

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Pada bab 2 ini akan membahas teori-teori dasar, prinsip kerja komponen, serta literatur yang menjadi acuan dalam perancangan mekanik, dan perancangan sistem elektronika. Kemudian tinjauan pustaka akan menjelaskan mengenai perangkat keras (hardware), seperti mikrokontroler dan sensor, hingga perangkat lunak (software) yang digunakan untuk mengintegrasikan seluruh sistem mekanik pada alat ini.

2.1.1 Reverse Vending Machine

Reverse Vending Machine (RVM) merupakan sebuah mesin yang membalikkan prinsip kerja mesin *vending* pada umumnya. Jika mesin *vending konvensional* bekerja dengan prinsip konsumen memasukkan uang untuk mendapatkan produk, *Reverse Vending Machine* justru sebaliknya dimana konsumen memasukkan produk tertentu dan mesin akan memberikan imbalan berupa uang atau poin (Aini, 2026). *Reverse Vending Machine* 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 merupakan bentuk pemberian imbalan kepada pengguna dalam bentuk elektronik atau nonfisik yang terintegrasi dengan sistem berbasis teknologi (Aini, 2026). Pada implementasi prototype *Reverse Vending Machine* ini, pemberian imbalan kepada pengguna dalam bentuk poin, insentif digital direpresentasikan dalam bentuk poin yang dihitung dan diproses secara elektronik dengan mikrokontroler ESP32 berdasarkan hasil identifikasi dan validasi botol yang dimasukkan pengguna. Poin yang diperoleh merupakan hasil pengolahan data sensor secara otomatis dan ditampilkan melalui antarmuka nextion HMI.

2.1.3 ESP32

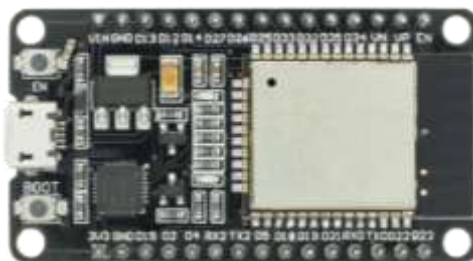
ESP32 merupakan mikrokontroler berperforma tinggi yang dikembangkan oleh *Espressif Systems*, dilengkapi dengan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi dalam satu chip. ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali (controller) yang

mengatur kerja seluruh komponen dalam suatu sistem elektronik (Sukowati, 2024). ESP32 ini menerima input dari berbagai sensor, memproses data sesuai program yang ditanamkan, kemudian menghasilkan output untuk mengendalikan aktuator seperti motor, relay, display, maupun modul lainnya. Adapun spesifikasi dari ESP32 terdapat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Spesifikasi ESP32

Particulars	Spesifications
Number of cores	2 (Dual core)
Wi-Fi	2.4 GHz up to 150 Mbit/s
Architecture	32 bits
Clock frequency	Up to 240 MHz
RAM	512 KB
Pins	30
Peripherals	Capacitive touch, ADC (analog to digital converter), DACs (digital to analog converter), I2C (Inter-Integrated Circuit), UART (universal asynchronous receiver/transmitte), SPI (Serial Peripheral Interface), RMII (Reduced Media Independent Interface), PWM (Pulse Width Modulation, and more.

Mikrokontroler ESP32 sistem bekerja dimulai dari eksekusi program yang tersimpan di dalam memori flash. Ketika sistem diaktifkan, prosesor akan menjalankan instruksi secara berurutan, membaca data dari pin input (misalnya sensor), lalu mengolahnya menggunakan logika program. Berdasarkan hasil pengolahan tersebut, ESP32 akan mengirimkan sinyal keluaran melalui pin output atau antarmuka komunikasi seperti UART, I2C, dan SPI. Untuk komunikasi nirkabel, ESP32 memanfaatkan modul Wi-Fi atau Bluetooth internal untuk



Gambar 2. 1 Mikrokontroler ESP32

2.1.4 Load Cell

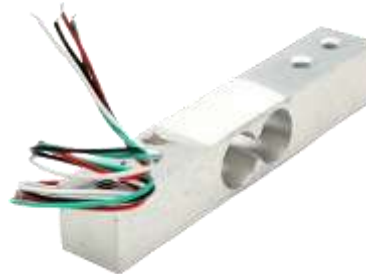
Load Cell adalah sensor yang digunakan untuk mengubah besaran gaya atau beban menjadi sinyal listrik yang dapat diukur dan diproses oleh sistem elektronik. Sensor ini umumnya digunakan pada sistem penimbangan karena memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam mendeteksi perubahan beban, baik dalam skala kecil maupun besar. load cell berfungsi mengukur berat suatu objek secara presisi dan mengubahnya menjadi data digital yang dapat diolah oleh mikrokontroler atau indikator timbangan (Supriyanto & Kumara, 2024). Dalam penerapan sistem seperti *Reverse Vending Machine*, load cell digunakan untuk mengetahui berat objek botol yang dimasukkan, sehingga dapat menjadi parameter dalam proses validasi atau perhitungan nilai insentif. Adapun spesifikasi load cell pada tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Spesifikasi Loadcell

Particulas	Specifications
Application	Kitchen scale
Capacity	1kg
Rated Output	$1.0 \pm 0.1 \text{ mV/V}$
Nonlinearity	0.03%F.S
Hysteresis	0.03%F.S
Repeatability	0.03%F.S
Creep	0.05%F.S/3min
Zero balance	$-0.15 \pm 0.05 \text{ mV/V}$
Output resistance	$1000 \pm 10 \Omega$ 0.05%F.SmV/V
Corner load error	0.03%F.S/10°C
Temperature effect on sensitivity	0.3%F.S/10°C
Temperature effect on zero	5V
Recommended excitation voltage	-20~+65°C

Berdasarkan prinsip kerja load cell perubahan resistansi pada strain gauge yang terpasang pada elemen elastis (biasanya berbahan logam). Ketika load cell diberi beban, elemen tersebut akan mengalami deformasi (regangan atau tekanan), sehingga nilai resistansi pada strain gauge berubah. Perubahan resistansi ini

dikonversi menjadi perubahan tegangan melalui rangkaian Wheatstone bridge. Sinyal tegangan yang dihasilkan umumnya sangat kecil (orde milivolt), sehingga diperlukan penguat (amplifier) seperti modul HX711 sebelum dapat dibaca oleh mikrokontroler.



Gambar 2. 2 Load Cell

2.1.5 Modul HX711

Modul HX711 adalah rangkaian elektronik yang berfungsi sebagai penguat (amplifier) sekaligus konverter analog ke digital (ADC) dengan resolusi tinggi yang dirancang khusus untuk aplikasi penimbangan menggunakan load cell. Modul ini banyak digunakan karena mampu membaca sinyal kecil dari load cell dengan akurat dan mengubahnya menjadi data digital yang dapat diproses oleh mikrokontroler. Adapun specification modul HX711 terdapat pada tabel 2.2.

Tabel 2. 3 Spesifikasi Modul HX711

Particulars	Specifications
Data accuracy	24 bit (24 bit analog to digital converter chip)
Refresh frequency	10/80Hz
Operation supply voltage range	4.8 ~ 5.5V
Operation supply current	1.6mA
Operation temperature range	-20 ~ +85°C
Dimensions	36mm x 21mm x 4mm/1.42 x 0.83 x 0.16

HX711 berfungsi memperkuat sinyal tegangan keluaran dari load cell yang sangat kecil (biasanya dalam orde milivolt), kemudian mengkonversinya menjadi data digital dengan resolusi hingga 24-bit. Kemudian cara kerja HX711 dimulai dari penerimaan sinyal analog diferensial dari load cell yang terhubung melalui rangkaian Wheatstone bridge. Sinyal ini kemudian diperkuat oleh programmable

gain amplifier (PGA) internal dengan pilihan penguatan tertentu (misalnya 32, 64, atau 128). Setelah diperkuat, sinyal akan dikonversi menjadi data digital menggunakan ADC 24-bit. Data hasil konversi dikirim ke mikrokontroler melalui komunikasi serial dua kabel (DT dan SCK) dengan metode bit-banging. Mikrokontroler kemudian mengolah data tersebut untuk mendapatkan nilai berat yang telah dikalibrasi.



Gambar 2. 3 Modul HX711

2.1.6 Sensor Proximity Induktif

Sensor proximity induktif adalah sensor non-kontak yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik untuk mendeteksi keberadaan objek logam (Santoso et al., 2023). Sensor ini menghasilkan medan elektromagnetik melalui kumparan internal, dan ketika objek logam masuk ke area deteksi, terjadi arus pusar yang menyebabkan perubahan amplitudo osilasi. Perubahan ini diproses menjadi sinyal keluaran digital (ON/OFF).

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*, sensor ini berfungsi untuk membedakan objek logam (kaleng) dari non-logam seperti botol plastik. Adapun spesifikasi dari sensor *proximity* induktif terdapat pada tabel 2.3.

Tabel 2. 4 Spesifikasi sensor proximity induktif

Particulars	Specifications
Model	LJ 12A3-4-Z/BX
Supply voltage	6-36 DC
Output current	DC type: Max 300 mA; AC type: 400 mA

Standard detection object	Low carbon steel (12x12x1mm)
Response frequency	500Hz for DC type; 100Hz for AC type
NPN NO (Normally Open) Output	This configuration allows for easy integration with a variety of control systems, including arduino and raspberry Pi.

Sensor *proximity* induktif bekerja dengan sistem pada pembangkitan medan elektromagnetik oleh kumparan yang terhubung dengan rangkaian osilator. Saat tidak ada objek, osilasi berada dalam kondisi stabil. Ketika objek logam mendekati area sensing, medan elektromagnetik akan menginduksi arus pusar pada permukaan logam tersebut. Arus ini menyebabkan terjadinya penyerapan energi sehingga amplitudo osilasi menurun. Perubahan amplitudo ini kemudian dideteksi oleh rangkaian internal (detektor dan komparator) dan diubah menjadi sinyal keluaran digital (ON/OFF), karena mekanisme ini bergantung pada induksi elektromagnetik, sensor induktif hanya dapat mendeteksi material logam.



Gambar 2. 4 Sensor *Proximity* Induktif

2.1.7 Sensor *Proximity* Kapasitif

Sensor *proximity* kapasitif adalah sensor non-kontak yang bekerja berdasarkan perubahan nilai kapasitansi akibat adanya objek di sekitar area sensing. Sensor ini memiliki dua elektroda yang membentuk medan listrik. Ketika suatu objek mendekat, baik logam maupun nonlogam, nilai kapasitansi akan berubah karena perbedaan konstanta dielektrik material tersebut, dan perubahan ini dideteksi sebagai sinyal keluaran (Santoso et al., 2023).

Sensor *proximity* kapasitif berfungsi mendeteksi berbagai jenis material, baik padat maupun cair, seperti plastik, kaca, kayu, kertas, hingga cairan. Sensor ini sering digunakan untuk deteksi level cairan, keberadaan objek non-logam, serta

identifikasi material. Dalam konteks *Reverse Vending Machine*, sensor kapasitif berperan dalam mendeteksi botol plastik atau objek non-logam lainnya sebagai bagian dari proses klasifikasi material.



Gambar 2. 5 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 terdapat pada tabel 2.4.

Tabel 2. 5 Spesifikasi sensor *proximity* kapasitif

Particulars	Specifications
Model number	LJC 18A3-B series
External dimensions	M18x1x60
Installation type	Non-shielded
Detection distance	10mm±10%
Setting distance	0-8mm
Supply voltage	12-24Vdc (6-36Vdc); 110-220Vac, 50/60Hz
Rated output current	N.P type: 300mA max; D type: 200mA; AC type: 400mA
Standard detected objcet	Iron SPCC (50x50x1mm)
Sensing object	Metals/Non-metals)

Response frequency	50Hz
--------------------	------

2.1.8 Nextion HMI UART LCD TFT + Touchscreen

Nextion adalah modul layar sentuh mandiri yang sudah terpasang unit pemroses grafis (GPU) dan memori internal untuk memproses antarmuka visual secara langsung, sehingga meringankan beban kerja dari mikrokontroler utama (Nor et al., 2025). Berfungsi sebagai panel operasional (HMI) untuk menampilkan indikator status alat kepada pengguna, serta membaca ketukan sentuhan operator untuk diteruskan menjadi perintah eksekusi ke perangkat keras. Terdapat spesifikasi pada tabel 2.5.

Tabel 2. 6 Spesifikasi Nextion

Particulars	Specifications
Display resolution	320 * 240
Display interface	Serial
Screen type	Touch Screen
Display controller	No
TFT diplay interface	N/A
Display size	2/8
Board size	85mm*49.8mm
Expand	SD Card Socket Touchscreen

Prinsip kerja layar nextion HMI dimulai dari tahap persiapan, dimana 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 dapat digunakan untuk menampilkan informasi sistem dan mengirimkan perintah dari antarmuka pengguna kepada ESP32 melalui komunikasi UART.



Gambar 2. 6 Nextion HMI Display

2.1.9 Printer Thermal

Printer thermal adalah perangkat pencetak yang bekerja berdasarkan prinsip pemanasan elemen termal untuk menghasilkan tulisan atau gambar pada media khusus, tanpa menggunakan tinta atau toner (Widyanto & Bachri, n.d.). Teknologi ini memanfaatkan head pemanas (*thermal print head*) yang terdiri dari elemen-elemen pemanas kecil yang dikontrol secara elektrik. Ketika elemen tersebut dipanaskan, akan terjadi reaksi pada kertas termal sehingga membentuk teks atau gambar sesuai data yang dikirim.

Secara umum, terdapat dua metode utama pada printer thermal, yaitu direct thermal dan thermal transfer. Pada metode direct thermal, pencetakan dilakukan langsung pada kertas termal yang sensitif terhadap panas, sehingga bagian yang dipanaskan akan berubah warna (biasanya menjadi hitam). Sedangkan pada metode thermal transfer, panas digunakan untuk melelehkan tinta dari ribbon (pita) ke media cetak seperti kertas biasa atau label.

Fungsi kerja printer thermal dimulai dari penerimaan data digital dari mikrokontroler atau sistem komputer (misalnya ESP32). Data tersebut kemudian diproses menjadi pola cetak oleh controller printer. Selanjutnya, thermal print head akan memanaskan titik-titik tertentu sesuai pola, dan kertas akan digerakkan secara mekanis menggunakan motor stepper agar proses pencetakan berlangsung secara berurutan membentuk teks atau grafik.



Gambar 2. 7 Printer Thermal

Dalam implementasi sistem seperti *Reverse Vending Machine*, printer thermal berfungsi sebagai perangkat output untuk mencetak informasi transaksi, seperti jumlah botol yang diterima, total poin, serta waktu transaksi. Keunggulan printer thermal antara lain kecepatan cetak tinggi, desain sederhana, perawatan rendah, dan tidak memerlukan tinta, sehingga sangat cocok digunakan pada sistem otomatis berbasis mikrokontroler. Berikut spesifikasi dari tabel 2.6.

Tabel 2. 7 Spesifikasi Printer Thermal

Jenis	Thermal Printer Portable
Lebar Kertas	58 mm
Interface Komunikasi	UART (TTL Serial)
Tegangan	5V
Resolusi Cetak	203 dpi
Metode Cetak	Direct Thermal

2.2 Penelitian Terdahulu

Sebelum merancang *Reverse Vending Machine*, 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 adalah sebagai berikut.

Salah satu sistem dibuat oleh (Handoko et al., 2018), dimana *Reverse Vending Machine* digunakan untuk menukar botol plastik dengan tiket. Prosesnya dimulai dari botol dimasukkan kedalam mesin, kemudian sensor akan membaca ukuran botol, lalu sistem mengeluarkan tiket sesuai hasil deteksi. Sistem ini menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560, sensor infrared sebagai input, dan motor servo sebagai aktuator.

Dalam jurnal (Fathonah, 2020) mengembangkan *Reverse Vending Machine* 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 imbalan 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 *Reverse Vending Machine* 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* 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 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. Terdapat perbandingan variabel penelitian pada tabel 2.7.

Tabel 2. 8 Perbandingan Variabel Penelitian

Kategori	Penelitian 1	Penelitian 2	Penelitian 3	Penelitian 4	Proyek Akhir
Judul	RVM Penukar Botol Plastik Dengan Tiket	RVM Penukar Botol Dengan Alat Tulis	RVM Berbasis Raspberry pi Dengan Database Website	RVM Dengan Fitur Penghancur Botol (Shredder)	Rancang Bangun Reverse Vending Machine Untuk Pengelolaan Sampah Botol Plastik Dengan Skema Insentif Digital
Tahun Publikasi	2018	2020	2020	2021	2026
Tujuan Penelitian	Menukar botol plastik menjadi tiket secara otomatis.	Menukar botol plastik dengan alat tulis.	Mengembangkan RVM dengan pencatatan data dan integrasi database.	Mengembangkan RVM dengan fitur penghancur botol dan output uang.	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.	Mendeteksi botol, proses penghancuran botol, dan pemberian uang.	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 deteksi botol dan kinerja motor penghancur.	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.	Keberhasilan penghancuran botol, dan output uang.	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 berhasil menghancurkan botol dan memberikan output uang.	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.