sistem MASPOIN, ESP32 menerima masukan dari RFID RC522, sensor *proximity*, sensor *infrared*, serta *load cell* melalui modul HX711. Data hasil pembacaan tersebut diproses berdasarkan logika program untuk menentukan keputusan penerimaan atau penolakan sampah, menghitung poin pengguna, serta mengirimkan data transaksi menuju Firebase Realtime Database.

2.3 Sistem Identifikasi RFID RC522

RFID dipilih sebagai teknologi identifikasi pengguna karena memungkinkan proses pembacaan identitas secara nirkontak melalui komunikasi antara *tag* dan *reader*.

Identitas yang tersimpan pada *tag* dapat digunakan sebagai pembeda antar pengguna sehingga sesuai untuk sistem yang membutuhkan proses identifikasi secara cepat dan berulang [8].

Pada sistem MASPOIN, modul RFID RC522 digunakan untuk membaca UID kartu pengguna. UID yang diperoleh kemudian diteruskan ke ESP32 untuk dibandingkan dengan data pengguna yang telah terdaftar. Pengguna dengan kartu yang valid dapat melanjutkan proses penyetoran, sedangkan kartu yang tidak terdaftar ditolak oleh sistem. Pemanfaatan RFID dengan mekanisme tersebut memungkinkan proses identifikasi pengguna dilakukan sebelum tahapan validasi sampah dan pencatatan transaksi.

2.4 Sensor Proximity

Sensor *proximity* dipilih karena dapat mendeteksi keberadaan objek atau material tertentu tanpa memerlukan kontak langsung. Karakteristik tersebut sesuai untuk sistem otomatisasi yang membutuhkan proses pendeteksian objek sebelum objek diproses lebih lanjut [9].

Pada sistem MASPOIN, sensor *proximity* digunakan secara khusus untuk mendeteksi keberadaan material logam pada objek yang dimasukkan. Hasil pembacaan sensor digunakan untuk membedakan kondisi objek yang terdeteksi mengandung material logam dengan objek yang tidak terdeteksi mengandung material logam. Data tersebut kemudian diproses oleh ESP32 dan digunakan sebagai salah satu parameter dalam proses penerimaan atau penolakan objek.

2.5 Load Cell dan Modul HX711

Pengukuran berat dipilih sebagai salah satu parameter validasi karena berat dapat digunakan untuk memastikan bahwa objek yang dimasukkan memenuhi kriteria penerimaan yang telah ditentukan. *Load cell* digunakan sebagai elemen pengindra beban, sedangkan HX711 digunakan sebagai antarmuka pengukuran antara *load cell* dan mikrokontroler. HX711 memiliki ADC 24-bit dan dirancang untuk aplikasi pengukuran berat serta dapat dihubungkan secara langsung dengan sensor berbasis *bridge* [10].

Pada sistem MASPOIN, *load cell* digunakan untuk memperoleh nilai berat botol yang dimasukkan pengguna. Sinyal dari *load cell* diproses oleh HX711 sebelum diteruskan ke ESP32 sehingga dapat digunakan sebagai parameter dalam proses validasi. Penetapan batas berat 30 gram dilakukan berdasarkan pengujian awal terhadap beberapa jenis dan merek botol plastik bekas minuman yang umum ditemukan di lingkungan sekitar. Hasil pengujian manual menunjukkan bahwa berat botol terbesar yang diperoleh adalah 28 gram. Nilai tersebut kemudian diberikan toleransi sebesar 2 gram untuk mengantisipasi variasi berat dan kondisi botol, sehingga ditetapkan batas berat 30 gram sebagai parameter penerimaan pada sistem MASPOIN.

2.6 Sensor Infrared

Sensor *infrared* dipilih karena dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan objek berdasarkan respons terhadap sinyal inframerah. Karakteristik sensor tersebut memungkinkan pendeteksian posisi atau keberadaan objek tanpa kontak langsung sehingga sesuai untuk mekanisme klasifikasi berdasarkan posisi objek [9].

Pada sistem MASPOIN, beberapa sensor *infrared* ditempatkan pada posisi tertentu di dalam mekanisme penerimaan untuk memperoleh informasi mengenai posisi atau tinggi botol. Kombinasi hasil pembacaan beberapa sensor digunakan oleh ESP32 untuk menentukan kategori ukuran botol. Hasil klasifikasi tersebut selanjutnya digunakan sebagai salah satu parameter dalam menentukan nilai poin yang diperoleh pengguna.

2.7 Servo Motor

Servo motor dipilih sebagai aktuator karena posisi sudutnya dapat dikendalikan sesuai dengan sinyal kendali dari mikrokontroler. Kemampuan pengendalian posisi tersebut sesuai untuk mekanisme otomatisasi yang membutuhkan pergerakan aktuator berdasarkan keputusan hasil pengolahan sensor [11].

Pada sistem MASPOIN, servo motor digunakan untuk menggerakkan mekanisme penerimaan dan penyortiran sampah. Setelah ESP32 memproses hasil identifikasi dan validasi dari sensor, servo bergerak menuju posisi yang telah ditentukan sesuai dengan kondisi objek. Dengan demikian, servo berperan sebagai aktuator yang menerapkan keputusan sistem terhadap objek yang masuk.

2.8 Firebase Realtime Database dan Dashboard

Firebase Realtime Database dipilih sebagai media penyimpanan karena mampu menyimpan data pada basis data berbasis *cloud* dan menyediakan mekanisme sinkronisasi data kepada perangkat atau aplikasi yang terhubung [12]. Karakteristik tersebut sesuai dengan kebutuhan MASPOIN yang memerlukan penyimpanan sekaligus pemantauan data transaksi dari perangkat IoT.

Pada sistem MASPOIN, data hasil penyetoran yang telah diproses oleh ESP32 dikirimkan menuju Firebase Realtime Database melalui jaringan internet. Data tersebut kemudian digunakan oleh *dashboard* berbasis web untuk menampilkan informasi pengguna, hasil penyetoran, perolehan poin, dan riwayat transaksi. Penggunaan Firebase memungkinkan data yang dihasilkan perangkat dapat tersedia pada *dashboard* sehingga informasi hasil penyetoran dapat ditampilkan dan dipantau melalui antarmuka berbasis web.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ATM Bank Sampah Botol MASPOIN dilakukan melalui beberapa tahapan yang meliputi identifikasi masalah, studi literatur, perancangan sistem, implementasi, dan pengujian. Tahapan tersebut digunakan sebagai pedoman dalam proses pengembangan sistem agar setiap bagian perangkat keras dan perangkat lunak dapat dirancang serta diintegrasikan secara terstruktur.

Tahap pertama adalah **identifikasi masalah**, yaitu menganalisis proses pengelolaan sampah botol yang masih dilakukan secara manual, khususnya pada proses identifikasi pengguna, pencatatan transaksi, dan pemberian nilai ekonomi terhadap sampah. Berdasarkan permasalahan tersebut, dirancang sistem ATM Bank Sampah Botol MASPOIN yang mampu melakukan proses penerimaan sampah secara otomatis berbasis elektronika dan IoT.

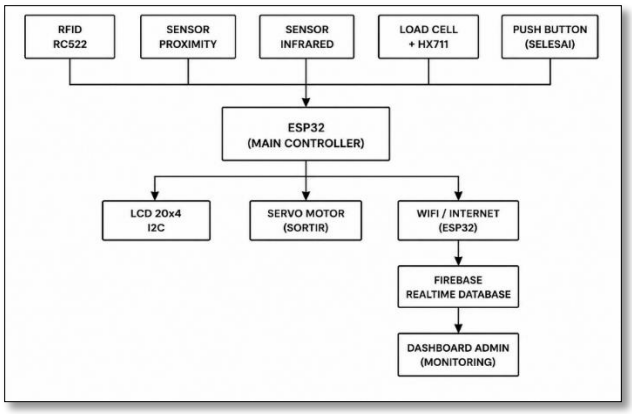
Tahap kedua adalah **studi literatur**, yang dilakukan dengan mengumpulkan referensi dari jurnal ilmiah, buku, *datasheet* komponen, serta dokumentasi teknologi yang digunakan. Studi literatur mencakup konsep IoT, ESP32, RFID, sensor pendeteksi material dan ukuran, pengukuran berat, basis data berbasis *cloud*, serta sistem monitoring berbasis web.

Tahap ketiga adalah **perancangan sistem**, meliputi perancangan arsitektur, pemilihan komponen, hubungan antarperangkat, serta alur kerja sistem. Sistem dirancang dengan mengintegrasikan perangkat input berupa RFID dan sensor, ESP32 sebagai pusat pengolahan, perangkat output berupa LCD dan servo motor, serta Firebase Realtime Database dan dashboard sebagai bagian dari sistem IoT.

Tahap keempat adalah **implementasi**, yaitu merealisasikan rancangan menjadi prototype melalui proses perakitan perangkat keras, pembuatan program mikrokontroler, konfigurasi komunikasi data, serta integrasi dengan Firebase Realtime Database. Tahap terakhir adalah **pengujian**, yang dilakukan terhadap masing-masing fungsi dan keseluruhan sistem untuk mengetahui kesesuaian kinerja dengan rancangan.

3.2 Perancangan Sistem MASPOIN

MASPOIN merupakan prototype ATM Bank Sampah Botol berbasis IoT yang dirancang untuk melakukan identifikasi pengguna, pemeriksaan karakteristik sampah, klasifikasi ukuran botol, perhitungan poin, dan pencatatan transaksi secara digital. Sistem menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali yang mengintegrasikan perangkat input, proses, output, serta komunikasi data berbasis internet.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem MASPOIN

Pada tahap awal, pengguna melakukan identifikasi menggunakan kartu RFID RC522 yang telah terdaftar. Setelah identifikasi berhasil, pengguna memasukkan **botol** plastik ke bagian penerimaan. Sensor *proximity* digunakan untuk mendeteksi keberadaan material logam sebagai pemeriksaan awal terhadap objek, sedangkan *load cell* digunakan untuk mengukur berat dan sensor infrared digunakan untuk menentukan kategori ukuran botol. Data hasil pembacaan sensor diproses oleh ESP32 untuk menentukan keputusan penerimaan atau penolakan serta menghitung poin pengguna.

Untuk validasi berat, batas 30 gram digunakan sebagai parameter penerimaan sesuai dengan kriteria sistem yang telah ditentukan. Hasil pengukuran tersebut menjadi salah satu dasar dalam menentukan apakah botol plastik dapat melanjutkan proses klasifikasi dan pemberian poin.

Data transaksi yang telah diproses kemudian dikirimkan melalui koneksi WiFi ESP32 menuju Firebase Realtime Database. Data yang tersimpan dapat ditampilkan pada dashboard berbasis web untuk memantau informasi pengguna, transaksi, kategori botol, berat, dan perolehan poin.

3.3 Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras MASPOIN terdiri atas ESP32 sebagai pusat kendali, RFID RC522 sebagai sistem identifikasi pengguna, sensor proximity untuk pendeteksian material, sensor infrared untuk klasifikasi ukuran botol, *load cell* dan HX711 untuk pengukuran berat, LCD 20×4 sebagai media informasi, serta servo motor sebagai mekanisme penerimaan atau penolakan sampah. Komponen tersebut diintegrasikan agar proses identifikasi, pemeriksaan, pengolahan, dan penyortiran dapat dilakukan secara otomatis.

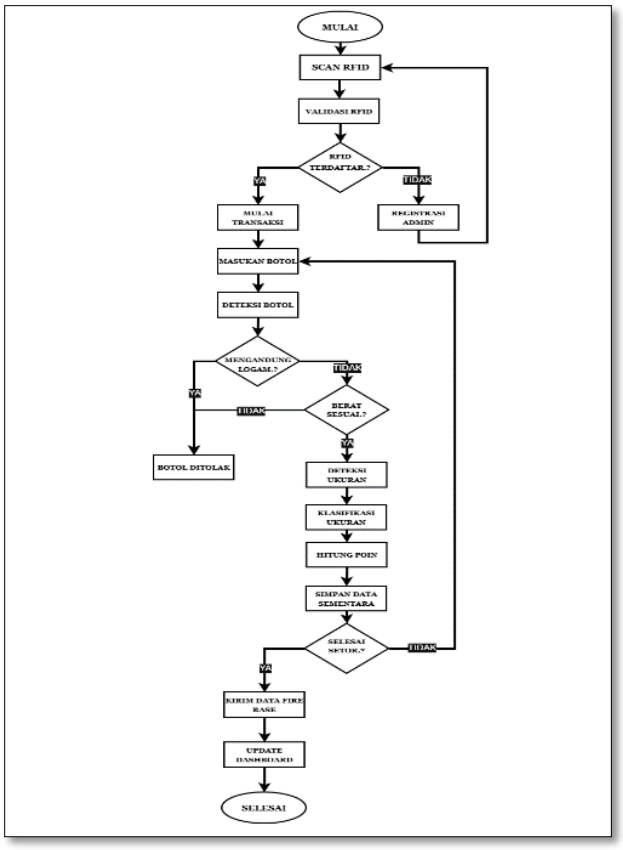
Tabel 1. Komponen Utama Sistem MASPOIN

Komponen	**Fungsi**
ESP32	Pengendali utama dan komunikasi WiFi
RFID RC522	Identifikasi pengguna
Sensor proximity	Deteksi material logam
Load cell + HX711	Pengukuran dan validasi berat
Sensor infrared	Klasifikasi ukuran botol
Servo motor	Mekanisme penerimaan/penolakan
LCD 20×4 I2C	Informasi proses transaksi
Firebase Realtime Database	Penyimpanan data transaksi

3.4 Perancangan Perangkat Lunak dan Alur Data

Perangkat lunak MASPOIN terdiri atas program pada ESP32, Firebase Realtime Database, dan dashboard monitoring berbasis web. Program ESP32 berfungsi mengolah data RFID dan sensor, menjalankan logika validasi, mengendalikan servo, menghitung poin, serta mengirimkan data transaksi melalui WiFi. Firebase digunakan sebagai media penyimpanan data, sedangkan *dashboard* digunakan untuk menampilkan informasi transaksi kepada pengguna.

Alur proses sistem dimulai dari identifikasi pengguna menggunakan RFID. Setelah pengguna berhasil diverifikasi, sistem mengaktifkan proses penyetoran. Botol plastik kemudian diperiksa oleh sensor proximity, load cell, dan sensor infrared. Hasil pembacaan sensor diproses oleh ESP32 untuk menentukan kelayakan sampah dan kategori ukuran. Apabila memenuhi kriteria, sistem melakukan perhitungan poin dan menyimpan data transaksi ke Firebase. Data tersebut selanjutnya ditampilkan pada dashboard monitoring.



Gambar 2. Flowchart Sistem MASPOIN

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Implementasi Sistem

Prototype ATM Bank Sampah Botol MASPOIN berhasil direalisasikan dengan mengintegrasikan perangkat keras dan perangkat lunak sesuai rancangan. Sistem menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama, RFID RC522 sebagai media identifikasi pengguna, sensor proximity untuk validasi material, load cell dan modul HX711 untuk pengukuran berat, sensor infrared untuk klasifikasi ukuran botol, servo motor sebagai mekanisme penyortiran, serta LCD 20×4 sebagai media informasi pengguna.

Gambar 3. Prototype ATM Bank Sampah Botol MASPOIN

Pada sisi perangkat lunak, sistem terdiri atas program ESP32, Firebase Realtime Database, dan dashboard monitoring berbasis web. Data transaksi yang telah diproses oleh ESP32 dikirimkan melalui jaringan WiFi menuju Firebase dan selanjutnya ditampilkan pada *dashboard* sehingga informasi pengguna, transaksi, berat, kategori botol, dan poin dapat dipantau melalui antarmuka berbasis web.

Gambar 4. Dashboard Monitoring Sistem MASPOIN

4.2 Hasil Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan setiap fungsi utama sistem dan memastikan kesesuaian antara hasil aktual dengan rancangan. Pengujian meliputi identifikasi pengguna, validasi material, validasi berat, klasifikasi ukuran, mekanisme penyortiran, integrasi IoT dan database, serta pengujian sistem secara keseluruhan.

4.2.1 Pengujian Identifikasi Pengguna

Pengujian RFID RC522 dilakukan menggunakan kartu yang telah terdaftar dan kartu yang belum terdaftar. Kartu terdaftar diharapkan dapat diterima, sedangkan kartu yang belum terdaftar diharapkan ditolak oleh sistem.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh skenario berjalan sesuai dengan rancangan dengan tingkat keberhasilan **100%**. Sistem mampu mengenali kartu yang telah terdaftar dan menolak kartu yang belum terdaftar sehingga hanya pengguna yang teridentifikasi yang dapat melakukan proses penyetoran.

4.2.2 Pengujian Validasi Material

Pengujian sensor proximity dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam membedakan objek logam dan non-logam. Sampel yang digunakan terdiri atas botol plastik dan botol kaleng.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi objek logam dan menghasilkan kondisi *ON*, sedangkan objek non-logam seperti botol plastik menghasilkan kondisi *OFF*. Seluruh sampel memberikan hasil sesuai dengan kondisi material sehingga tingkat keberhasilan pengujian mencapai **100%**.

4.2.3 Pengujian Validasi Berat Botol Plastik

Pengujian *load cell* dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengukur berat objek dan menentukan kelayakan botol plastik berdasarkan parameter berat yang telah ditetapkan pada program. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan *load cell* pada sistem MASPOIN dengan hasil pengukuran menggunakan timbangan digital sebagai alat ukur referensi. Setiap sampel dilakukan sebanyak lima kali pengukuran untuk memperoleh hasil yang lebih representatif. Nilai yang ditampilkan pada Tabel 232 merupakan nilai rata-rata dari lima kali pengukuran *load cell* untuk masing-masing sampel.

Pada sistem MASPOIN, batas berat 30 gram ditetapkan sebagai parameter penerimaan berdasarkan pengujian awal terhadap beberapa jenis dan merek botol plastik bekas minuman yang umum ditemukan di lingkungan sekitar. Hasil pengujian awal menunjukkan bahwa berat botol terbesar yang diperoleh adalah 28 gram. Nilai tersebut kemudian diberikan toleransi sebesar 2 gram untuk mengantisipasi variasi berat dan kondisi botol, sehingga batas berat 30 gram digunakan sebagai parameter penerimaan pada sistem.

Tabel 2. Hasil Pengujian *Load cell*

No.	Sampel	Rata–rata Timbangan Digital (g)	Rata-rata Load Cell (g)	Error (g)	Error (%)	Akurasi (%)
1	Botol kecil	13	13,887	0,887	6,82	93,18
2	Botol sedang	18	19,011	1,011	5,62	94,38
3	Botol besar	24	24,561	0,561	2,34	97,66
4	Botol kaca	120	121,024	1,024	0,85	99,15
5	Botol kaca	125	126,122	1,122	0,90	99,10

Persentase error dihitung berdasarkan selisih absolut antara hasil pengukuran *load cell* dan timbangan digital terhadap nilai timbangan digital sebagai referensi. Berdasarkan hasil pengujian, persentase error terbesar diperoleh pada sampel botol kecil sebesar 6,82%, sedangkan error terkecil diperoleh pada sampel botol kaca dengan berat referensi 120 gram sebesar 0,85%. Nilai akurasi pengukuran berada pada rentang 93,18% hingga 99,15%, dengan rata-rata akurasi sebesar 96,69%.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pembacaan *load cell* memiliki nilai yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan timbangan digital pada seluruh sampel yang diuji. Meskipun terdapat perbedaan hasil pengukuran, *load cell* masih dapat digunakan sebagai parameter validasi berat pada sistem MASPOIN karena sampel botol plastik yang diuji berada di bawah batas penerimaan 30 gram, sedangkan sampel botol kaca berada di atas batas tersebut dan dapat dibedakan oleh sistem.

Berdasarkan pengujian tersebut, fungsi validasi berat pada sistem MASPOIN berhasil membedakan sampel berdasarkan batas parameter yang telah ditentukan. Namun, hasil pengukuran juga menunjukkan adanya error pembacaan yang perlu diperhatikan, terutama pada objek dengan berat yang relatif kecil.

4.2.4 Pengujian Klasifikasi Ukuran Botol

Pengujian sensor *infrared* dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengklasifikasikan botol plastik ke dalam tiga kategori ukuran, yaitu kecil, sedang, dan besar. Klasifikasi dilakukan berdasarkan kombinasi pembacaan tiga sensor *infrared* yang ditempatkan pada posisi bawah, tengah, dan atas. Setiap kombinasi pembacaan sensor digunakan sebagai dasar penentuan kategori ukuran botol oleh ESP32.

Pengujian dilakukan terhadap 10 sampel botol yang terdiri atas empat pengujian botol kategori kecil, tiga pengujian botol kategori sedang, dan tiga pengujian botol kategori besar.

Tabel 3. Hasil Pengujian Klasifikasi Botol

No.	Jenis Botol	Kategori Ukuran	IR Bawah	IR Tengah	IR Atas	Hasil
1	Botol kecil	Kecil	ON	OFF	OFF	Sesuai
2	Botol sedang	Sedang	ON	ON	OFF	Sesuai
3	Botol besar	Besar	ON	ON	ON	Sesuai
4	Botol kecil	Kecil	ON	OFF	OFF	Sesuai
5	Botol sedang	Sedang	ON	ON	OFF	Sesuai
6	Botol besar	Besar	ON	ON	ON	Sesuai
7	Botol kecil	Kecil	ON	OFF	OFF	Sesuai
8	Botol sedang	Sedang	ON	ON	OFF	Sesuai
9	Botol besar	Besar	ON	ON	ON	Sesuai
10	Botol kecil	Kecil	ON	OFF	OFF	Sesuai

Berdasarkan Tabel 3, dari 10 pengujian pada skenario klasifikasi menghasilkan kategori yang sesuai dengan kategori sampel. Botol kecil menghasilkan kombinasi pembacaan **ON-OFF-OFF**, botol sedang menghasilkan **ON-ON-OFF**, sedangkan botol besar menghasilkan **ON-ON-ON**. Dengan demikian, tingkat keberhasilan klasifikasi pada pengujian ini adalah **100% (10 dari 10 pengujian)**.

Meskipun pengujian khusus klasifikasi menunjukkan hasil 100%, pengujian sistem secara keseluruhan menunjukkan adanya kondisi ketika botol kategori sedang terbaca sebagai kategori kecil. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan klasifikasi pada pengujian terkontrol belum sepenuhnya menggambarkan kinerja sistem pada seluruh kondisi fisik objek. Kesalahan klasifikasi dapat dipengaruhi oleh posisi dan kondisi fisik botol ketika melewati area sensor, sehingga menjadi salah satu keterbatasan sistem MASPOIN.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi tiga sensor *infrared* dapat digunakan untuk melakukan klasifikasi ukuran

botol berdasarkan posisi deteksi sensor. Namun, penerapan sistem pada kondisi objek yang lebih bervariasi masih memerlukan pengujian lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh bentuk, posisi, dan kondisi fisik botol terhadap hasil pembacaan sensor.

4.2.5 Pengujian Mekanisme Penyortiran

Pengujian servo motor dilakukan untuk mengetahui kemampuan mekanisme penyortiran dalam mengarahkan objek menuju jalur penerimaan atau penolakan berdasarkan keputusan sistem.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa botol plastik yang memenuhi kriteria diarahkan menuju jalur penerimaan, sedangkan botol kaca dan botol kaleng diarahkan menuju jalur penolakan. Seluruh skenario memberikan hasil sesuai dengan keputusan sistem sehingga tingkat keberhasilan pengujian mencapai **100%**.

4.2.6 Pengujian Integrasi Sistem IoT dan Database

Pengujian integrasi dilakukan untuk mengetahui kemampuan ESP32 dalam berkomunikasi dengan Firebase Realtime Database serta memastikan data yang dihasilkan perangkat dapat ditampilkan pada dashboard.

Pengujian meliputi registrasi RFID melalui dashboard admin, pembacaan kembali kartu yang telah didaftarkan, proses penyetoran, pengiriman data transaksi, dan penampilan data pengguna serta poin pada dashboard. Seluruh skenario pengujian berhasil dilakukan sesuai kondisi yang diharapkan.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa integrasi antara perangkat ESP32, Firebase Realtime Database, dashboard admin, dan dashboard pengguna telah berjalan sesuai dengan rancangan.

Tabel 4. Hasil Pengujian Fungsi Sistem

Pengujian	Parameter	Hasil	Status
RFID	Identifikasi pengguna	Sesuai	Berhasil
Proximity	Material logam/non-logam	Sesuai	Berhasil
Load cell	Parameter berat 30 gram	Sesuai	Berhasil
Infrared	Klasifikasi ukuran	Sesuai	Berhasil
Servo	Penerimaan/penolakan	Sesuai	Berhasil
Firebase Realtime Database	Pengiriman dan penyimpanan data transaksi	Sesuai	Berhasil
Dashboard	Penampilan data pengguna, transaksi, berat, kategori, dan poin	Sesuai	Berhasil

4.2.7 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan untuk mengetahui kemampuan MASPOIN dalam menjalankan seluruh tahapan proses penyetoran, mulai dari identifikasi pengguna, validasi material dan berat, klasifikasi ukuran botol, perhitungan poin, hingga pembaruan data pada LCD, Firebase Realtime Database, dan dashboard. Pengujian dilakukan menggunakan tiga pengguna terdaftar. Pada setiap pengguna dilakukan pengujian terhadap tiga kategori botol plastik, yaitu botol kecil, sedang, dan besar. Dengan demikian, pengujian klasifikasi ukuran botol dilakukan sebanyak sembilan kali, sedangkan tahapan pengujian lainnya dilakukan sebanyak tiga kali untuk masing-masing pengguna.

Tabel 5. Hasil pengujian system secara keseluruhan

No.	Tahapan Pengujian	Jumlah Pengujian	Berhasil	Gagal	Keberhasilan
1	Identifikasi pengguna RFID	3	3	0	100%
2	Validasi material	3	3	0	100%
3	Validasi berat	3	3	0	100%
4	Klasifikasi ukuran botol	9	8	1	88,89%
5	Perhitungan poin	3	3	0	100%
6	Pembaruan database	3	3	0	100%
7	Pembaruan LCD	3	3	0	100%
8	Pembaruan dashboard	3	3	0	100%
Total		**30**	**29**	**1**	**96,67%**

Berdasarkan hasil pengujian, dari total 30 pengujian terdapat 29 pengujian yang berhasil dan satu pengujian yang tidak sesuai dengan hasil yang diharapkan. Dengan demikian, tingkat keberhasilan sistem secara keseluruhan adalah **96,67%**.

Kegagalan terjadi pada tahap klasifikasi ukuran botol, yaitu ketika salah satu botol kategori sedang terbaca sebagai kategori kecil. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa meskipun fungsi komponen dan sebagian besar proses integrasi dapat berjalan sesuai rancangan, masih terdapat kondisi tertentu yang dapat memengaruhi hasil klasifikasi

ketika sistem digunakan secara keseluruhan. Hal ini menjadi salah satu keterbatasan sistem MASPOIN, khususnya pada mekanisme klasifikasi berbasis posisi sensor *infrared*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa MASPOIN mampu menjalankan proses identifikasi pengguna, validasi material, validasi berat, perhitungan poin, penyimpanan data transaksi, serta pembaruan informasi pada LCD dan dashboard. Pengujian juga menunjukkan bahwa integrasi antarkomponen dapat berjalan dengan baik, meskipun masih terdapat satu kesalahan klasifikasi pada pengujian sistem secara keseluruhan.

4.3 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian, sistem MASPOIN telah mampu mengintegrasikan proses identifikasi pengguna, validasi material, validasi berat, klasifikasi ukuran, penyortiran, pemberian poin, serta pengiriman data transaksi secara terintegrasi.

Penggunaan RFID RC522 berhasil digunakan untuk memberikan identitas pada setiap transaksi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh kartu RFID pengguna yang telah terdaftar dapat dikenali oleh sistem, sedangkan kartu yang belum terdaftar tidak dapat melanjutkan proses penyetoran. Hasil tersebut menunjukkan bahwa RFID RC522 dapat digunakan sebagai mekanisme identifikasi pengguna pada sistem MASPOIN.

Pada proses pemeriksaan material, sensor *proximity* digunakan untuk mendeteksi keberadaan material logam pada objek yang dimasukkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa botol plastik sebagai objek non-logam menghasilkan kondisi yang memungkinkan proses penyetoran dilanjutkan, sedangkan botol kaleng yang mengandung material logam menghasilkan kondisi penolakan. Dengan demikian, sensor *proximity* pada sistem MASPOIN berfungsi sebagai pendeteksi keberadaan material logam dan bukan sebagai sensor untuk mengidentifikasi seluruh jenis material sampah**.**

Pada proses validasi berat, *load cell* mampu memberikan hasil pengukuran yang digunakan sebagai dasar keputusan penerimaan sampah. Batas parameter 30 gram digunakan untuk menentukan kelayakan berat sampah berdasarkan rancangan sistem. Berdasarkan hasil pengujian, sampel botol plastik yang memiliki berat di bawah batas tersebut dapat diterima oleh sistem, sedangkan sampel yang melebihi batas parameter dapat ditolak. Hasil pengukuran *load cell* juga menunjukkan adanya selisih terhadap timbangan digital, tetapi nilai tersebut masih dapat digunakan untuk menentukan kategori penerimaan berdasarkan parameter yang telah ditetapkan.

Sensor *infrared* digunakan untuk melakukan klasifikasi ukuran botol berdasarkan kombinasi pembacaan sensor pada posisi bawah, tengah, dan atas. Pada pengujian khusus klasifikasi, botol kecil menghasilkan pola ON-OFF-OFF, botol sedang menghasilkan pola ON-ON-OFF, dan botol besar menghasilkan pola ON-ON-ON. Namun, pada pengujian sistem secara keseluruhan ditemukan satu kondisi ketika botol kategori sedang terbaca sebagai kategori kecil. Hal tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan pembacaan pada pengujian klasifikasi belum sepenuhnya menjamin hasil yang sama pada kondisi penggunaan sistem secara keseluruhan. Perbedaan posisi dan kondisi fisik objek ketika melewati mekanisme sensor dapat memengaruhi hasil pembacaan.

Selain botol plastik berbentuk silinder, dilakukan pengujian terhadap kemasan bekas minuman berbentuk kotak. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kemasan tersebut tidak berhasil terdeteksi oleh sensor *infrared* maupun *proximity*. Kondisi tersebut terjadi karena bentuk kemasan kotak tidak mengikuti bentuk selongsong penerimaan yang berbentuk bulat sehingga terdapat jarak antara permukaan kemasan dan sensor. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa desain mekanik selongsong dan karakteristik bentuk objek memiliki pengaruh terhadap keberhasilan proses deteksi.

Pada proses pencatatan transaksi, ESP32 mengirimkan data hasil penyetoran menuju Firebase Realtime Database melalui jaringan WiFi. Data yang tersimpan pada Firebase selanjutnya digunakan oleh *dashboard* berbasis web untuk menampilkan informasi pengguna, perolehan poin, dan riwayat transaksi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data transaksi berhasil dikirim dan tersimpan pada Firebase Realtime Database serta dapat ditampilkan pada *dashboard* sesuai dengan skenario pengujian yang dilakukan.

Kemampuan sistem dalam memperbarui data pada *dashboard* melalui Firebase menunjukkan bahwa integrasi ESP32, basis data, dan *dashboard* telah berjalan sesuai dengan rancangan. Namun, penelitian ini belum melakukan pengukuran khusus terhadap parameter komunikasi jaringan, seperti waktu pengiriman data dari ESP32 menuju Firebase, waktu pembaruan dari Firebase menuju *dashboard*, *latency*, *packet loss*, maupun pengaruh kondisi jaringan WiFi. Oleh karena itu, hasil penelitian ini belum digunakan untuk menyatakan nilai performa *real-time* secara kuantitatif. Pengujian lebih lanjut terhadap parameter komunikasi tersebut diperlukan untuk mengetahui karakteristik waktu respons dan keandalan sistem pada kondisi jaringan yang berbeda.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa MASPOIN telah mampu menjalankan fungsi utama sistem penyetoran sampah plastik, mulai dari identifikasi pengguna, validasi material dan berat, klasifikasi ukuran, pemberian poin, penyimpanan transaksi, hingga penyajian informasi melalui *dashboard*. Meskipun demikian, masih terdapat keterbatasan pada proses klasifikasi ukuran dan kemampuan deteksi terhadap kemasan dengan bentuk yang tidak sesuai dengan desain mekanik selongsong. Keterbatasan tersebut menjadi dasar pengembangan lebih lanjut, khususnya pada penyempurnaan desain mekanik dan metode deteksi sensor.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian, sistem MASPOIN (*Masukkan Sampah Peroleh Poin*) berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32 berhasil dirancang dan direalisasikan sebagai *prototype* sistem penyetoran sampah botol plastik secara otomatis.

Berdasarkan hasil pengujian, RFID RC522 berhasil digunakan untuk melakukan identifikasi pengguna, sensor *proximity* digunakan untuk mendeteksi keberadaan material logam sebagai salah satu parameter pemeriksaan objek, *load cell* digunakan untuk melakukan validasi berat dengan batas parameter 30 gram, dan sensor *infrared* digunakan untuk mengklasifikasikan ukuran botol menjadi kategori kecil, sedang, dan besar. Servo motor juga berhasil digunakan sebagai mekanisme penerimaan dan penolakan sampah berdasarkan hasil pengolahan data sensor.

Sistem mampu melakukan pencatatan transaksi dengan mengirimkan data hasil penyetoran dari ESP32 menuju Firebase Realtime Database. Data tersebut selanjutnya dapat ditampilkan melalui *dashboard* monitoring berbasis web sehingga informasi pengguna, perolehan poin, dan transaksi dapat dipantau.

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan terhadap 30 pengujian, yang terdiri atas 3 pengujian identifikasi pengguna, 3 pengujian validasi material, 3 pengujian validasi berat, 9 pengujian klasifikasi ukuran botol, serta masing-masing 3 pengujian perhitungan poin, pembaruan database, pembaruan LCD, dan pembaruan *dashboard*. Dari 30 pengujian tersebut, 29 pengujian berhasil dan 1 pengujian gagal, sehingga diperoleh tingkat keberhasilan sistem sebesar **96,67%**. Kegagalan terjadi pada proses klasifikasi ketika salah satu botol kategori sedang terbaca sebagai kategori kecil.

Keterbatasan sistem juga ditemukan pada pengujian kemasan bekas minuman berbentuk kotak yang tidak berhasil terdeteksi oleh sensor *infrared* dan *proximity* karena bentuk kemasan tidak sesuai dengan selongsong penerimaan berbentuk bulat. Dengan demikian, pengembangan selanjutnya dapat difokuskan pada peningkatan mekanisme klasifikasi sensor dan penyempurnaan desain mekanik agar sistem mampu menangani variasi bentuk dan kondisi fisik kemasan yang lebih beragam.

VI. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada dosen pembimbing, Ibu Reni Listiana S.Si., M.T.**,** atas bimbingan, arahan, dan masukan yang diberikan selama proses penelitian dan penyusunan artikel ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada keluarga, serta seluruh dosen dan staf Program Studi Teknik Elektronika Politeknik TEDC Bandung atas doa, dukungan, ilmu, dan bantuan yang telah diberikan selama proses pendidikan dan penyelesaian penelitian.

VII. DAFTAR PUSTAKA

[1] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "The Internet of Things: A Survey," *Computer Networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787–2805, 2010, doi: 10.1016/j.comnet.2010.05.010.

[2] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2012 tentang Pedoman Pelaksanaan Reduce, Reuse, dan Recycle melalui Bank Sampah*, Jakarta: KLHK, 2012.

[3] T. B. Santoso and D. Irmanto, "Rancang Bangun Pengelolaan Smart Trash pada Bank Sampah Seni Baru Berbasis Internet of Things," *Jurnal LIMITS*, vol. 18, no. 01, pp. 49–57, 2023, doi: 10.59134/jlmt.v18i01.208.

[4] G. A. Pamungkas and A. G. Persada, "Implementasi Sistem Reverse Vending Machine (RVM) Berbasis IoT Menggunakan MobileNet SSD untuk Deteksi Objek dan Mekanisme Insentif Poin pada Platform Sampahmas," *Jurnal Indonesia: Manajemen Informatika dan Komunikasi*, vol. 6, no. 1, pp. 414–426, 2025, doi: 10.35870/jimik.v6i1.1224.

[5] N. Sangprasert, K. Inthavisas, K. Wattanakul, and N. Noorit, "Development of a low-cost reverse vending machine for clear plastic bottles and aluminum cans," *Science, Engineering and Health Studies*, vol. 17, 23040001, 2023, doi: 10.69598/sehs.17.23040001.

[6] H. Zia, M. U. Jawaid, H. S. Fatima, I. U. Hassan, A. Hussain, S. Shahzad, and M. Khurram, "Plastic Waste Management through the Development of a Low Cost and Light Weight Deep Learning Based Reverse Vending Machine," *Recycling*, vol. 7, no. 5, 70, 2022, doi: 10.3390/recycling7050070.

[7] Espressif Systems, *ESP32 Series Datasheet*, Espressif Systems, 2023.

[8] K. Finkenzeller, *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*, 3rd ed. Chichester: Wiley, 2010.

[9] J. Fraden, *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*, 5th ed. Cham: Springer, 2016.

[10] Avia Semiconductor, *HX711 24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales Datasheet*, Avia Semiconductor, 2015.

[11] W. Bolton, *Mechatronics: Electronic Control Systems in Mechanical and Electrical Engineering*, 6th ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2015.

[12] Firebase, "Firebase Realtime Database," *Firebase Documentation*, 2026. [Online]. Available: https://firebase.google.com/docs/database. [Accessed: Aug. 26, 2026].