

# Implementasi Sistem Deteksi Botol Otomatis Pada Rvm Berbasis Sensor Menggunakan *Fuzzy Logic* Untuk Optimalisasi Pemilahan

Stanley Nathanael Utomo Mulyono  
*School of Electrical Engineering*  
*Telkom University*  
 Bandung, Indonesia  
 stanleynathanael724@gmail.com

Mohamad Ramdhani  
*School of Electrical Engineering*  
*Telkom University*  
 Bandung, Indonesia  
 mohamadramdhani@telkomuniversity.ac.id

Iswahyudi Hidayat  
*School of Electrical Engineering*  
*Telkom University*  
 Bandung, Indonesia  
 iswahyudihidayat@telkomuniversity.ac.id

**Abstrak** — Sampah plastik merupakan permasalahan serius di Indonesia, dengan 7,8 juta ton sampah plastik dihasilkan setiap tahunnya dan 4,9 juta ton tidak diolah dengan baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem *Reverse Vending Machine* (RVM) menggunakan multi-sensor dan logika fuzzy untuk optimalisasi pemilahan sampah botol. Sistem yang dirancang mengintegrasikan sensor LDR untuk mengukur dimensi botol, sensor IR untuk mendeteksi keberadaan botol, sensor kapasitif dan induktif untuk membedakan material, sensor warna untuk mengidentifikasi jenis botol plastik, serta *load cell* untuk memvalidasi berat botol. Metode yang digunakan menggabungkan pembacaan multi-sensor dengan algoritma *fuzzy logic* untuk klasifikasi botol secara akurat. Sistem ini dirancang untuk dapat memilah botol plastik bening, botol plastik berwarna, dan kaleng secara otomatis dengan tingkat akurasi minimal 99%. Implementasi sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pemroses utama, motor servo untuk mekanisme pemilahan, dan *conveyor belt* untuk transportasi botol. Hasil yang diharapkan adalah terciptanya sistem RVM yang dapat mengoptimalkan proses daur ulang dengan pemilahan yang lebih akurat dan efisien.

**Kata kunci**— Daur Ulang, *Fuzzy Logic*, Pemilahan Otomatis, *Reverse Vending Machine*, Multi Sensor.

## I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan jumlah penduduk terbesar di kawasan Asia Tenggara, dengan populasi yang mencapai 281,6 juta jiwa dan laju pertumbuhan penduduk sebesar 1,11% pada tahun 2024 [1][2]. Pertumbuhan penduduk yang pesat ini berdampak langsung pada peningkatan volume sampah, khususnya sampah plastik. Berdasarkan data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Indonesia menghasilkan sekitar 7,8 juta ton sampah plastik setiap tahunnya, dengan sekitar 4,9 juta ton di antaranya tidak terkelola dengan baik, seperti tidak dikumpulkan, dibuang sembarangan, atau dibiarkan berserakan [3]. Persoalan ini menunjukkan perlunya inovasi dalam sistem pengelolaan sampah, terutama yang berkaitan dengan pengumpulan dan pemilahan plastik. Salah satu teknologi yang berkembang sebagai solusi adalah *Reverse Vending Machine* (RVM), yaitu sistem otomatis yang memungkinkan pengguna untuk mengembalikan kemasan botol atau kaleng yang kemudian dipilah untuk proses daur ulang [4]. RVM tidak hanya membantu mengurangi beban Tempat Pembuangan Akhir (TPA), tetapi juga meningkatkan efisiensi daur ulang melalui proses pemilahan yang lebih sistematis.

Namun, sistem RVM konvensional masih menghadapi berbagai keterbatasan, terutama dalam hal akurasi pemilahan. Metode identifikasi seperti pemindai kode batang atau

pengenalan visual sederhana seringkali tidak mampu membedakan jenis kemasan dengan bentuk yang serupa atau mendeteksi keberadaan cairan sisa di dalam kemasan [5]. Akibatnya, terjadi kesalahan dalam proses pemilahan yang dapat mengganggu proses daur ulang dan meningkatkan biaya pengolahan limbah. Keterbatasan ini sebagian besar disebabkan oleh jenis sensor yang digunakan. Sensor optik dan sensor berat tradisional memiliki keterbatasan dalam mengenali atribut fisik kemasan secara komprehensif [6]. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan berbasis multisensor yang lebih canggih untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi sistem. Penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem RVM yang menggunakan kombinasi sensor LDR (*Light Dependent Resistor*), sensor kapasitif, sensor induktif, sensor warna, dan *load cell*. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi karakteristik fisik kemasan seperti ukuran, bentuk, warna, dan massa secara lebih presisi.

Selain pemilahan yang lebih akurat, kenyamanan pengguna juga menjadi perhatian penting dalam pengembangan sistem RVM. Saat ini, sebagian besar sistem RVM masih mengandalkan proses penutupan dan pemindahan kemasan secara manual, yang dapat mengurangi efisiensi operasional dan menghambat pengalaman pengguna. Oleh karena itu, sistem ini juga akan dilengkapi dengan motor servo dan conveyor belt untuk mengotomasi proses penutupan pintu serta pemindahan kemasan yang telah teridentifikasi. Untuk meningkatkan kecerdasan sistem, digunakan pendekatan *Fuzzy Logic* yang mampu menangani data sensor yang bersifat ambigu dan tidak pasti, serta memberikan keputusan klasifikasi berdasarkan kombinasi parameter input [7]. Dengan integrasi teknologi ini, sistem RVM yang dikembangkan diharapkan mampu meningkatkan akurasi pemilahan hingga di atas 95% dan menurunkan error rate menjadi kurang dari 10%.

Secara keseluruhan, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem RVM cerdas berbasis multisensor dan *fuzzy logic* yang tidak hanya mampu mengenali karakteristik kemasan dengan lebih akurat, tetapi juga meningkatkan efisiensi proses daur ulang, menurunkan biaya pengolahan limbah, serta menghadirkan pengalaman pengguna yang lebih nyaman dan praktis. Implementasi sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi aplikatif yang mendukung pengelolaan sampah modern dan berkelanjutan, serta memberikan kontribusi nyata terhadap pengurangan pencemaran lingkungan di Indonesia.

## II. KAJIAN TEORI

### A. Sistem Reverse Vending Machine

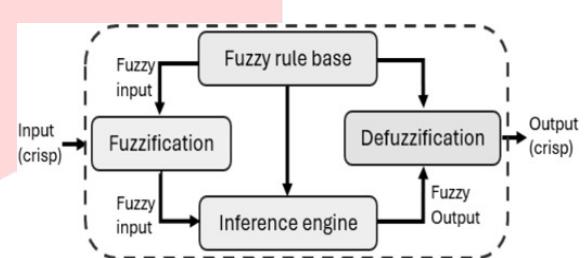
*Reverse Vending Machine* (RVM) merupakan sistem otomatis yang mendorong partisipasi masyarakat dalam daur ulang kemasan dengan memberikan insentif, seperti uang atau kredit, atas pengembalian botol, kaleng, atau kemasan lainnya [8]. RVM dikembangkan dari teori *reverse logistics*, yaitu pengelolaan aliran produk dari konsumen kembali ke produsen untuk pengolahan lebih lanjut [7][9]. Sistem ini mengandalkan beberapa komponen utama seperti sensor (LDR, kapasitif, induktif, sensor warna, dan *load cell*), motor servo, dan *conveyor belt*, yang bekerja secara terintegrasi untuk mendeteksi, mengidentifikasi, dan memindahkan kemasan ke tempat yang sesuai. Saat kemasan dimasukkan, data dari sensor digunakan oleh algoritma klasifikasi berbasis aturan untuk menentukan jenis kemasan, kemudian aktuator mengatur pemindahan secara otomatis. RVM banyak diterapkan di area publik seperti pusat perbelanjaan dan supermarket, serta terbukti efektif dalam meningkatkan tingkat daur ulang dan mengurangi sampah di TPA [10]. Dalam penelitian ini, sistem RVM akan menggunakan pendekatan klasifikasi berbasis aturan dengan input dari berbagai sensor untuk meningkatkan akurasi identifikasi kemasan. Algoritma pemilahan otomatis, sebagai inti sistem, dikembangkan dari teori pengambilan keputusan berbasis aturan dan logika fuzzy [11]. Algoritma berbasis aturan mengklasifikasikan kemasan berdasarkan karakteristik fisik seperti ukuran dan berat [12], sedangkan logika fuzzy memungkinkan penanganan data ambigu untuk meningkatkan ketepatan keputusan. Dalam penelitian ini, algoritma berbasis aturan dipilih karena sederhana dan cukup akurat untuk implementasi sistem RVM [12].

Sensor yang digunakan antara lain LDR untuk mendeteksi panjang dan bentuk kemasan melalui intensitas cahaya [13], *load cell* untuk mengukur massa kemasan berdasarkan tekanan [15], sensor kapasitif untuk mendeteksi bahan non-logam seperti plastik, dan sensor induktif untuk mendeteksi logam. Sensor warna digunakan untuk membedakan warna kemasan, terutama pada botol plastik berwarna yang memiliki nilai jual berbeda [16]. Sensor warna seperti TCS bekerja dengan modulasi cahaya melalui filter RGB dan menghasilkan sinyal frekuensi yang dapat dibaca mikrokontroler. Dalam sistem yang dikembangkan, LDR akan mengukur ukuran kemasan, *load cell* mengukur massa, sensor kapasitif dan induktif mengidentifikasi material plastik atau logam, serta sensor warna membedakan botol bening dan berwarna. Semua data ini menjadi input untuk algoritma pemilahan otomatis berbasis aturan fuzzy guna meningkatkan akurasi klasifikasi kemasan dalam sistem RVM.

### B. Fuzzy Logic

*Fuzzy Logic* merupakan bentuk logika yang memungkinkan nilai kebenaran berada dalam rentang 0 hingga 1, berbeda dengan logika Boolean yang hanya mengenal dua nilai, yaitu benar (1) atau salah (0). Logika ini dirancang untuk menangani ketidakpastian dan ambiguitas

dalam proses pengambilan keputusan, sehingga mampu menghasilkan evaluasi yang lebih fleksibel dan realistik. Prinsip kerja *Fuzzy Logic* melibatkan beberapa tahapan, dimulai dari *crisp input* atau data numerik yang dimasukkan ke sistem, kemudian dilakukan *fuzzification* untuk mengubah data tersebut menjadi himpunan fuzzy melalui fungsi keanggotaan linguistik seperti "rendah", "sedang", atau "tinggi". Selanjutnya, proses *inference* mengevaluasi aturan-aturan IF-THEN yang relevan untuk menghasilkan keputusan dalam bentuk fuzzy, yang kemudian digabungkan melalui proses *aggregation*. Tahap akhir adalah *defuzzification*, yaitu mengubah hasil fuzzy menjadi output numerik yang dapat digunakan, biasanya dengan metode *centroid* atau *weighted average*. Dengan tahapan ini, Fuzzy Logic menjadi metode yang efektif untuk memodelkan sistem yang kompleks dan tidak pasti.



GAMBAR 1  
Prinsip Kerja Fuzzy Logic

Fungsi keanggotaan (*membership function*) dalam *fuzzy logic* merupakan komponen penting yang menggambarkan tingkat keanggotaan suatu nilai dalam himpunan fuzzy. Terdapat beberapa jenis fungsi keanggotaan yang umum digunakan, yaitu fungsi segitiga, trapesium, *Gaussian*, dan *bell-shaped*. Pemilihan jenis fungsi bergantung pada karakteristik data, kebutuhan sistem, serta tujuan dari perancangan *fuzzy logic*. Fungsi segitiga sering digunakan karena sifatnya yang sederhana dan ringan secara komputasi, sehingga cocok untuk sistem real-time atau prototipe awal. Fungsi ini memiliki tiga parameter:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b \\ \frac{x-c}{b-c}, & b < x < c \\ 0, & x \geq c \end{cases} \quad (1)$$

Keterangan:

$a$  = Titik awal

$b$  = Titik puncak (nilai maksimum keanggotaan)

$c$  = Titik akhir

Fungsi trapesium digunakan ketika rentang nilai dianggap memiliki relevansi yang setara, ditandai dengan bagian atas yang datar, dan cocok untuk sistem kontrol berbasis kategori, dengan parameter titik awal naik ( $a$ ), awal dan akhir bagian datar ( $b$  dan  $c$ ), serta titik akhir turun ( $d$ ).

$$\mu(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}, & a < x \leq b \\ 1, & b < x \leq c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)}, & c < x < d \end{cases} \quad (2)$$

Untuk data dengan distribusi normal atau yang mengandung noise signifikan, fungsi Gaussian lebih sesuai karena mampu memberikan transisi keanggotaan yang halus dan akurat, terutama pada sistem prediksi, klasifikasi, dan kontrol adaptif. Fungsi ini memiliki dua parameter utama yaitu pusat distribusi ( $c$ ) dan standar deviasi ( $\sigma$ ).

$$\mu(x; c, \sigma) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

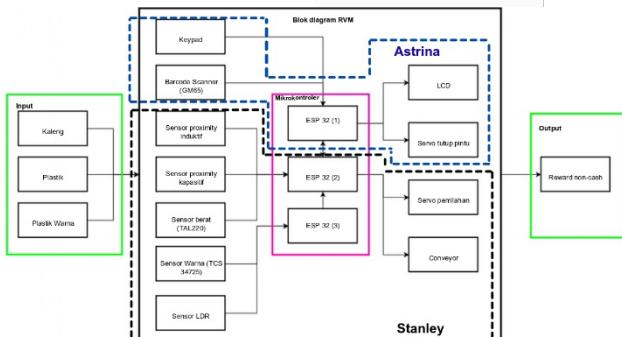
Sementara itu, fungsi bell-shaped menawarkan fleksibilitas lebih besar dibanding Gaussian karena memiliki parameter tambahan untuk mengatur lebar dan ketajaman kurva di sekitar pusatnya ( $a$ ,  $b$ , dan  $c$ ), sehingga sangat cocok digunakan dalam aplikasi pengenalan pola, klasifikasi lunak, dan kontrol fuzzy untuk data yang memiliki distribusi non-linear.

$$\mu(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c}{1} \right|^{2b}} \quad (4)$$

### III. METODE

Pada tahap desain sistem, dilakukan perancangan menyeluruh terhadap implementasi *reverse vending machine* (RVM) berbasis sensor LDR, sensor kapasitif, sensor induktif, sensor warna dan *load cell*. Sistem ini dirancang untuk mengoptimalkan proses deteksi, pemilahan, dan pengumpulan data dari kemasan plastik dan aluminium. Desain sistem mencakup aspek perangkat keras, perangkat lunak, dan integrasi antar-komponen untuk memastikan kinerja yang akurat dan efisien.

#### A. Diagram Blok

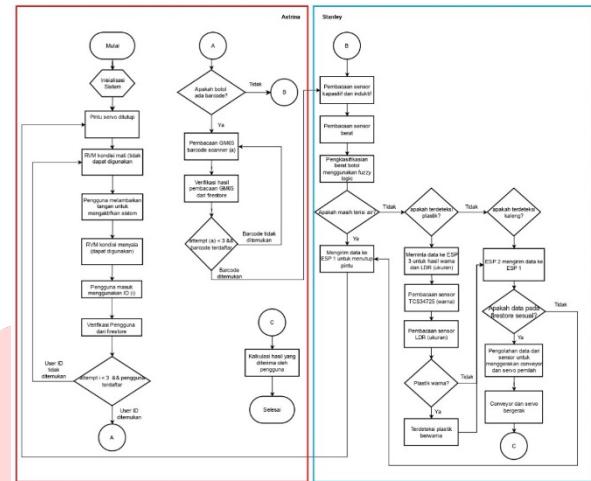


## GAMBAR 2 Diagram Blok

*Reverse Vending Machine* (RVM) ini dirancang untuk mendeteksi dan memilah sampah berupa botol plastik, plastik berwarna, dan kaleng. Sistem menggunakan sensor kapasitif dan induktif untuk membedakan material kemasan (plastik atau kaleng), dilanjutkan dengan *load cell* untuk mendeteksi keberadaan cairan dalam botol berdasarkan berat. Setelah itu, sensor warna TCS34725 digunakan untuk mengenali warna botol, dan sensor LDR mengukur tinggi botol berdasarkan intensitas cahaya yang tertangkap. Semua data sensor diproses oleh ESP sebelum aktuator berupa motor servo dan *conveyor belt* melakukan pemindahan otomatis ke wadah yang sesuai. Fungsi utama sistem meliputi deteksi ukuran (LDR), berat (*load cell*), material (kapasitif dan induktif),

serta warna kemasan, yang kemudian diklasifikasikan menggunakan algoritma berbasis aturan dan *fuzzy logic* untuk proses pemilihan otomatis yang efisien.

## B. Desain Perangkat Lunak



### GAMBAR 3 Flowchart

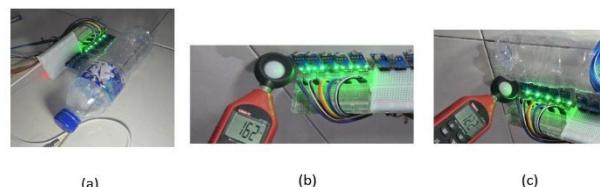
Sistem RVM dimulai dengan inisialisasi seluruh sensor. Botol pertama kali diletakkan pada sensor berat, lalu sensor proximity kapasitif dan induktif membaca jenis material botol (plastik atau kaleng). Setelah jenis material terdeteksi, sensor berat menentukan massa botol. Data dari sensor dimasukkan ke dalam *fuzzy logic* untuk mengevaluasi apakah botol masih berisi cairan; jika ya, botol ditolak. Jika botol diterima, ESP mengklasifikasikan lebih lanjut—jika botol plastik, sensor warna TCS34725 akan menentukan apakah bening atau berwarna. Selanjutnya, LDR membaca ukuran botol. Setelah semua sensor selesai membaca, hasil dikirim ke ESP utama untuk dibandingkan dengan data di database. Jika data cocok, botol dipilah otomatis menggunakan servo dan conveyor; jika tidak dikenali, pintu belakang tidak terbuka dan botol ditolak.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada percobaan ini dilakukan pengkalibrasian terhadap beberapa sensor yang digunakan (LDR, TCS 34725, TAL 220, *Proximity* induktif, *proximity* kapasitif). Berikut merupakan hasil dari kalibrasi yang telah dilakukan :

#### A. Pengujian Parameter Pembacaan Ukuran Botol

Pengujian ukuran (panjang) botol pada *Reverse Vending Machine* akan menggunakan modul sensor LDR yang memiliki sinyal keluaran analog. Sinyal tersebut diberikan aturan sehingga nilai pembacaan dapat sesuai dengan yang diinginkan. Pengukuran ini bertujuan untuk memastikan berapa nilai pencahayaan optimal yang dibutuhkan dalam lux agar sensor dapat bekerja dengan akurat.



## GAMBAR 4

Implementasi: (a) kondisi LDR ketika ada botol, (b) *lux meter*

Gambar 4 merupakan implementasi pengukuran sampah botol Aqua yang memiliki volume 600 ml dengan menggunakan sensor LDR untuk mengetahui panjangnya. Pada implementasi diperlukan nilai *lux meter* sehingga diketahui cahaya yang diperlukan untuk mendapatkan nilai kurang dari 1200 (162 lux) dan perubahan cahaya ketika ada botol (122 lux).

TABEL 1  
Analisa Hasil Pembacaan LDR pada RV

No	Merk	Hasil LDR Terbaca	Banyak Pengujian Berhasil	Persentase Keberhasilan (%)
1	Aw	1/3	28/30	93
2	Milo original	1/3	28/30	93
3	Red Bull	1/3	28/30	93
4	Greensand	1/3	30/30	100
5	Kaki 3 anak	1/3	30/30	100
6	Adem sari kaleng	1/3	30/30	100
7	Bintang	1/3	30/30	100
8	Pocari kaleng	1/3	30/30	100
9	Panda	1/3	30/30	100
10	Pokka greentea	1/3	30/30	100
11	Cap Badak	1/3	30/30	100
12	Vit 1500ml	3/3	27/30	90
13	Sprite 250ml	1/3	28/30	93
14	Prima 330ml	1/3	27/30	90
15	Vit 550ml	2/3	28/30	93
16	Ades	2/3	27/30	90
17	Indomaret 600ml	2/3	27/30	90
18	Cleo 550ml	2/3	27/30	90
19	Ron88	2/3	28/30	93
20	Telyu fresh 600ml	2/3	28/30	93
21	Le minerale 330ml	1/3	29/30	96
22	Sierra	2/3	28/30	93
23	Le minerale 600ml	2/3	29/30	96
24	Cimory yogurt blueberry	1/3	30/30	100
25	Isoplus coco 350ml	1/3	30/30	100
26	Fanta 390ml	1/3	26/30	86
27	Nu green tea madu 330ml	1/3	30/30	100
28	Floridina coco 350ml	1/3	30/30	100
29	Floridina jeruk 350ml	1/3	30/30	100
30	Pocari 500ml	2/3	30/30	100
31	Teh botol sosro tawar 225ml	1/3	30/30	100
32	Ichitan thai milk tea	1/3	30/30	100
33	Pulpy	1/3	30/30	100
34	Le minerale 1500ml	3/3	27/30	90
35	Eternal	2/3	28/30	93
36	Milkku stroberi 200ml	1/3	30/30	100
37	Milkku vanila 200ml	1/3	30/30	100
38	Nipis madu	2/3	29/30	96
39	Mizone 500ml	2/3	30/30	100
40	Super O2	2/3	30/30	100
Rata - rata keberhasilan			96.2	

Berdasarkan data yang telah didapat, hasil rata rata keberhasilan pembacaan sensor LDR untuk melakukan pembacaan kategori ukuran botol mencapai 96.2 %. Pengujian ini dilakukan pada saat botol masih memiliki label merk. Hal ini dapat mempengaruhi hasil dari pembacaan nilai LDR karena semakin banyak label merk yang menempel pada botol maka bayangan yang terbaca juga semakin banyak. Hal tersebut yang dapat meningkatkan tingkat keberhasilan. Sementara itu, ketika botol yang hanya memiliki label sedikit dan diletakkan tidak sesuai di pusat tempat menyimpan akan menurunkan keberhasilan. Hal ini sesuai dengan cara kerja sensor LDR yaitu nilai resistansi berubah terhadap intensitas cahaya yang diterimanya.

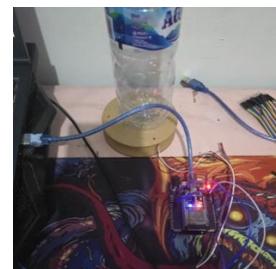
## B. Pengujian Parameter Pembacaan Berat Botol Cara Kerja

Pengujian massa dari botol sampah yang dimasukan kedalam *Reverse Vending Machine* akan memanfaatkan sensor berat TAL220 dengan modul HX711. Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui apakah botol yang dimasukan sesuai dengan ketentuan data dari sampah berat yang ada atau tidak. Pengujian dilakukan dengan melakukan

perbandingan data yang diperoleh dari sensor dan data yang sesungguhnya (menggunakan timbangan digital).



(a)



(b)

GAMBAR 5  
Implementasi: (a) Berat yang sesungguhnya, (b) Pengukuran

Pengukuran TAL220 menggunakan acuan botol Aqua 600 ml yang sebelumnya telah diukur menggunakan timbangan digital seberat 16.4 gram. Selanjutnya dilakukan pengukuran menggunakan sensor TAL 220 yang telah di lakukan kalibrasi sehingga didapatkan hasil seperti Tabel 2.

TABEL 2  
Tabel Kalibrasi Sensor TAL220

No	Berat Sesungguhnya	Berat yang Terukur (g)	Error	Akurasi (%)
1		16.26	0.85	99.15
2		16.33	0.42	99.58
3		16.37	0.18	99.82
4		16.32	0.48	99.52
5		16.33	0.42	99.58
6		16.38	0.12	99.88
7		16.49	0.34	99.46
8		16.49	0.54	99.46
9		16.36	0.24	99.76
10		16.51	0.67	99.33
11		16.27	0.79	99.21
12		16.28	0.73	99.27
13		16.35	0.3	99.7
14		16.24	0.97	99.03
15		16.24	0.97	99.03
16		16.34	0.36	99.64
17		16.29	0.67	99.33
18		16.33	0.42	99.58
19		16.33	0.42	99.58
20		16.29	0.67	99.33
21		16.28	0.73	99.27
22		16.29	0.67	99.33
23		16.29	0.67	99.33
24		16.26	0.85	99.15
25		16.27	0.79	99.21
26		16.26	0.85	99.15
27		16.27	0.79	99.21
28		16.26	0.85	99.15
29		16.28	0.73	99.27
30		16.29	0.67	99.33
Rata-rata		16.3183	0.612	99.388

Berdasarkan hasil dari pengujian parameter pengujian massa menggunakan TAL220 didapatkan hasil pada Tabel 3.

**TABEL 3**  
Analisa Hasil Pembacaan TAL220 pada RVM

No	Merk	Berat seungguhnya (g)	Berat rata rata yang terbaca (g)	Toleransi (%)	Akurasi (%)
1	Aw	10.7	11.11	3.73	96.27
2	Milo original	10.8	11.16	3.25	96.75
3	Red Bull	11	11.3	2.66	97.34
4	Greensand	11.3	11.55	2.13	97.87
5	Kaki 3 anak	11.9	12.22	2.62	97.38
6	Adem sari kaleng	12	12.33	2.65	97.35
7	Bintang	12.2	12.64	3.46	96.54
8	Pocari kaleng	12.5	12.92	3.28	96.72
9	Fanda	12.7	13.2	3.77	96.23
10	Pokka greentea	13.9	14.32	2.94	97.06
11	Cap Badak	14.5	14.83	2.24	97.76
12	Vit 1500ml	27	27.96	3.43	96.57
13	Sprite 250ml	11.3	11.71	3.52	96.48
14	Prima 330ml	12.4	12.8	3.12	96.88
15	Vit 550ml	12.7	13.17	3.54	96.46
16	Ades	12.8	13.19	2.99	97.01
17	Indomaret 600ml	13	13.41	3.05	96.95
18	Cleo 550ml	13.5	13.9	2.86	97.14
19	Ron88	14.1	14.4	2.05	97.95
20	Telyu fresh 600ml	14.3	14.62	2.22	97.78
21	Le minerale 330ml	14.3	14.6	2.06	97.94
22	Sierra	15	15.51	3.27	96.73
23	Le minerale 600ml	16.5	16.95	2.63	97.37
24	Cimory yogurt bluberi	19.1	19.69	3.02	96.98
25	Isoplus coco 350ml	19.1	19.86	3.82	96.18
26	Fanta 390ml	19.4	19.9	2.5	97.5
27	Nu green tea madu 330ml	19.5	20.07	2.82	97.18
28	Floridina coco 350ml	20.5	21.25	3.51	96.49
29	Floridina jeruk 350ml	20.5	21.02	2.46	97.54
30	Pocari 500ml	20.6	21.05	2.15	97.85
31	Teh botol soso tawar 225ml	20.9	21.45	2.58	97.42
32	Ichitan thai milk tea	21.3	21.81	2.32	97.68
33	Pulpy	23.4	24.34	3.86	96.14
34	Le minerale 1500ml	30	31.13	3.62	96.38
35	Eternal	30.1	31.12	3.27	96.73
36	Milkku stroberi 200ml	18	18.7	3.74	96.26
37	Milkku vanila 200ml	19.7	20.44	3.61	96.39
38	Nipis madu	21	21.51	2.37	97.63
39	Mizone 500ml	23.6	24.53	3.79	96.21
40	Super O2	32.6	33.64	3.08	96.92
Rata – Rata		3.00	97.00		

Data yang diperoleh menunjukkan perbandingan antara berat sebenarnya yang diukur menggunakan timbangan digital (Data 1) dengan berat yang dibaca sensor TAL 220 yang dikombinasikan dengan modul HX711 (Data 2). Data 2 merupakan rata-rata hasil pembacaan sensor sebanyak 30 kali per titik pengukuran. Secara keseluruhan, rentang error yang dihitung berada pada rata-rata 2–4%, yang menunjukkan performa sensor cukup baik dalam mereplikasi nilai berat sebenarnya.

Meski demikian, terdapat fluktuasi error pada beberapa titik pengukuran. Error ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor seperti kalibrasi awal sensor, noise pada sinyal analog ke digital oleh HX711, atau variasi mekanik pada posisi beban di atas sensor. Tingkat akurasi yang relatif tinggi (antara 96–98%) menunjukkan sistem berbasis TAL 220 dan HX711 cukup layak digunakan untuk aplikasi pengukuran berat dengan toleransi kecil, misalnya dalam sistem Reverse Vending Machine (RVM).

#### C. Pengujian Parameter Pembacaan Sensor Warna (TCS 34725)

Pengujian warna botol pada sistem *Reverse Vending Machine* (RVM) menggunakan sensor TCS34725 bertujuan untuk memastikan kesesuaian warna botol dengan klasifikasi yang ditentukan. Sensor ini membaca komponen

warna RGB dari permukaan botol, kemudian dibandingkan dengan data referensi warna yang telah ditetapkan. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil sensor dan pengamatan visual menggunakan referensi warna standar dalam kondisi pencahayaan terkontrol guna memastikan akurasi deteksi warna.



**GAMBAR 6**  
Implementasi (pengukuran cahaya yang dibutuhkan sensor)

Berdasarkan hasil dari pengujian parameter pengujian pendekripsi jenis botol plastik (warna atau tidak) menggunakan TCS 34725 didapatkan hasil sebagai dibawah.

**TABEL 4**  
Analisa Hasil Pembacaan TCS34725 pada RVM

No	Merk	Jenis	Banyak Pengujian Berhasil	Error (%)	Akurasi (%)
1	Vit 1500ml	Plastik bening	30 / 30	0	100
2	Sprite 250ml	Plastik bening	30 / 30	0	100
3	Prima 330ml	Plastik bening	30 / 30	0	100
4	Vit 550ml	Plastik bening	30 / 30	0	100
5	Ades	Plastik bening	30 / 30	0	100
6	Indomaret 600ml	Plastik bening	30 / 30	0	100
7	Cleo 550ml	Plastik bening	30 / 30	0	100
8	Ron88	Plastik bening	30 / 30	0	100
9	Telyu fresh 600ml	Plastik bening	30 / 30	0	100
10	Le minerale 330ml	Plastik bening	30 / 30	0	100
11	Sierra	Plastik bening	30 / 30	0	100
12	Le minerale 600ml	Plastik bening	30 / 30	0	100
13	Cimory yogurt bluberi	Plastik bening	24 / 30	20	80
14	Isoplus coco 350ml	Plastik bening	23 / 30	23.33	76.67
15	Fanta 390ml	Plastik bening	30 / 30	0	100
16	Nu green tea madu 330ml	Plastik bening	22 / 30	26.67	73.33
17	Floridina coco 350ml	Plastik bening	24 / 30	20	80
18	Floridina jeruk 350ml	Plastik bening	24 / 30	20	80
19	Pocari 500ml	Plastik bening	28 / 30	6.67	93.33
20	Teh botol soso tawar 225ml	Plastik bening	25 / 30	16.67	83.33
21	Ichitan thai milk tea	Plastik bening	24 / 30	20	80
22	Pulpy	Plastik bening	26 / 30	13.33	86.67
23	Le minerale 1.5ml	Plastik bening	30 / 30	0	100
24	Eternal	Plastik bening	26 / 30	13.33	86.67
25	Milkku stroberi 200ml	Plastik warna	23 / 30	23.33	76.67
26	Milkku vanila 200ml	Plastik warna	23 / 30	23.33	76.67
27	Nipis madu	Plastik warna	30 / 30	0	100
28	Mizone 500ml	Plastik warna	28 / 30	6.67	93.33
29	Super O2	Plastik warna	27 / 30	10	90
Rata – Rata			8.39	91.61	

Hasil perhitungan menunjukkan tingkat keberhasilan pembacaan yang bervariasi. Pada botol plastik bening, sebagian besar data menunjukkan tingkat keberhasilan 100% (30/30), namun terdapat beberapa data (misalnya pada data ke- 13 hingga ke-18) yang mengalami penurunan akurasi, dengan tingkat keberhasilan hanya 22–24/30. Penurunan ini dapat terjadi karena adanya label pada botol bening yang menutupi hampir seluruh permukaan, sehingga mempengaruhi cahaya yang dipantulkan dan diterima oleh sensor. Kondisi ini membuat sensor mengalami kesulitan dalam membedakan antara permukaan bening dan berwarna, sehingga terjadi kesalahan klasifikasi.

Sementara itu, pembacaan pada botol plastik berwarna (5 data terakhir) menunjukkan performa yang relatif lebih stabil, dengan keberhasilan antara 27– 30/30, dan rata-rata akurasi lebih tinggi dibandingkan pembacaan pada botol bening

dengan label. Hal ini dapat dijelaskan karena botol berwarna memiliki perbedaan spektrum warna yang lebih jelas, sehingga sensor lebih mudah mendeteksi warna botol.

#### D. Pengujian Parameter Pembacaan Sensor *Proximity* Induktif

Pengujian material botol pada *Reverse Vending Machine* (RVM) menggunakan sensor induktif LJ12A3-4-Z/BX bertujuan untuk membedakan botol berbahan logam (seperti aluminium) dan non-logam (seperti plastik). Sensor ini mendeteksi logam berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik dengan jarak deteksi hingga 4 mm. Hasil deteksi dibandingkan dengan kondisi material botol yang diketahui secara visual untuk menilai akurasi sensor dalam membedakan jenis material.

Pada Gambar 7 menunjukkan bahwa jarak maksimal yang dapat dibaca oleh sensor adalah 4mm.



GAMBAR 7  
Jarak Maksimal Pembacaan (4mm)

Berikut ini adalah tabel pengujian dari sensor proximity induktif bertipe LJ12A3-4-Z/BX menggunakan ESP32. Pengujian dilakukan sebanyak 30 kali per barang apakah terdeteksi oleh sensor atau tidak ditunjukkan pada Tabel 5.

TABEL 5  
Hasil Pengujian LJ12A3-4-Z/BX

No	Jenis Botol (bahan)	Jumlah Uji Sampel	Keberhasilan (terdeteksi kaleng)	Persentase keberhasilan (%)
1	Aqua 600ml (plastik)	30x	0/30	100
2	Rootbeer (kaleng)	30x	30/30	100
3	Coca cola (kaleng)	30x	30/30	100
4	Red Bull (kaleng)	30x	30/30	100
5	Pocari Sweat (plastik)	30x	0/30	100
6	Bear Brands (kaleng)	30x	30/30	100
7	Green Sands (kaleng)	30x	30/30	100
8	Minuman Cincau Panda (kaleng)	30x	30/30	100
9	Milo (kaleng)	30x	30/30	100
10	Starbucks (kaleng)	30x	30/30	100
11	Coca cola (plastik)	30x	0/30	100
12	Sprite (plastik)	30x	0/30	100
13	Mizone (plastik)	30x	0/30	100
14	Teh pucuk (plastik)	30x	0/30	100
15	Nipis madu (plastik)	30x	0/30	100
Rata - rata keberhasilan (%)				100

Berdasarkan hasil dari pengujian parameter pengujian pendekripsi material logam menggunakan LJ12A3-4-Z/BX didapatkan hasil sebagai Tabel 5.

Hasil pengujian sensor proximity induktif menunjukkan performa yang cukup baik dalam membedakan antara material kaleng (logam) dan plastik. Pada 11 data percobaan untuk botol kaleng, tingkat keberhasilan pembacaan

bervariasi antara 25/30 hingga 28/30, dengan rata-rata akurasi sekitar 89–93%. Variasi ini dipengaruhi oleh perbedaan ukuran dan bentuk botol kaleng, seperti kaleng yang lebih tinggi dengan diameter kecil atau kaleng yang lebih pendek tetapi memiliki diameter lebar. Selain itu, faktor penempatan posisi kaleng oleh pengguna yang tidak sesuai dengan arahan juga mempengaruhi pembacaan sensor, karena jarak dan orientasi kaleng terhadap sensor induktif sangat menentukan kuat atau lemahnya medan elektromagnetik yang terdeteksi.

Sebaliknya, pada 29 data percobaan untuk botol plastik, sensor menunjukkan tingkat keberhasilan 100% (30/30) tanpa adanya error. Hal ini konsisten dengan karakteristik sensor proximity induktif yang memang dirancang untuk mendeksi material logam dan mengabaikan material non-logam seperti plastik. Dengan demikian, sensor bekerja optimal dalam membedakan botol plastik dari botol kaleng.

TABEL 6  
Analisa Hasil Pembacaan LJ12A3-4-Z/BX pada RVM

No	Merk	Jenis Material	Keberhasilan pendekripsi	Toleransi (%)	Akurasi (%)
1	Aw	Kaleng	27 / 30	0	90
2	Milo original	Kaleng	26 / 30	0	86
3	Red Bull	Kaleng	26 / 30	0	100
4	Greensand	Kaleng	28 / 30	7	93
5	Kaki 3 anak	Kaleng	25 / 30	0	83
6	Adem sari kaleng	Kaleng	28 / 30	7	93
7	Bintang	Kaleng	28 / 30	7	93
8	Pocari kaleng	Kaleng	28 / 30	7	93
9	Panda	Kaleng	28 / 30	7	93
10	Pokka greentea	Kaleng	28 / 30	7	93
11	Cap Badak	Kaleng	28 / 30	7	93
12	Vit 1500ml	Plastik	30 / 30	0	100
13	Sprite 250ml	Plastik	30 / 30	0	100
14	Prima 330ml	Plastik	30 / 30	0	100
15	Vit 550ml	Plastik	30 / 30	0	100
16	Ades	Plastik	30 / 30	0	100
17	Indomaret 600ml	Plastik	30 / 30	0	100
18	Cleo 550ml	Plastik	30 / 30	0	100
19	Ron88	Plastik	30 / 30	0	100
20	Telyu fresh 600ml	Plastik	30 / 30	0	100
21	Le mineralle 330ml	Plastik	30 / 30	0	100
22	Sierra	Plastik	30 / 30	0	100
23	Le mineralle 600ml	Plastik	30 / 30	0	100
24	Cimory yogurt bluberi	Plastik	30 / 30	0	100
25	Isoplus coco 350ml	Plastik	30 / 30	0	100
26	Fanta 390ml	Plastik	30 / 30	0	100
27	Nu green tea madu 330ml	Plastik	30 / 30	0	100
28	Floridina coco 350ml	Plastik	30 / 30	0	100
29	Floridina jeruk 350ml	Plastik	30 / 30	0	100
30	Pocari 500ml	Plastik	30 / 30	0	100
31	Teh botol sosro tawar 225ml	Plastik	30 / 30	0	100
32	Ichitan thai milk tea	Plastik	30 / 30	0	100
33	Pulpy	Plastik	30 / 30	0	100
34	Le mineralle 1500ml	Plastik	30 / 30	0	100
35	Eternal	Plastik	30 / 30	0	100
36	Milku stroberi 200ml	Plastik	30 / 30	0	100
37	Milku vanila 200ml	Plastik	30 / 30	0	100
38	Nipis madu	Plastik	30 / 30	0	100
39	Mizone 500ml	Plastik	30 / 30	0	100
40	Super O2	Plastik	30 / 30	0	100
Rata - Rata				3.00	97.00

#### E. Pengujian Parameter Pembacaan Sensor *Proximity* Kapasitif

Pengujian material botol menggunakan sensor kapasitif LJC18A3-H-Z/BY dan ESP32 bertujuan memastikan botol berbahan non-logam seperti plastik. Sensor ini mendeksi perubahan kapasitansi saat objek non-logam berada dalam jarak hingga 10 mm. Jika terdeteksi, botol dianggap berbahan plastik yang memiliki nilai jual berbeda dari logam.

TABEL 7  
Hasil Pengujian LJC18A3-H-Z/BY

No	Jenis Botol (bahan)	Jumlah Uji Sampel	Keberhasilan (terdeteksi plastik)	Persentase keberhasilan (%)
1	Aqua 600ml (plastik)	30x	30/30	100
2	Rootbeer (kaleng)	30x	0/30	100
3	Coca cola (kaleng)	30x	0/30	100
4	Red Bull (kaleng)	30x	0/30	100
5	Pocari Sweat (plastik)	30x	30/30	100
6	Bear Brands (kaleng)	30x	0/30	100
7	Green Sands (kaleng)	30x	0/30	100
8	Minuman Cincau Panda (kaleng)	30x	0/30	100
9	Milo (kaleng)	30x	0/30	100
10	Starbucks (kaleng)	30x	0/30	100
11	Coca cola (plastik)	30x	30/30	100
12	Sprite (plastik)	30x	30/30	100
13	Mizone (plastik)	30x	30/30	100
14	Teh pucuk (plastik)	30x	30/30	100
15	Nipis madu (plastik)	30x	30/30	100
Rata - rata keberhasilan (%)				100

Berdasarkan hasil dari pengujian parameter pengujian pendeksi material non logam dan logam menggunakan LJC18A3-H-Z/BY didapatkan hasil seperti pada Tabel 8.

TABEL 8  
Analisa Hasil Pembacaan LJC18A3-H-Z/BY pada RVM

No	Merk	Jenis Material	Keberhasilan pendeksi	Toleransi (%)	Akurasi (%)
1	Aw	Kaleng	28 / 30	0	93
2	Milo original	Kaleng	27 / 30	0	86
3	Red Bull	Kaleng	27 / 30	0	100
4	Greensand	Kaleng	28 / 30	7	93
5	Kaki 3 anak	Kaleng	27 / 30	0	83
6	Adem sari kaleng	Kaleng	28 / 30	7	93
7	Bintang	Kaleng	28 / 30	7	93
8	Pocari kaleng	Kaleng	28 / 30	7	93
9	Panda	Kaleng	28 / 30	7	93
10	Pokka greentea	Kaleng	28 / 30	7	93
11	Cap Badak	Kaleng	28 / 30	7	93
12	Vit 1500ml	Plastik	30 / 30	0	100
13	Sprite 250ml	Plastik	26 / 30	0	100
14	Prima 330ml	Plastik	26 / 30	0	100
15	Vit 550ml	Plastik	30 / 30	0	100
16	Ades	Plastik	30 / 30	0	100
17	Indomaret 600ml	Plastik	30 / 30	0	100
18	Cleo 550ml	Plastik	30 / 30	0	100
19	Ron88	Plastik	30 / 30	0	100
20	Telyu fresh 600ml	Plastik	30 / 30	0	100
21	Le minerale 330ml	Plastik	30 / 30	0	100
22	Sierra	Plastik	30 / 30	0	100
23	Le minerale 600ml	Plastik	30 / 30	0	100
24	Cimory yogurt bluberi	Plastik	26 / 30	0	100
25	Ispolus coco 350ml	Plastik	27 / 30	0	100
26	Fanta 390ml	Plastik	26 / 30	0	100
27	Nu green tea madu 330ml	Plastik	30 / 30	0	100
28	Floridina coco 350ml	Plastik	30 / 30	0	100
29	Floridina jeruk 350ml	Plastik	30 / 30	0	100
30	Pocari 500ml	Plastik	30 / 30	0	100
31	Teh botol soso tawar 225ml	Plastik	27 / 30	0	100
32	Ichitan than milk tea	Plastik	26 / 30	0	100
33	Pulpy	Plastik	26 / 30	0	100
34	Le minerale 1500ml	Plastik	30 / 30	0	100
35	Eternal	Plastik	30 / 30	0	100
36	Milkun stroberi 200ml	Plastik	26 / 30	0	100
37	Milkun vanila 200ml	Plastik	26 / 30	0	100
38	Nipis madu	Plastik	25 / 30	0	100
39	Mizone 500ml	Plastik	30 / 30	0	100
40	Super O2	Plastik	30 / 30	0	100
Rata - Rata				3	97

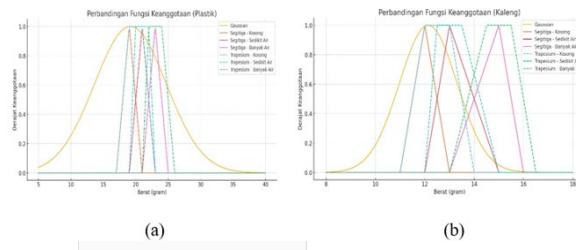
Hasil percobaan menunjukkan kinerja sensor kapasitif dalam mendeksi material kaleng dan plastik dengan berbagai ukuran dan bentuk. Dari 11 data awal yang merepresentasikan pembacaan pada botol kaleng, tingkat keberhasilan pembacaan berkisar antara 26/30 hingga 28/30, dengan rata-rata akurasi antara 86.7-93.3%. Penurunan akurasi pada kaleng ini dapat dikaitkan dengan variasi diameter dan bentuk botol, khususnya pada kaleng dengan ukuran kecil atau desain ramping. Hal ini terjadi karena

sensor kapasitif bekerja dengan mendeksi perubahan kapasitansi yang dipengaruhi oleh ukuran, jarak, dan material objek terhadap permukaan sensor. Kaleng dengan diameter kecil atau posisi miring menghasilkan perubahan kapasitansi yang lebih kecil, sehingga jika posisinya tidak tepat dalam range deteksi, pembacaan dapat gagal.

Pada data berikutnya, yang merupakan pembacaan terhadap botol plastik, sensor menunjukkan performa yang sangat baik. Mayoritas pembacaan memiliki tingkat keberhasilan 100% (30/30), terutama pada botol plastik dengan diameter lebar yang lebih mudah masuk ke dalam jangkauan deteksi sensor. Plastik berdiameter besar menghasilkan perubahan kapasitansi yang cukup signifikan untuk memicu deteksi. Namun, botol plastik dengan ukuran ramping atau diameter kecil menunjukkan sedikit penurunan akurasi (sekitar 25-27/30) pada beberapa data. Fenomena ini sekali lagi mengindikasikan bahwa penempatan botol yang kurang tepat oleh pengguna sangat mempengaruhi hasil pembacaan, karena sensor kapasitif memiliki area sensitif terbatas yang harus dilewati agar perubahan kapasitansi dapat dikenali.

#### F. Pengujian Fuzzy Logic

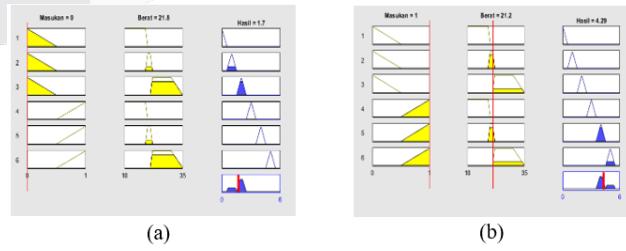
Pengujian *fuzzy logic* menggunakan matlab dengan kondisi awal dari fungsi keanggotaan untuk botol plastik dan kaleng sebagai berikut :



GAMBAR 8  
(a) Pengujian Fuzzy Logic (Plastik) (b) Pengujian Fuzzy

Pengujian *fuzzy logic* menggunakan matlab memiliki pengaturan sistem sebagai berikut :

1. *Input* (plastik (0) and kaleng (1))
2. Berat dibagi menjadi 3 (kosong menggunakan parameter trapesium [10 10 19 20], sedikit air menggunakan parameter [19 20 21 22], banyak air menggunakan parameter [21 22 30 35])
3. Output memiliki 6 hasil yaitu plastik kosong, plastik sedikit air, plastik banyak air, kaleng kosong, kaleng sedikit air, and kaleng banyak air.



GAMBAR 9  
(a) Analisa Fuzzy Logic Matlab (Plastik) (b) Analisa Fuzzy

Sistem fuzzy yang dikembangkan dengan metode Mamdani memiliki dua input—jenis botol dan berat—serta satu output berupa hasil klasifikasi dengan enam kategori: plastik kosong, plastik air sedikit, plastik air banyak, kaleng kosong, kaleng sedikit air, and kaleng banyak air.

kaleng air sedikit, dan kaleng air banyak. Input jenis botol menggunakan fungsi keanggotaan segitiga (trimf) untuk membedakan antara plastik (0) dan kaleng (1), sedangkan input berat menggunakan fungsi trapesium (trapmf) yang diklasifikasikan menjadi tiga: kosong, sedikit air, dan banyak air. Proses inferensi dilakukan dengan enam aturan fuzzy yang menggabungkan kedua input tersebut. Output sistem juga menggunakan fungsi segitiga untuk mewakili masing-masing kategori.

Pada skenario pertama, masukan plastik (0) dengan berat 21,8 g menghasilkan output 1,7, yang berada di antara kategori plastik air sedikit dan banyak. Ini menunjukkan adanya tumpang tindih derajat keanggotaan, mengindikasikan bahwa botol kemungkinan mengandung air dalam jumlah mendekati banyak. Pada skenario kedua, masukan kaleng (1) dengan berat 21,2 g menghasilkan output 4,29, yang menunjukkan bahwa kaleng dengan berat tersebut diklasifikasikan sebagai kaleng yang masih berisi banyak air. Kedua skenario ini menunjukkan bahwa sistem mampu membedakan kondisi botol berdasarkan jenis dan beratnya.

Penggunaan fungsi keanggotaan trapesium pada input berat memberikan toleransi terhadap variasi nilai, menjadikannya sistem lebih robust terhadap fluktuasi sensor. Selain itu, hasil defuzzifikasi berupa nilai kontinu memungkinkan klasifikasi yang lebih fleksibel, bukan sekadar kategori kaku, tetapi juga mencerminkan tingkat keanggotaan. Hal ini penting untuk aplikasi *Reverse Vending Machine* (RVM), karena membantu sistem mengenali botol yang belum sepenuhnya kosong dan memberikan respons yang sesuai sebelum proses pemilahan dan daur ulang dilakukan.

#### G. Pengujian Reverse Vending Machine

TABEL 9  
Pengujian Reverse Vending Machine

Confusion Matrix			
		True Class	
		Plastik	Plastik warna
Predicted Class	Plastik	25	0
	Plastik warna	2	3
	Kaleng	0	10
Result			
Accuracy			95
Error Rate			5

Pada hasil pengujian yang dilakukan, kelas plastik menunjukkan performa pengenalan yang sangat baik dengan tingkat ketepatan mencapai 100%. Keberhasilan ini tidak terlepas dari peran sensor proximity kapasitif yang mampu mendeteksi sifat dielektrik material plastik secara konsisten. Sensor ini bekerja dengan prinsip membaca perubahan kapasitansi akibat keberadaan objek non-logam di sekitarnya. Selama penempatan objek plastik berada pada posisi yang optimal tidak terlalu jauh, miring, atau terhalang pembacaan sensor menjadi sangat akurat, sehingga tidak ada satupun data yang salah terklasifikasi. Hasil ini membuktikan bahwa sensor proximity kapasitif sangat andal untuk mengidentifikasi plastik secara umum dalam sistem yang diuji.

Sama halnya dengan kaleng tingkat ketepatan pengenalan juga mencapai 100%. Pada kasus ini, sensor proximity induktif menjadi komponen utama yang mendukung keberhasilan tersebut. Sensor proximity induktif bekerja dengan cara menghasilkan medan elektromagnetik dan

mendeteksi perubahan akibat keberadaan material logam. Kaleng yang terbuat dari logam memberikan respon yang kuat dan jelas terhadap medan tersebut, sehingga pembacaan sensor menjadi stabil dan akurat. Selama penempatan objek kaleng dilakukan dengan tepat di area deteksi sensor, kemungkinan terjadinya kesalahan klasifikasi hampir tidak ada. Kombinasi sensitivitas sensor induktif dan kondisi penempatan yang ideal membuat kategori kaleng selalu teridentifikasi secara sempurna.

Berbeda dengan dua kelas tersebut, plastik warna masih menjadi sumber utama kesalahan klasifikasi. Dari hasil pengujian, terdapat dua sampel plastik warna yang terbaca sebagai plastik biasa. Hal ini terutama disebabkan oleh keterbatasan pada pembacaan sensor warna, yang sangat dipengaruhi oleh nilai lux atau intensitas cahaya yang diterima. Jika intensitas cahaya berbeda misalnya karena pencahayaan ruangan yang berubah, bayangan dari objek, atau posisi objek yang miring maka nilai yang dibaca sensor juga akan berubah, dan hal ini memengaruhi hasil pengenalan warna. Plastik warna dengan permukaan mengilap, label tambahan, atau variasi warna yang kompleks cenderung memantulkan cahaya dengan cara berbeda, sehingga nilai lux yang dihasilkan tidak konsisten. Akibatnya, sistem dapat salah mengenali plastik warna sebagai plastik biasa. Faktor penempatan objek yang kurang tepat semakin memperbesar kemungkinan perbedaan nilai lux ini, sehingga menurunkan akurasi pembacaan sensor.

Secara keseluruhan, sistem klasifikasi ini menghasilkan akurasi sebesar 95% dan error rate sebesar 5%. Nilai akurasi dihitung dengan membagi jumlah prediksi yang benar dengan total jumlah sampel, kemudian dikalikan 100%. Sedangkan error rate diperoleh dengan mengurangkan nilai akurasi dari 100%. Pada kasus ini, total prediksi benar adalah 38 dari 40 sampel, sehingga akurasi =  $(38/40) \times 100\% = 95\%$ , dan error rate =  $100\% - 95\% = 5\%$ . Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun kinerja sistem sudah tergolong sangat baik, peningkatan akurasi masih dapat dicapai dengan mengoptimalkan pembacaan sensor warna, khususnya dalam pengaturan intensitas cahaya dan penempatan objek agar nilai lux yang dihasilkan lebih konsisten lanjut.

#### V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem *Reverse Vending Machine* (RVM) berbasis multi-sensor dengan penerapan algoritma *fuzzy logic*, dapat disimpulkan bahwa sistem ini mampu mendeteksi dan mengklasifikasikan jenis botol plastik bening, botol plastik berwarna, dan kaleng dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi, yakni mencapai rata-rata 97%. Integrasi sensor warna TCS34725, sensor berat TAL220 dengan modul HX711, serta sensor proximity induktif dan kapasitif terbukti dapat bekerja secara simultan dalam mendeteksi karakteristik fisik botol. Sensor berat menunjukkan performa akurat dengan error hanya 2-4%, sementara sensor warna mampu mengidentifikasi perbedaan antara botol bening dan berwarna dengan akurasi 91,61%, meskipun performanya menurun ketika menghadapi botol yang dilapisi label secara menyeluruh. Sensor proximity juga menunjukkan hasil stabil dengan akurasi sekitar 97%. Penerapan algoritma *fuzzy logic* turut meningkatkan ketepatan klasifikasi botol, khususnya saat terjadi ambiguitas dalam data sensor berat. Namun, meskipun sistem telah berfungsi dengan baik di lingkungan pengujian, beberapa perbaikan tetap perlu dilakukan untuk meningkatkan kinerja di kondisi nyata. Oleh karena itu,

disarankan untuk melakukan kalibrasi sensor secara berkala dengan mempertimbangkan pengaruh lingkungan, mengoptimalkan tata letak sensor agar lebih toleran terhadap variasi ukuran botol, serta menambahkan panduan fisik untuk memastikan posisi botol tetap ideal saat dideteksi. Selain itu, penggunaan kamera dan algoritma *computer vision* dapat menjadi solusi untuk mengatasi tantangan pada botol berlabel penuh. Terakhir, uji lapangan di lokasi operasional seperti supermarket atau kampus perlu dilakukan untuk menilai performa sistem dalam skenario penggunaan sebenarnya. Dengan pengembangan dan penyempurnaan berkelanjutan, sistem RVM ini berpotensi menjadi solusi inovatif dalam mendukung program daur ulang dan pengelolaan sampah berbasis teknologi yang ramah lingkungan.

## REFERENSI

- [1] Bps.go.id, "Jumlah Penduduk Pertengahan Tahun (Ribu Jiwa), 2022-2024," bps.go.id. Accessed: Nov. 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTk3NSMy/jumlah-penduduk-pertengahan-tahun--ribu-jiwa-.html>
- [2] Bps.go.id, "Laju Pertumbuhan Penduduk (Persen), 2024," bps.go.id. Accessed: Nov. 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTk3NiMy/laju-pertumbuhan-penduduk.html>
- [3] Worldbank.org, "Plastic Waste Discharges from Rivers and Coastlines in Indonesia," worldbank.org. Accessed: Nov. 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.worldbank.org/en/country/indonesia/publication/plastic-waste-discharges-from-rivers-and-coastlines-in-indonesia>
- [4] D. Kim, S. Lee, M. Park, K. Lee, and D. Y. Kim, "Designing of reverse vending machine to improve its sorting efficiency for recyclable materials for its application in convenience stores," *J. Air Waste Manag. Assoc.*, vol. 71, no. 10, pp. 1312–1318, 2021, doi: 10.1080/10962247.2021.1939811.
- [5] N. Taneepanichskul, D. Purkiss, and M. Miodownik, "A Review of Sorting and Separating Technologies Suitable for Compostable and Biodegradable Plastic Packaging," *Front. Sustain.*, vol. 3, no. May, 2022, doi: 10.3389/frsus.2022.901885.
- [6] O. C. Iryna Zharikova, Igor Nevliudov, Svitlana Maksymova and Department, "Automatic Machine of Plastic Bottles and Aluminum Cans Collection for Recycling Iryna," vol. 1, no. 11, pp. 1–23, 2023.
- [7] R. Ismail, S. Surorejo, P. Septiana, S. Informasi, P. Lor, and K. Tegal, "SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW: PENERAPAN METODE FUZZY LOGIC DALAM SISTEM PAKAR Riyana," vol. 3, no. 2, pp. 47–53, 2022.
- [8] H. Zia et al., "Plastic Waste Management through the Development of a Low Cost and Light Weight Deep Learning Based Reverse Vending Machine," *Recycling*, vol. 7, no. 5, 2022, doi: 10.3390/recycling7050070.
- [9] L. Ding, T. Wang, and P. W. Chan, "Forward and reverse logistics for circular economy in construction: A systematic literature review," *J. Clean. Prod.*, vol. 388, no. January, p. 135981, 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.135981.
- [10] C. H.S., A. K. K.M., M. K.A., Sh. C.G., and A. Raju.B, "Plastic Bottle Reverse Vending Machine," *Int. J. Sci. Res. Dev.*, vol. 8, no. 2, pp. 2321–0613, 2020, [Online]. Available: [www.ijsr.com](http://www.ijsr.com)
- [11] S. M. Parida, S. D. Pande, N. P. Challa, and B. Sankar, "Enhancing Audio Accessory Selection through Multi-Criteria Decision Making using Fuzzy Logic and Machine Learning Sagar," vol. 10, pp. 1–9, 2024, doi: 10.4108/eetiot.5364.
- [12] A. Gaur, P. Rashmi, and D. Mathuria, "A Simple Approach to Design Reverse Vending Machine," *Int. J. Electron. Electr. Comput. Syst.*, no. July, pp. 110–119, 2021.
- [13] C. Mbonu, J. Azeta, and K. Seun, "An LDR Based Colour Sensor for Urine Analysis: A Review," no. January 2022, 2020, doi: 10.30534/ijeter/2020/1618102020.
- [14] M. Javaid, A. Haleem, S. Rab, R. Pratap, and R. Suman, "Sensors for daily life: A review," *Sensors Int.*, vol. 2, no. July, p. 100121, 2021, doi: 10.1016/j.sintl.2021.100121.
- [15] W. Z. and C. T. Shudong Zhuang, Wen Yang, Xianming Cheng, Jenny Sama Kevin, Chang Liu, Guangjie Zhang, "Analysis of Return-to-Zero Error after the First Load of Load Cell," 2023.
- [16] A. R. S.Krishnakumar, K.Sneha, "Review on Sensor based Colour Sorting Robot for Candy Manufacturing," 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1084/1/012094.