

# Implementasi Logika Fuzzy C-Means untuk Segmentasi Sampah Ambigu dalam Sistem Sortir Otomatis Berbasis Computer

Azizah<sup>1\*</sup>, Fardan Rifaldi Ilimi<sup>2</sup>, Bernadus Boli Geroda<sup>3</sup>, Hendra Supendar<sup>4</sup>, Riza Fahlapi<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Teknik Informatika, Teknologi Informasi, Universitas Bina Sarana Informatika, Jakarta, Indonesia

Email: <sup>1\*</sup>[azizah.alhasany@yahoo.com](mailto:azizah.alhasany@yahoo.com), <sup>2</sup>[fardanr67@gmail.com](mailto:fardanr67@gmail.com), <sup>3</sup>[bolikatang23@gmail.com](mailto:bolikatang23@gmail.com), <sup>4</sup>[Hendra.hds@bsi.ac.id](mailto:Hendra.hds@bsi.ac.id),

<sup>5</sup>[riza.rzf@bsi.ac.id](mailto:riza.rzf@bsi.ac.id)

(\*Email Corresponding Author: [azizah.alhasany@yahoo.com](mailto:azizah.alhasany@yahoo.com))

Received: 23 Mei 2026 | Revision: 24 Mei 2026 | Accepted: 24 Mei 2026

## Abstrak

Sistem sortir sampah otomatis berbasis computer vision umumnya menghadapi kendala saat mengidentifikasi sampah ambigu objek yang mengalami deformasi wujud, kotor, atau saling tumpang tindih sehingga sulit dikategorikan secara tegas oleh metode thresholding konvensional. Penelitian ini menerapkan algoritma Fuzzy C-Means (FCM) untuk segmentasi citra sampah ambigu berdasarkan ekstraksi fitur ruang warna HSV. Berbeda dengan pengklasteran tegas (hard clustering), FCM memberikan nilai keanggotaan fuzzy pada setiap piksel untuk memisahkan latar belakang konveyor dan objek sampah secara lebih halus. Guna mendukung manajemen data operasional, sistem ini diintegrasikan dengan database relasional sebagai media penyimpanan log segmentasi dan koordinat fisik objek. Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma FCM berhasil melakukan segmentasi objek ambigu dengan rata-rata nilai Intersection over Union (IoU) sebesar 87,5%, serta mampu menyuplai data koordinat spasial secara real-time ke sistem basis data untuk interaksi lengan robot pemilah. Target utama penelitian ini adalah meningkatkan akurasi deteksi pada objek yang samar agar efisiensi pemilahan meningkat. Berdasarkan data pengujian, sistem ini terbukti meminimalkan galat koordinat spasial pada lengan robot pemilah secara signifikan.

**Kata Kunci:** Computer Vision, Database Relasional, Fuzzy C-Means, Sampah Ambigu, Segmentasi Citra.

## Abstract

*Automated waste sorting systems based on computer vision generally face obstacles when identifying ambiguous waste objects that undergo deformation, are dirty, or overlap each other, making them difficult to categorize strictly by conventional thresholding methods. This study applies the Fuzzy C-Means (FCM) algorithm for image segmentation of ambiguous waste based on HSV color space feature extraction. In contrast to hard clustering, FCM assigns a fuzzy membership value to each pixel to separate the conveyor background and waste objects more smoothly. To support operational data management, this system is integrated with a relational database as a storage medium for segmentation logs and physical coordinates of the objects. The test results show that the FCM algorithm successfully segments ambiguous objects with an average Intersection over Union (IoU) value of 87.5%, and is capable of supplying spatial coordinate data in real-time to the database system for robotic sorting arm interaction. The main goal of this research is to increase detection accuracy on obscure objects so that sorting efficiency improves. Based on test data, this system is proven to significantly minimize spatial coordinate errors on the robotic sorting arm.*

**Keywords:** Ambiguous Waste, Computer Vision, Fuzzy C-Means, Image Segmentation, Relational Database.

## 1. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah sampah yang terus terjadi seiring perkembangan populasi, urbanisasi, dan aktivitas industri telah menjadi salah satu persoalan lingkungan yang paling kompleks pada era modern[1]. Tingginya volume limbah rumah tangga maupun industri menuntut adanya sistem pengelolaan yang lebih efektif, khususnya pada tahap pemilahan sampah berdasarkan jenis material. Pada praktiknya, sebagian besar proses pemilahan masih dilakukan secara manual oleh tenaga manusia sehingga menimbulkan berbagai kendala operasional[2], [3]. Proses sortir konvensional dinilai kurang efisien karena membutuhkan waktu kerja yang lama, tingkat konsistensi klasifikasi yang rendah, serta memiliki risiko kesehatan yang tinggi akibat paparan limbah berbahaya secara langsung. Selain itu, metode manual juga sulit diterapkan pada lingkungan industri berskala besar yang membutuhkan kecepatan dan ketepatan pemrosesan sampah secara kontinu. Kondisi tersebut mendorong perlunya pengembangan sistem otomatis yang mampu meningkatkan efisiensi proses pemilahan sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap intervensi manusia.

Perkembangan teknologi informasi dan kecerdasan buatan memberikan peluang besar dalam membangun sistem sortir otomatis berbasis digital[4]. Salah satu pendekatan yang saat ini banyak dikembangkan adalah pemanfaatan teknologi computer vision sebagai komponen utama dalam proses identifikasi objek sampah. Sistem computer vision memungkinkan kamera digital digunakan sebagai sensor visual untuk menangkap citra objek, kemudian memprosesnya secara otomatis guna mengenali bentuk, warna, tekstur, serta karakteristik visual lainnya[5], [6]. Teknologi ini dapat diintegrasikan dengan aktuator mekanik seperti lengan robot pemilah sehingga sistem mampu melakukan deteksi, klasifikasi, dan pemindahan objek secara real-time. Implementasi computer vision pada sistem pemilahan sampah dinilai

mampu meningkatkan kecepatan kerja, mengurangi kesalahan klasifikasi, serta mendukung proses otomasi industri yang lebih modern dan efisien[7].

Meskipun demikian, implementasi sistem sortir otomatis berbasis visi komputer masih menghadapi berbagai tantangan teknis, terutama pada proses segmentasi objek. Dalam kondisi nyata di lapangan, sampah yang bergerak di atas konveyor umumnya tidak berada dalam bentuk ideal. Banyak objek mengalami deformasi bentuk akibat tekanan fisik, tertutup kotoran, dalam kondisi basah, maupun saling bertumpukan dengan objek lain. Kondisi tersebut menyebabkan batas visual antarobjek menjadi tidak jelas sehingga menciptakan karakteristik yang ambigu. Sampah ambigu merupakan objek yang memiliki ciri visual samar dan sulit dipisahkan secara tegas dari latar belakang maupun objek lain di sekitarnya. Permasalahan ini menjadi hambatan utama dalam tahapan segmentasi citra karena sistem harus mampu menentukan area objek dengan tingkat akurasi tinggi sebelum proses klasifikasi dilakukan.

Metode segmentasi konvensional seperti thresholding maupun hard clustering memiliki keterbatasan ketika digunakan untuk menangani objek ambigu[8], [9]. Teknik thresholding cenderung sensitif terhadap perubahan pencahayaan dan noise, sedangkan metode hard clustering seperti K-Means memaksa setiap piksel citra masuk secara mutlak ke dalam satu kelompok tertentu. Akibatnya, piksel yang berada pada area transisi atau tepian objek sering mengalami kesalahan klasifikasi. Pada kasus sampah transparan, objek kotor, atau objek yang bertumpuk, metode tersebut sering gagal memisahkan bentuk objek secara utuh sehingga menghasilkan koordinat spasial yang tidak akurat. Kesalahan segmentasi ini dapat berdampak langsung terhadap performa sistem robotik karena lengan robot pemilah akan mengalami kesalahan posisi saat mengambil objek pada konveyor[10], [11].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini menerapkan algoritma Fuzzy C-Means (FCM) sebagai metode segmentasi citra pada sistem sortir sampah otomatis. Algoritma FCM merupakan pendekatan berbasis logika fuzzy yang memberikan nilai derajat keanggotaan pada setiap piksel terhadap suatu kluster tertentu[12]. Berbeda dengan metode hard clustering, FCM tidak melakukan pengelompokan secara mutlak, melainkan memberikan toleransi matematis terhadap piksel yang berada pada area ambigu[13]. Dengan pendekatan ini, setiap piksel dapat memiliki tingkat kedekatan terhadap lebih dari satu kluster berdasarkan nilai membership function yang berada pada rentang 0 hingga 1. Pendekatan fuzzy tersebut memungkinkan proses segmentasi dilakukan secara lebih halus dan adaptif, khususnya pada area tepian objek atau bagian citra yang memiliki karakteristik visual tidak stabil[14], [15].

Dalam penelitian ini, proses segmentasi dilakukan menggunakan fitur ruang warna Hue, Saturation, dan Value (HSV). Pemanfaatan ruang warna HSV dipilih karena lebih stabil terhadap perubahan intensitas cahaya dibandingkan ruang warna RGB[16]. Karakteristik HSV memungkinkan sistem mempertahankan detail visual objek meskipun berada pada kondisi pencahayaan yang berubah-ubah atau terkena bayangan konveyor. Setelah proses ekstraksi fitur dilakukan, algoritma FCM digunakan untuk menghitung pusat kluster dan nilai keanggotaan fuzzy setiap piksel secara iteratif hingga mencapai kondisi konvergen. Hasil segmentasi kemudian dikonversi menjadi masker biner melalui proses defuzzifikasi sehingga bentuk objek dapat diekstraksi secara lebih akurat. Pendekatan ini diharapkan mampu meningkatkan kemampuan sistem dalam mendeteksi sampah ambigu seperti plastik transparan, botol remuk, maupun limbah yang tertutup noda kotoran.

Selain fokus pada peningkatan akurasi segmentasi citra, penelitian ini juga memperhatikan efisiensi arsitektur pengolahan data dalam sistem. Informasi hasil segmentasi berupa koordinat spasial objek harus dapat dikirimkan secara cepat menuju perangkat mekanik agar proses pemilahan berjalan secara real-time. Oleh karena itu, sistem diintegrasikan dengan Database Management System (DBMS) relasional sebagai media penyimpanan log operasional. Database digunakan untuk mencatat hasil segmentasi, koordinat pusat objek, tingkat kepercayaan klasifikasi, serta status keberhasilan mekanisme robot pemilah. Integrasi basis data ini memungkinkan seluruh aktivitas sistem terdokumentasi secara terstruktur sehingga mempermudah proses monitoring, evaluasi performa, dan analisis data operasional secara berkala.

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan algoritma Fuzzy C-Means pada sistem segmentasi citra sampah ambigu berbasis computer vision serta mengintegrasikannya dengan sistem basis data relasional untuk mendukung proses sortir otomatis secara real-time. Melalui penerapan metode tersebut, penelitian diharapkan mampu meningkatkan akurasi deteksi objek ambigu, meminimalkan kesalahan koordinat spasial pada lengan robot pemilah, serta menghasilkan sistem pemrosesan data yang stabil dan efisien untuk kebutuhan otomasi pengelolaan sampah modern.

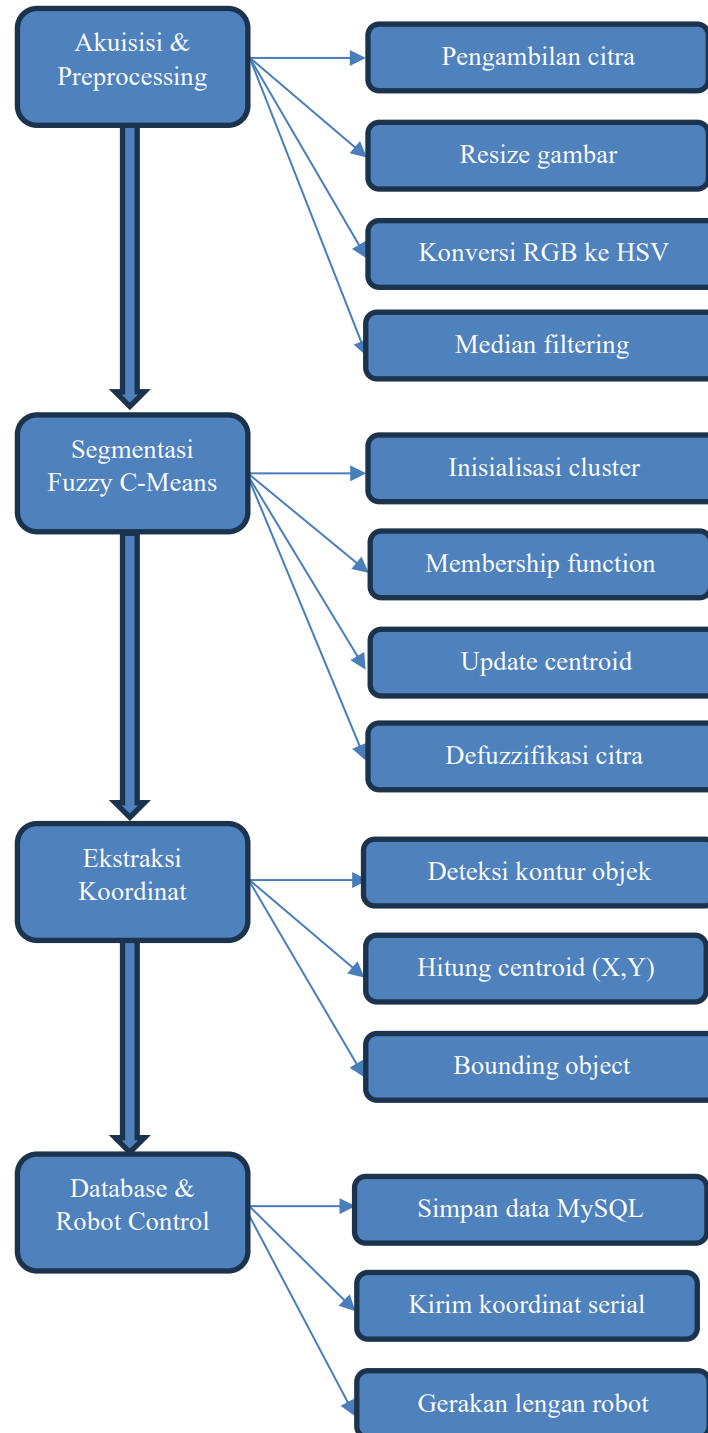
## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian pada sistem sortir sampah otomatis ini dirancang secara sistematis untuk membangun proses pengolahan citra digital yang mampu mendeteksi objek sampah ambigu secara real-time. Penelitian menggunakan pendekatan eksperimental dengan mengintegrasikan teknologi computer vision, algoritma Fuzzy C-Means (FCM), serta sistem basis data relasional dalam satu arsitektur pemrosesan data yang saling terhubung. Fokus utama penelitian terletak pada peningkatan akurasi segmentasi objek yang memiliki karakteristik visual samar akibat deformasi bentuk, tumpang tindih objek, maupun kondisi kotor pada permukaan sampah.

Pada penelitian ini, sistem bekerja melalui beberapa tahapan utama, yaitu proses akuisisi citra, preprocessing, segmentasi menggunakan algoritma FCM, ekstraksi koordinat spasial, hingga penyimpanan data hasil segmentasi ke database relasional. Setiap tahapan dirancang agar mampu menghasilkan data koordinat objek yang stabil untuk mendukung pergerakan lengan robot pemilah pada sistem sortir otomatis berbasis konveyor.

## 2.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian disusun dalam bentuk alur kerja sistem untuk menggambarkan proses pengolahan data mulai dari pengambilan citra hingga eksekusi robot pemilah. Struktur tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Tahapan Penelitian Sistem Sortir Sampah Otomatis

Berdasarkan Gambar 1, penjelasan setiap tahapan penelitian dijabarkan sebagai berikut.

### 1. Akuisisi dan Preprocessing Citra

Tahap awal dimulai dengan proses pengambilan citra menggunakan kamera digital yang dipasang di atas konveyor pemilah sampah. Kamera berfungsi menangkap objek sampah secara kontinu dalam bentuk citra digital. Dataset

penelitian terdiri atas sampah ambigu seperti plastik transparan, botol remuk, dan kertas kotor dengan variasi posisi dan pencahayaan.

Citra hasil akuisisi kemudian memasuki tahap preprocessing untuk meningkatkan kualitas data sebelum diproses menggunakan algoritma segmentasi. Tahapan preprocessing meliputi resize gambar, konversi ruang warna RGB ke HSV, dan median filtering untuk mengurangi noise citra.

Konversi ruang warna RGB ke HSV dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$hsv = f(R, G, B) \quad (1)$$

Model warna HSV dipilih karena lebih stabil terhadap perubahan intensitas cahaya dibandingkan model RGB sehingga lebih efektif digunakan pada lingkungan industri yang memiliki kondisi pencahayaan tidak konstan.

Setelah konversi warna dilakukan, median filtering diterapkan untuk mengurangi noise impuls pada citra digital. Persamaan median filter dituliskan sebagai berikut:

$$g(x, y) = \text{median} \{f(i, j)\} \quad (2)$$

Keterangan:

- $g(x, y)$  merupakan citra hasil filtering
- $f(i, j)$  merupakan nilai piksel tetangga
- Median digunakan untuk mempertahankan detail tepi objek

Tahapan preprocessing menjadi bagian penting karena kualitas segmentasi sangat dipengaruhi oleh kestabilan citra masukan.

## 2.2 Segmentasi Menggunakan Algoritma Fuzzy C-Means

Tahap inti penelitian adalah proses segmentasi citra menggunakan algoritma Fuzzy C-Means (FCM). Algoritma ini bekerja dengan memberikan nilai derajat keanggotaan fuzzy pada setiap piksel terhadap beberapa cluster yang tersedia. Berbeda dengan metode hard clustering yang memaksa piksel masuk ke satu kelompok tertentu, FCM memungkinkan satu piksel memiliki tingkat keanggotaan pada lebih dari satu cluster. Pendekatan ini sangat efektif untuk menangani objek ambigu yang memiliki batas visual tidak jelas.

Fungsi objektif pada algoritma FCM dituliskan sebagai berikut:

$$J_m = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^c u_{ij}^m \|x_i - c_j\|^2 \quad (3)$$

Keterangan:

- $J_m$  fungsi objektif fuzzy
- $u_{ij}$  derajat keanggotaan piksel
- $m$  parameter pembobot fuzzy
- $x_i$  data piksel ke- $i$
- $c_j$  pusat cluster ke- $j$
- $C$  jumlah cluster

Nilai membership function diperbarui secara iteratif menggunakan persamaan berikut:

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left( \frac{\|x_i - c_j\|}{\|x_i - c_k\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (4)$$

Sedangkan pembaruan pusat cluster dilakukan menggunakan rumus:

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^n u_{ij}^m x_i}{\sum_{i=1}^n u_{ij}^m} \quad (5)$$

Iterasi dilakukan secara berulang hingga perubahan nilai centroid memenuhi batas konvergensi yang telah ditentukan. Setelah proses iterasi selesai, hasil fuzzy dikonversi menjadi citra biner melalui proses defuzzifikasi sehingga objek dapat dipisahkan secara jelas dari latar belakang konveyor.

## 2.3 Ekstraksi Kontur dan Koordinat Objek

Hasil segmentasi biner kemudian digunakan untuk mendeteksi kontur objek sampah. Tahap ini bertujuan memperoleh bentuk area objek dan menentukan titik pusat massa (centroid) yang akan digunakan sebagai koordinat gerakan robot pemilah.

Perhitungan centroid objek dilakukan menggunakan rumus momen citra sebagai berikut:

$$c_x = \frac{m_{10}}{m_{00}}, c_y = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (6)$$

Keterangan:

- $C_x$  = koordinat horizontal centroid
- $C_y$  = koordinat vertikal centroid
- $M_{10}, M_{01}$  = momen spasial citra
- $M_{00}$  = luas area objek

Koordinat centroid digunakan sebagai referensi posisi objek pada konveyor sehingga lengan robot dapat menentukan titik pengambilan sampah secara akurat.

## 2.4 Implementasi Database Relasional

Untuk mendukung komunikasi data secara real-time, sistem diintegrasikan dengan Database Management System (DBMS) relasional menggunakan MySQL. Database digunakan untuk menyimpan hasil segmentasi, koordinat objek, nilai keanggotaan fuzzy, serta status proses pemilahan robot.

Struktur tabel database terdiri atas beberapa atribut utama seperti:

- ID objek
- Waktu deteksi
- Koordinat X
- Koordinat Y
- Jenis objek
- Status robot

Proses penyimpanan data dilakukan menggunakan query SQL INSERT secara simultan setelah koordinat objek diperoleh. Penggunaan database relasional dipilih karena memiliki efisiensi indeks yang baik untuk pengolahan data numerik dan transaksi real-time.

## 2.5 Evaluasi Kinerja Sistem

Evaluasi sistem dilakukan untuk mengukur tingkat akurasi segmentasi dan kecepatan pemrosesan data. Pengukuran akurasi segmentasi menggunakan parameter Intersection over Union (IoU) yang membandingkan hasil segmentasi sistem dengan ground truth objek.

Persamaan IoU dituliskan sebagai berikut:

$$IoU = \frac{\text{Area Of Overlap}}{\text{Area Of Union}} \quad (7)$$

Semakin tinggi nilai IoU, maka semakin baik kualitas segmentasi objek yang dihasilkan oleh sistem.

Selain akurasi segmentasi, pengujian juga dilakukan terhadap waktu respons sistem yang meliputi:

- Waktu preprocessing citra
- Waktu komputasi FCM
- Waktu penyimpanan database
- Waktu pengiriman koordinat ke robot

Parameter tersebut digunakan untuk memastikan sistem mampu bekerja secara real-time pada lingkungan konveyor industri tanpa mengalami keterlambatan pemrosesan data.

## 2.7 Dataset dan Parameter Pengujian

Dataset penelitian terdiri atas 150 citra sampah ambigu yang diperoleh melalui proses pengambilan gambar secara langsung pada area simulasi konveyor. Dataset mencakup beberapa kategori objek seperti:

- Botol plastik remuk
- Plastik transparan
- Kertas kotor
- Objek yang saling bertumpang tindih

Variasi dataset dilakukan untuk mensimulasikan kondisi nyata pada lingkungan industri pengolahan sampah yang memiliki karakteristik visual tidak stabil. Pengambilan citra dilakukan pada beberapa kondisi pencahayaan berbeda agar sistem dapat diuji terhadap perubahan intensitas cahaya dan bayangan konveyor.

Parameter pengujian pada algoritma Fuzzy C-Means ditetapkan sebagai berikut:

**Tabel 1.** Parameter pengujian

Parameter	Nilai
Jumlah cluster (C)	2
Pembobot fuzzy (m)	2.0
Maksimum iterasi	100
Epsilon konvergensi	0.00001
Format warna	HSV

Parameter pembobot fuzzy sebesar 2 digunakan karena mampu memberikan keseimbangan antara sensitivitas cluster dan stabilitas segmentasi. Nilai epsilon digunakan sebagai batas penghentian iterasi ketika perubahan pusat cluster telah mencapai kondisi konvergen.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengujian Segmentasi Citra Sampah Ambigu

Tahap pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan algoritma Fuzzy C-Means (FCM) dalam melakukan segmentasi objek sampah ambigu pada sistem sortir otomatis berbasis computer vision. Pengujian dilakukan menggunakan dataset sebanyak 150 citra yang terdiri atas botol plastik remuk, plastik transparan, kertas kotor, dan objek yang saling bertumpang tindih. Seluruh citra diambil menggunakan kamera digital pada area konveyor dengan variasi pencahayaan dan posisi objek yang berbeda untuk mensimulasikan kondisi industri sebenarnya.

Pada proses segmentasi, sistem terlebih dahulu melakukan preprocessing berupa resize citra, konversi ruang warna RGB ke HSV, serta median filtering untuk mengurangi noise. Setelah itu, algoritma Fuzzy C-Means melakukan pengelompokan piksel berdasarkan nilai derajat keanggotaan fuzzy terhadap masing-masing cluster. Pendekatan fuzzy memungkinkan sistem mempertahankan detail area tepian objek yang samar sehingga objek ambigu tetap dapat dipisahkan dari latar belakang konveyor.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan ruang warna HSV mampu meningkatkan kestabilan segmentasi terhadap perubahan intensitas cahaya. Area bayangan pada konveyor yang sebelumnya sering terdeteksi sebagai bagian objek pada model RGB berhasil direduksi secara signifikan setelah dilakukan konversi ke HSV. Selain itu, median filtering juga terbukti mampu mengurangi noise impuls tanpa merusak struktur tepi objek sehingga proses klusterisasi menjadi lebih stabil.

Secara umum, algoritma Fuzzy C-Means menunjukkan performa segmentasi yang baik terhadap objek dengan karakteristik visual tidak stabil. Piksel pada area transparan maupun area kotor tetap dapat dipertahankan melalui nilai membership function sebelum dilakukan proses defuzzifikasi. Kondisi ini menyebabkan bentuk objek hasil segmentasi menjadi lebih utuh dibandingkan metode hard clustering seperti K-Means.

##### 3.1.1 Analisis Objek Plastik Transparan

Objek plastik transparan merupakan salah satu kategori sampah yang paling sulit diproses karena memiliki karakteristik visual yang mendekati warna latar belakang konveyor. Pada metode segmentasi konvensional, objek transparan sering gagal dikenali akibat rendahnya kontras warna terhadap background.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma Fuzzy C-Means mampu mempertahankan area transparan melalui nilai derajat keanggotaan fuzzy intermediate. Piksel pada area transparan tidak langsung dikategorikan sebagai background, tetapi tetap dievaluasi berdasarkan kedekatan terhadap pusat cluster objek.

Proses ini menghasilkan segmentasi yang lebih stabil sehingga bentuk plastik transparan masih dapat dipertahankan secara utuh pada citra biner. Setelah dilakukan ekstraksi kontur, koordinat centroid objek berhasil diperoleh dengan tingkat presisi yang baik untuk kebutuhan pergerakan lengan robot pemilah.



**Gambar 2.** Hasil segmentasi biner objek sampah ambigu menggunakan algoritma Fuzzy C-Means

Gambar 2 menunjukkan kualitas visual dari hasil masker biner objek yang tajam, di mana area latar belakang konveyor berhasil dieliminasi seluruhnya dan menyisakan piksel objek sampah untuk dideteksi koordinatnya. Hasil segmentasi tersebut memperlihatkan bahwa metode Fuzzy C-Means mampu mempertahankan detail objek meskipun berada pada kondisi visual yang ambigu dan memiliki tingkat kemiripan warna terhadap latar belakang konveyor.

### 3.1.2 Analisis Objek Mengalami Deformasi

Pengujian juga dilakukan pada objek sampah yang mengalami deformasi fisik seperti botol plastik remuk dan kertas terlipat. Objek deformasi memiliki bentuk tidak beraturan sehingga sering menyebabkan kegagalan deteksi kontur pada metode segmentasi biasa.

Berdasarkan hasil pengujian, algoritma Fuzzy C-Means tetap mampu mempertahankan bentuk utama objek meskipun terjadi perubahan struktur fisik. Hal ini disebabkan karena sistem tidak hanya bergantung pada satu nilai threshold tetap, melainkan menggunakan pendekatan derajat keanggotaan fuzzy pada setiap piksel.

Kontur objek hasil segmentasi terlihat lebih utuh sehingga proses pencarian centroid tetap dapat dilakukan secara akurat. Keberhasilan segmentasi ini memberikan dampak langsung terhadap stabilitas koordinat spasial yang dikirimkan menuju robot pemilah.

### 3.1.3 Evaluasi Akurasi Segmentasi Menggunakan IoU

Evaluasi akurasi segmentasi dilakukan menggunakan parameter Intersection over Union (IoU). Pengukuran ini digunakan untuk membandingkan area hasil segmentasi sistem dengan area ground truth objek sebenarnya.

Semakin tinggi nilai IoU, maka semakin baik kualitas segmentasi objek yang dihasilkan sistem. Hasil pengujian rata-rata IoU sistem ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 1.** Perbandingan Nilai IoU Segmentasi

Metode Segmentasi	Rata-rata IoU
K-Means	74.3%
Fuzzy C-Means	87.5%

Berdasarkan Tabel 2, algoritma Fuzzy C-Means menghasilkan nilai rata-rata IoU sebesar 87.5%, lebih tinggi dibandingkan metode K-Means sebesar 74.3%. Peningkatan akurasi tersebut menunjukkan bahwa pendekatan fuzzy lebih efektif dalam menangani objek ambigu dengan batas visual yang tidak jelas.

Selain menghasilkan segmentasi yang lebih akurat, FCM juga mampu mempertahankan detail area tepi objek sehingga proses ekstraksi koordinat menjadi lebih stabil. Dengan demikian, sistem mampu meningkatkan presisi gerakan robot pemilah pada area konveyor.

### 3.2 Implementasi Database dan Kecepatan Transaksi

Selain berfokus pada akurasi segmentasi citra, penelitian ini juga melakukan pengujian terhadap performa sistem basis data relasional dalam menangani penyimpanan koordinat spasial objek secara real-time. Database digunakan sebagai media penyimpanan log segmentasi, koordinat centroid objek, status klasifikasi, dan hasil eksekusi robot pemilah.

Pengujian dilakukan dengan membandingkan beberapa sistem basis data untuk mengetahui efisiensi penyimpanan data numerik pada lingkungan pemrosesan real-time. Hasil pengujian struktur database ditunjukkan pada Tabel 3.

**Tabel 2.** Perbandingan Struktur Database

Database	Jumlah Field	Kapasitas Data
MySQL	10	100
Oracle	15	130
Access	20	400

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2, MySQL dipilih sebagai basis data utama karena memiliki efisiensi indeks numerik yang baik untuk menangani data koordinat spasial objek. Selain itu, MySQL memiliki performa transaksi yang stabil pada proses penyimpanan data real-time dengan beban komputasi yang relatif ringan.

Pengujian waktu transaksi menunjukkan bahwa rata-rata waktu eksekusi query INSERT pada tabel segmentasi hanya membutuhkan waktu sebesar 4.2 milidetik. Sedangkan proses segmentasi menggunakan algoritma Fuzzy C-Means membutuhkan waktu rata-rata sebesar 120 milidetik.

Total waktu respons sistem dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$T_{total} = T_{preprocessing} + T_{FCM} + T_{database} + T_{robot} \quad (8)$$

Hasil pengujian menunjukkan total waktu respons sistem sebesar 124.2 milidetik. Nilai tersebut masih berada di bawah batas aman latensi konveyor industri sehingga sistem mampu bekerja secara real-time tanpa mengalami keterlambatan pengiriman koordinat menuju lengan robot pemilah.

### 3.3 Pembahasan Implementasi Sistem

Berdasarkan seluruh hasil pengujian, implementasi algoritma Fuzzy C-Means terbukti mampu meningkatkan kualitas segmentasi objek ambigu pada sistem sortir sampah otomatis berbasis computer vision. Pendekatan fuzzy memberikan fleksibilitas yang lebih tinggi dibandingkan metode hard clustering karena setiap piksel memiliki nilai derajat keanggotaan terhadap cluster tertentu.

Penggunaan ruang warna HSV juga memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan stabilitas segmentasi pada kondisi pencahayaan yang berubah-ubah. Kombinasi preprocessing, segmentasi fuzzy, dan ekstraksi koordinat centroid menghasilkan data spasial yang lebih akurat untuk kebutuhan navigasi robot pemilah.

Selain itu, integrasi database relasional memungkinkan sistem melakukan dokumentasi data segmentasi secara real-time tanpa mengganggu performa mekanisme sortir otomatis. Dengan total waktu respons yang masih berada di bawah batas aman konveyor industri, sistem dinilai layak diterapkan pada lingkungan pengolahan sampah modern yang membutuhkan proses klasifikasi objek secara cepat dan akurat.

## 4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan algoritma Fuzzy C-Means (FCM) pada sistem sortir sampah otomatis berbasis computer vision untuk menangani permasalahan segmentasi objek sampah ambigu. Pendekatan fuzzy yang diterapkan mampu meningkatkan kualitas pemisahan objek terhadap latar belakang konveyor, khususnya pada sampah yang mengalami deformasi bentuk, transparansi, kondisi kotor, maupun tumpang tindih objek. Penggunaan ruang warna HSV terbukti membantu sistem dalam mempertahankan kestabilan segmentasi pada kondisi pencahayaan yang berubah-ubah, sedangkan proses median filtering mampu mereduksi noise citra tanpa merusak detail tepi objek. Berdasarkan hasil pengujian, algoritma Fuzzy C-Means menghasilkan rata-rata nilai Intersection over Union (IoU) sebesar 87.5%, lebih baik dibandingkan pendekatan hard clustering seperti K-Means. Selain itu, integrasi database relasional MySQL berhasil mendukung proses penyimpanan koordinat spasial objek secara real-time dengan rata-rata waktu transaksi sebesar 4.2 milidetik dan total waktu respons sistem sebesar 124.2 milidetik, sehingga masih berada pada batas aman operasional konveyor industri. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dinilai mampu meningkatkan akurasi deteksi objek ambigu serta mendukung proses pemilahan sampah otomatis secara lebih cepat, stabil, dan efisien. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan metode optimasi komputasi Fuzzy C-Means dan menerapkan arsitektur penyimpanan data berbasis NoSQL agar sistem mampu menangani volume data citra yang lebih besar pada skala industri.

## REFERENCES

- [1] L. J. Lingga, M. Yuana, N. A. Sari, H. Nur Syahida, and C. Sitorus, "Sampah di Indonesia: Tantangan dan Solusi Menuju Perubahan Positif," *Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 4, no. 4, pp. 12235–12247, 2024, [Online]. Available: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>
- [2] I. F. Aziza, "Pelatihan Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Berbasis Masyarakat di Desa Sumberejo Gedangan," *J. Edukasi Literasi Masy.*, vol. 1, no. 1, pp. 44–51, 2024.
- [3] E. F. Harahap, R. M. Yojana, I. Mayusda, W. Septiani, and P. Astuti, "Mengatasi Tantangan Pengelolaan Sampah di Depok: Pendekatan Pemilahan dan Pengolahan Sampah di Masyarakat," *Yumary J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 5, no. 2, pp. 221–227, 2024, doi: 10.35912/yumary.v5i2.3105.
- [4] D. Masmur and M. Snae, "Rancang Bangun Sistem Sortir Buah Cabai Berdasarkan Warna Berbasis Arduino Uno," *HOAQ (High Educ. Organ. Arch. Qual. J. Teknol. Inf.)*, vol. 15, no. 1, pp. 33–42, 2024, doi: 10.52972/hoaq.vol15no1.p33-42.
- [5] A. Garda, N. Hakh, R. Hajar, and P. Sejati, "Aplikasi Mobile Untuk Pengelolaan Sampah dengan Pengenalan Jenis Sampah Menggunakan Teknologi Computer Vision," *Media Online*, vol. 6, no. 1, pp. 183–196, 2025, [Online]. Available: <https://hostjournals.com/bulletincsr>
- [6] Y. S. Nur'aini, N. Al Zahra, M. F. Ilham, I. T. Kusnadi, S. Bahri, and T. S. N. Koeswara, "Sistem Klasifikasi Sampah Berbasis YOLOv8 dengan Pemicu Ultrasonik untuk Efisiensi Daya," *J. Ilm. Sist. Inf.*, vol. 5, no. 2, pp. 141–153, 2026.
- [7] A. Lusman, R. Devita, O. E. Putra, E. Rianti, and F. Islami, "Implementasi Computer Vision Dalam Deteksi Dan Klasifikasi Sampah Otomatis Pada Sistem Pengolahan Limbah Perkotaan," *J. Sains Inform. Terap.*, vol. 5, no. 1, pp. 115–121, 2026.
- [8] M. Gusti Tri Ananda, W. Pardosi, and A. Maysari Br Sembiring, "Literatur Review: Metode Thresholding Untuk Mengidentifikasi Penyakit Pada Daun Bawang Merah," *FIMERKOM J. Inf. Syst. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 6–10, 2024.
- [9] D. Prayogi, S. R. Lubis, M. A. Rizko, and A. G. Suteja, "Optimalisasi Segmentasi Citra Digital Metode Canny Edge Detection dan Thresholding," *RIGGS J. Artif. Intell. Digit. Bus.*, vol. 4, no. 2, pp. 6334–6339, 2025, doi: 10.31004/riggs.v4i2.1613.
- [10] N. LILANSA, F. SURYATINI, and D. M. D. WAHIDIN, "Implementation of HSV Algorithm for Speed Synchronization of Robot Arm and Conveyor," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 13, no. 2, p. 170, 2025, doi: 10.26760/elkomika.v13i2.170.
- [11] R. Prayoga, R. P. M. D. Labib, and A. Soetedjo, "The Implementasi Inverse Kinematic Pada Lengan Robot Untuk Proses Pemilahan Barang Berdasarkan Objek Menggunakan Computer Vision," *El Sains J. Elektro*, vol. 7, no. 2, pp. 15–20, 2025.
- [12] S. A. B. Telaumbanua, F. Setiadi, and S. Nurjanah, "Analisis Clustering Menggunakan Metode Enhanced Fuzzy C-Means Clustering Dengan Algoritma Rock Pada Student Performance Dataset," *bit-Tech*, vol. 7, no. 3, pp. 984–994, 2025, doi: 10.32877/bt.v7i3.2287.
- [13] Jaelani, Octaviana, and Elkin Rilvani, "Studi Literatur: Perbandingan Algoritma K-Means dan Fuzzy C-Means dalam Analisis Clustering," *J. Comput. Sci. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 52–58, 2025, doi: 10.54840/jcstech.v5i2.382.
- [14] M. Sipan and R. K. Pramuyanti, "Implementasi Fuzzy C Mean Clustering Menggunakan Segmentasi Warna pada Mata Tua (Presbyopia)," *Elektrika*, vol. 15, no. 2, p. 113, 2023, doi: 10.26623/elektrika.v15i2.7976.
- [15] M. R. Pratama, S. Zahrah Hidayat, A. R. Nuruddin, H. W. Niamaputri, D. Fetty, and T. Anggraeny, "Optimasi Peningkatan Kontras Gambar Menggunakan Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Sets dan Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)," in *Prosiding Seminar Implementasi Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 2025, pp. 307–317.
- [16] M. R. Syahputra and Y. R. Nasution, "Klasifikasi Tingkat Kematangan Kopi Gayo Berdasarkan Fitur Citra Warna Kulit Menggunakan Metode Transformasi Ruang Warna HSV," *J. Comput. Digit. Bus.*, vol. 5, no. 2, pp. 49–58, 2026.