

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori

Untuk menciptakan produk karya inovatif ini, penulis menggabungkan berbagai teknologi terkini untuk meningkatkan fungsi dan kegunaan produk. Teknologi sensor Load Cell, Proximity Induktif & Proximity Kapasitif digunakan untuk mengoptimalkan interaksi antara pengguna dan produk.

2.1.1 Reverse Vending Machine

Reverse Vending Machine (RVM) adalah perangkat otomatis yang digunakan untuk menerima botol bekas (umumnya plastik atau kaleng), kemudian memberikan imbalan kepada pengguna RVM seperti uang, poin, atau voucher. Menurut penelitian oleh Hansen 2021 penerapan RVM di negara-negara Eropa berhasil meningkatkan tingkat pengembalian botol hingga lebih dari 80%, terutama karena adanya sistem deposit-refund (Hansen *et al.*, 2021). RVM dikembangkan sebagai salah satu solusi untuk mengurangi limbah dengan memberikan insentif kepada masyarakat yang berpartisipasi dalam program daur ulang.

2.1.2 Insentif Digital

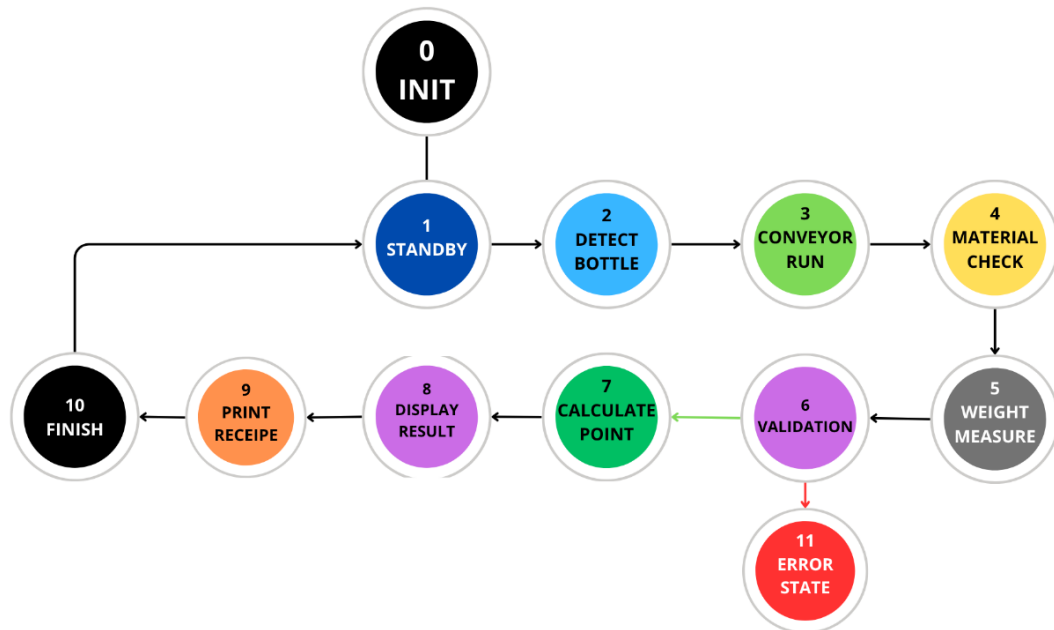
Insentif digital adalah bentuk imbalan yang diberikan kepada pengguna RVM dalam wujud non-fisik atau elektronik yang terintegrasi dengan sistem berbasis ESP32. Tujuan dari pemberian imbalan ini adalah untuk mendorong peningkatan partisipasi mahasiswa PCR dalam pengelolaan sampah botol plastik melalui RVM.

Insentif digital dapat berupa poin, saldo elektronik (e-wallet), voucher, maupun reward berbasis aplikasi yang diberikan secara otomatis setelah pengguna RVM melakukan tindakan yang telah diverifikasi dari mesin RVM. Dalam penerapan pada RVM, insentif diberikan ketika sistem berhasil mengenali serta memvalidasi objek berupa botol plastik yang dimasukkan ke dalam mesin.

Pada sistem digital, mekanisme ini berlangsung secara real-time melalui integrasi antara sensor, mikrokontroler, dan sistem keluaran seperti display atau aplikasi.

2.1.3 Konsep Finite State Machine (FSM)

FSM merupakan metode pemodelan sistem berbasis keadaan (state) yang memungkinkan proses kerja alat dirancang secara terstruktur, sistematis, dan mudah dianalisis. FSM (*Finite State Machine*) pada sistem *Reverse Vending Machine* ini menggambarkan alur kerja mesin secara terstruktur berdasarkan kondisi (state) dan respons terhadap input dari sensor yang digunakan dalam sistem.



Gambar 2.1 Konsep Finite State Machine

Proses dimulai dari state INIT, yaitu tahap inisialisasi seluruh perangkat seperti ESP32, sensor, conveyor, dan modul lainnya. Setelah sistem siap, FSM berpindah ke state STANDBY untuk menunggu adanya botol yang dimasukkan pengguna. Ketika sensor mendeteksi botol, sistem masuk ke state DETECT BOTTLE lalu mengaktifkan conveyor pada state CONVEYOR RUN untuk membawa botol menuju area pemeriksaan.

Selanjutnya, sistem memasuki state MATERIAL CHECK untuk mendeteksi jenis material botol menggunakan sensor yang tersedia. Setelah itu, state WEIGHT MEASURE melakukan pengukuran berat botol menggunakan load cell. Data hasil deteksi material dan berat kemudian diproses pada state VALIDATION untuk menentukan apakah botol memenuhi syarat atau tidak.

Apabila hasil validasi berhasil, sistem berpindah ke state CALCULATE POINT untuk menghitung jumlah poin yang diperoleh pengguna. Hasil poin kemudian ditampilkan pada state DISPLAY RESULT, lalu sistem mencetak hasil

melalui state PRINT RECEIPT. Setelah seluruh proses selesai, FSM masuk ke state FINISH dan kembali ke kondisi standby untuk menunggu proses berikutnya.

Namun, apabila pada tahap validasi ditemukan kesalahan, seperti material tidak sesuai atau berat tidak memenuhi syarat, maka FSM akan berpindah ke state ERROR STATE. State ini berfungsi untuk menangani kondisi gagal sebelum sistem kembali ke proses awal.

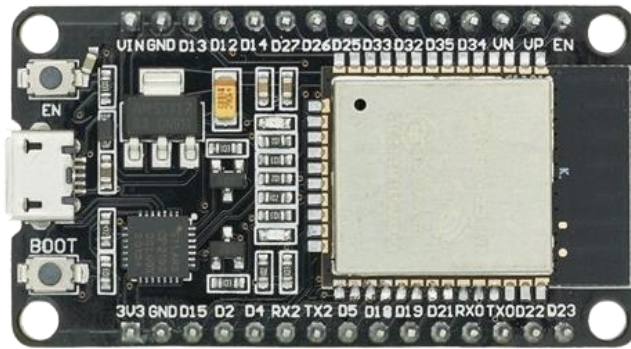
2.1.4 Esp32

ESP32 merupakan sebuah mikrokontroler berbasis chip yang dikembangkan oleh Espressif Systems dan dirancang untuk mendukung berbagai aplikasi embedded system serta Internet of Things (IoT). Prinsip Kerja ESP32 bekerja sebagai pusat pengendali sistem yang menerima input dari sensor, mengolah data sesuai program, kemudian mengirimkan perintah ke output. Pada alat Reverse Vending Machine, ESP32 membaca data dari sensor seperti sensor proximity, dan load cell melalui modul HX711.

Setelah data diproses, ESP32 akan mengendalikan komponen output seperti motor servo, conveyor, display Nextion, dan printer thermal sesuai kondisi yang telah diprogram. Selain itu, ESP32 juga memiliki kemampuan komunikasi nirkabel seperti WiFi dan Bluetooth untuk mendukung pertukaran data.

Fungsi ESP32 pada sistem yaitu sebagai:

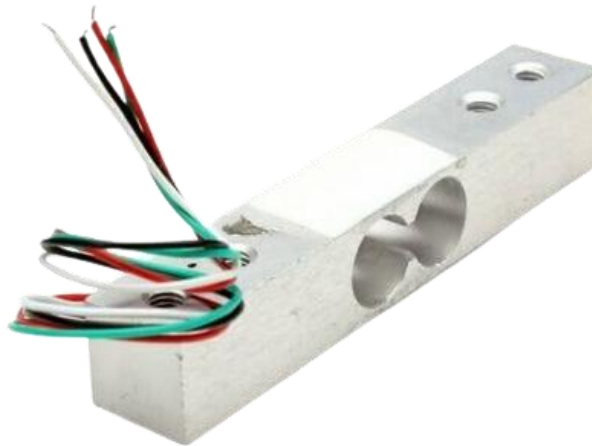
1. Mengolah data dari seluruh sensor input.
2. Mengendalikan motor servo dan conveyor.
3. Mengatur komunikasi dengan display Nextion dan printer thermal.
4. Menjalankan logika program serta proses otomatisasi alat.
5. Sebagai mikrokontroler utama yang menghubungkan seluruh komponen sistem.



Gambar 2.2 Mikrokontroler Esp32

2.1.5 Sensor Load Cell

Load Cell merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur gaya atau berat suatu benda. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip strain gauge, yaitu perubahan resistansi listrik akibat adanya tekanan atau beban.



Gambar 2.3 Sensor Load Cell

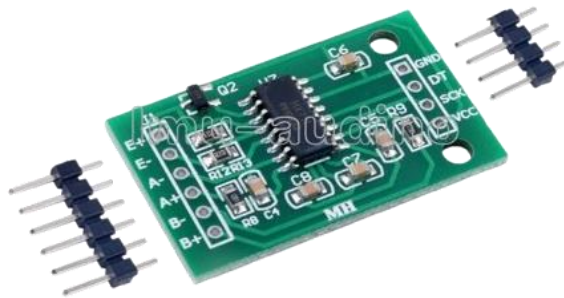
Prinsip kerja Load Cell ketika suatu beban diberikan pada load cell, maka struktur logam pada sensor akan mengalami deformasi kecil yang menyebabkan perubahan nilai resistansi. Perubahan resistansi tersebut kemudian dikonversi menjadi sinyal listrik yang dapat dibaca oleh Esp32. Berikut spesifikasi Load Cell.

Tabel 2.1 Spesifikasi Load Cell

Berat maksimum	1 Kg
Tegangan	5 V
Rated Output	$1.0 \pm 0.15 \text{ mV/V}$
Non Linearitas	0.05% F.S
Repeatability	0.03% F.S
Dimensi	$12.7 \times 12.7 \times 80 \text{ mm}$
Suhu operasi	-20°C sampai 60°C

2.1.6 Modul HX711

HX711 merupakan modul analog-to-digital converter (ADC) yang dirancang khusus untuk membaca sinyal dari sensor load cell. Modul ini berfungsi untuk memperkuat sinyal listrik yang sangat kecil dari load cell sehingga dapat diproses oleh mikrokontroler.



Gambar 2.4 Modul HX711

HX711 memiliki resolusi tinggi sehingga mampu membaca perubahan berat dengan tingkat akurasi yang baik. Data dari modul HX711 kemudian dikirimkan ke ESP32 untuk diproses lebih lanjut. Berikut spesifikasi modul HX711.

Tabel 2.2 Spesifikasi Modul HX711

Resolusi ADC	24-bit
Tegangan	4.8 – 5.5 V
Arus	1.6 mA
Frekuensi	10/80 Hz
Suhu	-20°C sampai +85°C
Dimensi	36 × 21 × 4 mm

2.1.7 Sensor Proximity Induktif

Sensor proximity induktif adalah sensor non-kontak yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik untuk mendeteksi keberadaan objek logam. Sensor ini menghasilkan medan elektromagnetik melalui kumparan internal, dan ketika objek logam masuk ke area deteksi, terjadi arus pusar (eddy current) yang menyebabkan perubahan amplitudo osilasi. Perubahan ini diproses menjadi sinyal keluaran digital (ON/OFF).



Gambar 2.5 Sensor Proximity Induktif

Fungsi sensor proximity induktif untuk mendeteksi objek berbahan logam tanpa kontak fisik. Sensor ini umum digunakan untuk aplikasi deteksi posisi, penghitung benda logam, serta identifikasi material logam dalam sistem otomasi. Dalam sistem seperti Reverse Vending Machine (RVM), sensor ini berfungsi untuk membedakan objek logam (kaleng) dari non-logam seperti botol plastik. Adapun spesifikasi dari sensor proximity induktif, tersebut.

Tabel 2.3 Spesifikasi Sensor Proximity Induktif

Model	LJ12A3-4-Z/BX
Tegangan	6–36 VDC
Jenis Output	NPN NO (Normally Open)
Arus	300 mA
Frekuensi	500 Hz
Objek Deteksi	Logam (low carbon steel)

2.1.8 Sensor Proximity Kapasitif

Sensor proximity kapasitif bekerja berdasarkan perubahan nilai kapasitansi pada permukaan sensor. Ketika suatu objek mendekati area sensing, baik benda logam maupun non-logam seperti plastik, kaca, cairan, atau kayu, maka nilai kapasitansi akan berubah dan sensor mendeteksi keberadaan objek tersebut. Sensor ini dapat mendeteksi objek tanpa kontak langsung.



Gambar 2.6 Sensor Proximity Kapasitif

Sensor proximity kapasitif bekerja menggunakan perubahan nilai kapasitansi pada medan listrik yang dibentuk oleh dua elektroda di dalam sensor. Saat tidak ada objek, nilai kapasitansi berada pada kondisi normal. Ketika suatu objek mendekat ke area sensing, konstanta dielektrik di sekitar sensor berubah, sehingga menyebabkan perubahan nilai kapasitansi. Perubahan ini dideteksi oleh rangkaian osilator yang kemudian menghasilkan perubahan frekuensi atau amplitudo sinyal. Sinyal tersebut diproses oleh rangkaian komparator hingga menghasilkan output digital. Berbeda dengan sensor induktif, sensor kapasitif dapat mendeteksi berbagai jenis material, baik logam maupun non-logam, termasuk plastik, kaca, dan cairan. Adapun spesifikasi dari sensor proximity kapasitif ini, sebagai berikut.

Tabel 2.4 Spesifikasi Sensor Kapasitif

Model	LJC18A3-B Series
Tegangan	12–24 VDC
Jarak	10 mm $\pm$ 10%
Jenis Objek Deteksi	Logam dan non-logam
Arus	300 mA
Frekuensi	50 Hz

2.1.9 Servo

Servo merupakan sebuah aktuator berupa motor yang digunakan untuk mengontrol posisi, sudut, atau pergerakan secara presisi. Motor servo bekerja dengan menerima sinyal kontrol berupa pulsa PWM (Pulse Width Modulation) dari mikrokontroler seperti ESP32 untuk menentukan posisi sudut putaran motor. Di dalam servo terdapat motor DC, rangkaian kontrol, dan potensiometer sebagai umpan balik posisi.



Gambar 2.7 Servo

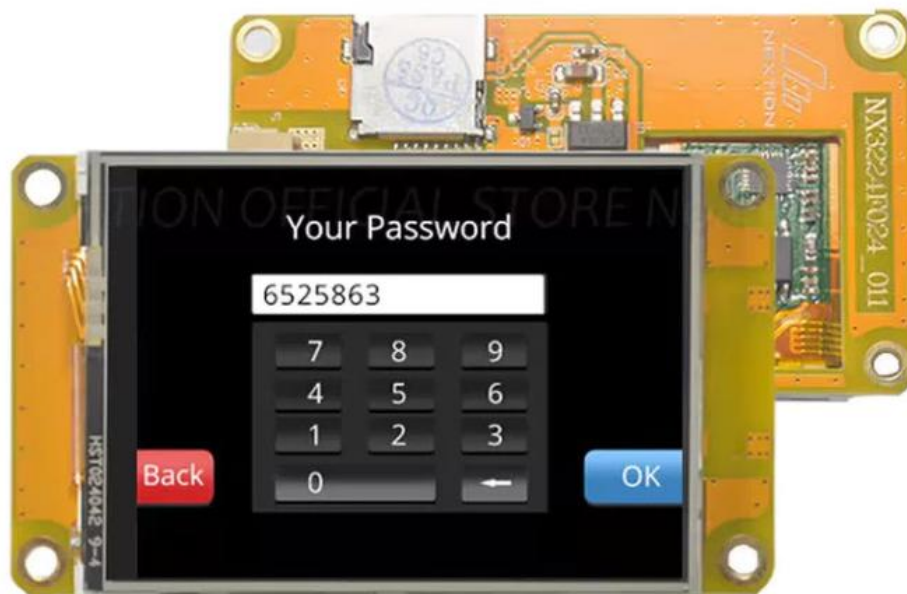
Ketika sinyal PWM diberikan, rangkaian kontrol akan menggerakkan motor hingga mencapai sudut yang sesuai dengan sinyal yang diterima. Setelah posisi tercapai, motor akan berhenti dan mempertahankan posisi tersebut. Pada sistem Reverse Vending Machine, motor servo digunakan sebagai penggerak mekanisme pemilah atau pembuka jalur objek secara otomatis. Berikut spesifikasi servo.

Tabel 2.5 Spesifikasi Servo

Tegangan	4.8 V
Torsi Maksimum	1.8 kg/cm
Kecepatan Operasi	0.1 s/60°
Dimensi	23 × 12.2 × 29 mm
Berat	9 g
Suhu	0°C – 55°C

2.1.10 Nextion HMI

Nextion berupa layar (LCD, touchscreen, atau OLED) yang menampilkan visual seperti teks, grafik, maupun tombol kontrol. Dalam penerapannya, Display digunakan pada berbagai sistem otomatisasi, termasuk alat seperti Reverse Vending Machine, untuk menampilkan jumlah botol, status proses, serta informasi kepada pengguna secara interaktif.



Gambar 2.8 Nextion HMI

Prinsip kerja layar Nextion HMI dimulai dari tahap persiapan, di mana teknisi merancang tampilan visual secara terpisah di komputer dan kemudian memindahkannya ke dalam memori internal layar menggunakan kartu MicroSD. Setelah desain tertanam, layar dihubungkan ke mikrokontroler menggunakan empat kabel komunikasi serial UART, yang terdiri dari jalur daya, ground, serta jalur kirim (TX) dan terima (RX) data yang dipasang menyilang. Saat mesin beroperasi, layar Nextion menggunakan prosesor grafisnya sendiri untuk menampilkan

antarmuka, sehingga mikrokontroler hanya perlu mengirimkan pesan teks singkat melalui kabel data untuk memperbarui angka atau status di layar, seperti menampilkan berat botol secara real-time. Sebaliknya, ketika pengguna menyentuh tombol di layar, layar tersebut akan langsung mengirimkan kode instruksi singkat kembali ke mikrokontroler untuk memerintahkan mesin melakukan suatu tindakan, misalnya menyalakan motor conveyor. Berikut spesifikasi Nextion HMI.

Tabel 2.6 Spesifikasi Nextion HMI

Ukuran	2.8 inch
Resolusi Layar	320 × 240 pixel
Interface Komunikasi	Serial UART
Jenis Layar	Touch Screen TFT
Dimensi Board	85 × 49.8 mm
Fitur Tambahan	Touch screen, slot SD card

2.1.11 Conveyor

Conveyor merupakan suatu sistem mekanik yang digunakan untuk memindahkan material atau barang dari satu tempat ke tempat lain secara kontinu dalam jarak tertentu. Conveyor bekerja dengan menggunakan motor penggerak untuk memutar roller atau pulley sehingga belt conveyor bergerak secara kontinu. Pergerakan belt tersebut digunakan untuk memindahkan objek dari satu titik ke titik lainnya secara otomatis.



Gambar 2.9 Conveyor

Pada sistem Reverse Vending Machine, conveyor berfungsi untuk membawa botol atau objek menuju area pendeteksian sensor dan proses pemilahan secara otomatis. Berikut Spesifikasi Conveyor:

Tabel 2.7 Spesifikasi Conveyor

Jenis conveyor	Belt Conveyor
Panjang & Lebar Conveyor	70 x 12 cm
Tegangan motor	12 VDC
Kecepatan conveyor	$\pm 5\text{--}20$ cm/s
Kapasitas objek	Botol plastik 600 ml & 1500 ml

2.1.12 Power Supply

Power supply adalah perangkat elektronika yang berfungsi untuk mengubah sumber tegangan listrik menjadi tegangan keluaran sebesar 12 volt DC dengan arus maksimal 5 ampere. Power supply ini digunakan untuk memberikan daya pada berbagai perangkat elektronika seperti sensor proximity, conveyor, servo motor, load cell, serta mikrokontroler yang digunakan dalam proses pendeteksian dan pemilahan botol.



Gambar 2.10 Power Supply

Prinsip kerja power supply dimulai dari tegangan listrik AC yang berasal dari sumber listrik PLN, kemudian diubah menjadi tegangan DC melalui proses penyearahan menggunakan rangkaian diode. Setelah itu, tegangan akan disaring dan distabilkan oleh kapasitor serta regulator agar menghasilkan tegangan keluaran yang stabil sebesar 12 volt DC. Berikut Spesifikasi Power Supply.

Tabel 2.8 Spesifikasi Power Supply

Model	PS-60-12
Tegangan Input	110–265 VAC
Tegangan Output	12 VDC
Arus Output	3 A
Daya maksimum	60 W
Proteksi	Over Capacity Protection
Dimensi	10 × 8.2 × 3 cm

2.1.13 Printer Thermal

Printer thermal merupakan jenis printer yang bekerja dengan menggunakan panas untuk mencetak tulisan pada kertas thermal. Printer thermal bekerja dengan menggunakan panas untuk mencetak tulisan atau gambar pada kertas thermal khusus. Saat proses pencetakan berlangsung, head printer akan menghasilkan panas pada titik tertentu sesuai data yang dikirim dari mikrokontroler atau sistem. Panas tersebut akan bereaksi dengan lapisan kimia pada kertas thermal sehingga menghasilkan cetakan berupa teks atau gambar tanpa menggunakan tinta.



Gambar 2.11 Printer Thermal

Pada sistem Reverse Vending Machine, printer thermal digunakan untuk mencetak informasi seperti hasil transaksi, poin, atau bukti penukaran secara otomatis. Dalam proyek ini printer thermal digunakan untuk mencetak struk sebagai bentuk reward kepada pengguna setelah botol plastik berhasil diterima oleh sistem.

Berikut spesifikasi Printer Thermal:

Tabel 2.9 Spesifikasi Printer Thermal

Jenis	Thermal Printer Portable
Lebar Kertas	58 mm
Interface Komunikasi	Bluetooth
Tegangan	5V
Resolusi Cetak	203 dpi
Metode Cetak	Direct Thermal

2.2. Penelitian Terdahulu

Sebelum merancang Reverse Vending Machine (RVM), perlu melihat beberapa sistem sejenis yang pernah dibuat. Dari situ bisa dipahami bagaimana alur kerja alat, jenis sensor yang digunakan, serta bagaimana proses pemberian output ke pengguna. Adapun beberapa penelitian yang penulis jadikan sebagai bahan referensi.

Salah satu sistem dibuat oleh (Handoko et al., 2018), dimana RVM digunakan untuk menukar botol plastik dengan tiket. Prosesnya dimulai dari botol dimasukkan ke dalam mesin, kemudian sensor akan membaca ukuran botol, lalu sistem mengeluarkan tiket sesuai hasil deteksi. Sistem ini menggunakan mikrokontroler Arduino Mega2560, sensor infrared sebagai input, dan motor servo sebagai aktuator.

Dalam jurnal (Fathonah, 2020) mengembangkan RVM yang digunakan untuk menukar botol plastik dengan alat tulis. Sistem bekerja dengan mendeteksi keberadaan botol menggunakan sensor infrared, kemudian menghitung jumlah botol yang masuk berdasarkan program yang sudah ditentukan. Jika jumlah terpenuhi, maka motor servo akan aktif untuk mengeluarkan reward. Kelemahannya, sensor hanya bekerja dalam jarak dekat sehingga pembacaan masih terbatas.

Menurut penelitian oleh (Pi et al., 2020) sudah menggunakan Raspberry Pi sebagai pusat kendali. Pada sistem ini, proses tidak hanya berhenti pada deteksi botol, tetapi juga mencakup pencatatan data dan pemberian reward berupa koin

yang terhubung ke database melalui website. Sistem ini terdiri dari beberapa bagian seperti scanning, processing, dan output, sehingga alur kerjanya lebih terstruktur.

Kemudian mengembangkan RVM dengan tambahan fitur penghancur botol (shredder). Setelah botol terdeteksi, sistem akan mengaktifkan motor untuk menghancurkan botol menjadi bagian kecil. Selain itu, sistem juga dilengkapi mekanisme pemberian uang sebagai output. Komponen utama yang digunakan meliputi Arduino Uno, sensor kapasitif motor DC, dan LCD sebagai tampilan, penelitian (Hasyimah et al., 2021).

Pengembangan yang lebih lanjut dilakukan oleh (Judul et al., 2025) dengan memanfaatkan teknologi IoT. Sistem ini menggunakan ESP32-CAM dan metode computer vision untuk mendeteksi botol secara real-time. Selain itu, terdapat sistem autentikasi pengguna QR Code atau kartu, serta reward berupa poin yang langsung tersimpan pada aplikasi berbasis database.

Berdasarkan beberapa sistem yang telah dibahas sebelumnya, maka penulis merancang Reverse Vending Machine (RVM) sebagai pengembangan dari sistem yang sudah ada. Pada alat yang dirancang, sistem akan bekerja secara otomatis untuk menerima botol plastik, mendeteksi objek menggunakan sensor, serta memproses data melalui mikrokontroler ESP32. Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan tampilan berbasis touchscreen yang berfungsi sebagai antarmuka pengguna, serta printer thermal untuk mengeluarkan struk sebagai bentuk insentif digital. Seluruh proses dikendalikan oleh sistem yang terhubung melalui jaringan WiFi, sehingga data dapat diproses dan ditampilkan secara real-time. Dengan perancangan ini diharapkan sistem dapat bekerja lebih efektif, sederhana, dan mudah digunakan dibandingkan dengan sistem sebelumnya.

Tabel 2. 10 Perbandingan penelitian terdahulu

Kategori	Penelitian 1	Penelitian 2	Penelitian 3	Proyek Akhir
Judul	RVM Penukar Botol Plastik Dengan Tiket	RVM Penukar Botol Dengan Alat Tulis	RVM Berbasis Raspberry pi Dengan Database Website	Rancang Bangun Reverse Vending Machine Untuk Pengelolaan Sampah Botol Plastik Dengan Skema Insentif Digital
Tahun Publikasi	2018	2020	2020	2026

Tujuan Penelitian	Menukar botol plastik menjadi tiket secara otomatis.	Menukar botol plastik dengan alat tulis.	Mengembangkan RVM dengan pencatatan data dan integrasi database.	Merancang RVM otomatis berbasis ESP32 dengan skema insentif digital.
Metodologi	Mendeteksi botol, kemudian diproses setelah itu keluaran tiket.	Mendeteksi keberadaan botol, menghitung jumlah botol, aktivasi reward.	Menggunakan sistem scanning, processing dan output terintegrasi database.	Deteksi botol, pemrosesan ESP32, tampilan display touchscreen nextion HMI.
Pengujian yang dilakukan	Pengujian deteksi ukuran botol dan keluaran tiket.	Pengujian sensor infrared dan perhitungan jumlah botol.	Pengujian sistem scanning, penyimpanan data dan output koin.	Pengujian sensor, sistem komunikasi UART, tampilan Nextion HMI dan printer thermal.
Parameter yang diukur	Ukuran botol dan keberhasilan output tiket.	Jumlah botol dan jarak deteksi.	Akurasi deteksi, penyimpanan data, dan koneksi database.	Jumlah botol, berat, poin, dan waktu respon sistem
Hasil	Sistem mampu menukar botol dengan tiket sesuai deteksi.	Sistem berjalan namun terbatas pada jarak sensor.	Sistem lebih terstruktur dan terintegrasi dengan database.	Sistem RVM bekerja otomatis, real-time, dan lebih interaktif dengan nextion HMI serta struk digital.

Berdasarkan hasil kajian terhadap penelitian terdahulu, dapat diketahui bahwa sebagian besar sistem Reverse Vending Machine yang telah dikembangkan masih berfokus pada proses deteksi objek dan pemberian insentif sederhana, seperti tiket, alat tulis, maupun uang. Beberapa penelitian telah mengintegrasikan sistem dengan database dan teknologi IoT, namun membutuhkan perangkat dengan kompleksitas yang lebih tinggi. Selain itu, sebagian besar penelitian belum mengintegrasikan proses identifikasi material, penimbangan berat, antarmuka pengguna berbasis touchscreen, serta pencetakan bukti transaksi dalam satu sistem yang terintegrasi.

Oleh karena itu, penelitian ini merancang *prototype Reverse Vending Machine* berbasis ESP32 yang mengintegrasikan sensor proximity induktif, sensor proximity kapasitif, dan load cell berbasis HX711 untuk melakukan klasifikasi material, serta pengukuran berat secara otomatis. Sistem juga dilengkapi dengan

Nextion HMI sebagai antarmuka pengguna berbasis touchscreen dan printer thermal untuk mencetak bukti transaksi. Insentif direpresentasikan dalam bentuk poin yang dihitung secara otomatis berdasarkan hasil identifikasi dan penimbangan objek. Dengan pendekatan tersebut, sistem yang dirancang diharapkan lebih interaktif, terintegrasi, dan sesuai untuk implementasi prototype Reverse Vending Machine di lingkungan kampus.