

## Optimalisasi Strategi Monitoring Pengiriman Berbasis *Fuzzy C-Means Clustering* (FCM) pada Logistik Perdagangan Umum di Pulau Jawa

Mohamad Iqbal<sup>1\*</sup>, Muhammad Ridwan Andi Purnomo<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Technology, Universitas Islam Indonesia, Indonesia, 55581

Corespondensi: mohamad.iqbal@students.uii.ac.id

### Abstrak

Pertumbuhan pesat sektor logistik di Indonesia, khususnya dalam konteks *e-commerce*, menuntut strategi pemantauan pengiriman yang adaptif dan berbasis data. Salah satu kasus pada sektor logistik menghadapi permasalahan operasional terutama munculnya keluhan pelanggan akibat selisih antara *Estimate Time Arrival* (ETA) dan *Actual Time Arrival* (ATA), serta ditemukannya biaya distribusi berlebih (*out-of-budget*) pada beberapa rute pengiriman. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan strategi *shipment monitoring* menggunakan metode *Fuzzy C-Means* (FCM) *clustering* pada data operasional sektor logistik perdagangan umum di Pulau Jawa. Sebanyak 1.076 catatan pengiriman dianalisis menggunakan tujuh variabel utama: *Sub Area*, *Actual Time Delivery* (ATD), *Actual Time Arrival* (ATA), *Colly*, CBM, dan *Weight*. Penerapan FCM menghasilkan lima kluster distribusi dengan pola kinerja yang berbeda-beda. Kluster 3 menunjukkan performa paling efisien dengan volume pengiriman tertinggi (*Colly* = 1.690,86; CBM = 24,86; berat = 18.400,65 kg) dan ATD tercepat (0,78 jam), mencerminkan efisiensi tinggi pada wilayah padat dan mudah diakses. Sebaliknya, Kluster 1 dan 4 memiliki nilai *Sub Area* tertinggi (9,25 dan 9,04) dengan ATD lebih lambat (> 2,5 jam), menunjukkan tantangan signifikan pada area terpencil yang sering menjadi sumber keterlambatan dan biaya tambahan. Hasil derajat keanggotaan menunjukkan bahwa mayoritas titik distribusi memiliki kecenderungan kuat terhadap satu kluster, tetapi tetap memperlihatkan fleksibilitas perilaku antar-wilayah. Temuan ini memberikan dasar bagi perumusan strategi operasional berbasis data, seperti redistribusi armada, penjadwalan adaptif, *cost control*, dan pemetaan ulang wilayah *last-mile delivery*. Pendekatan *clustering* ini terbukti meningkatkan visibilitas pola distribusi dan mendukung pengambilan keputusan strategis yang lebih efisien, responsif, dan adaptif dalam manajemen rantai pasok logistik.

**Kata Kunci:** *Fuzzy C-Means*, logistik, *clustering*, *last-mile delivery*, strategi distribusi

### Abstract

*The rapid expansion of Indonesia's logistics sector, particularly within the e-commerce domain, necessitates adaptive and data-driven shipment monitoring strategies. Operational assessments in one logistics case reveal two critical negative symptoms: customer complaints resulting from discrepancies between the Estimate Time Arrival (ETA) and Actual Time Arrival (ATA), and the presence of excessive or out-of-budget distribution costs on several delivery routes. Addressing these issues requires analytical approaches capable of capturing complex shipment behavior across diverse geographic areas. This study aims to optimize shipment monitoring strategies using the Fuzzy C-Means (FCM) clustering method applied to operational data from the general trade logistics sector on Java Island. A total of 1,076 shipment records were analyzed using seven key variables: Sub Area, Actual Time Delivery (ATD), Actual Time Arrival (ATA), Colly, CBM, and Weight. FCM clustering produced five distinct distribution clusters with*

varying operational characteristics. Cluster 3 demonstrated the highest efficiency, exhibiting the largest shipment volume (Colly = 1,690.86; CBM = 24.86; Weight = 18,400.65 kg) and the fastest ATD (0.78 hours), indicating strong performance in dense and accessible regions. In contrast, Clusters 1 and 4 recorded the highest Sub Area values (9.25 and 9.04) and slower ATD durations (>2.5 hours), highlighting significant logistical challenges in remote areas prone to delays and elevated costs. Membership analysis further showed that distribution points predominantly aligned with a single cluster while retaining cross-cluster behavioral flexibility. These findings offer a foundation for data-driven operational strategies, including fleet redistribution, adaptive scheduling, cost control, and last-mile delivery remapping. The proposed clustering approach enhances visibility into shipment patterns and supports more efficient, responsive, and adaptive decision-making in logistics supply chain management.

*Keywords: distribution strategy, fuzzy c-means, logistics, clustering, last-mile delivery*

## 1. Pendahuluan

Kemajuan pesat sektor logistik semakin memainkan peran penting dalam membentuk struktur ekonomi nasional dan global, terutama di tengah era transformasi digital. Di Indonesia, pertumbuhan eksponensial *e-commerce* telah secara signifikan mengubah lanskap logistik, yang menyebabkan meningkatnya permintaan akan layanan pengiriman yang lebih cepat, andal, dan efisien secara biaya. Seiring dengan meningkatnya ekspektasi konsumen, perusahaan logistik menghadapi tekanan besar untuk meningkatkan responsivitas operasional di seluruh rantai pasok, khususnya pada tahap *last-mile delivery* yang secara luas dianggap sebagai segmen paling kompleks dan paling tinggi biayanya (Tran, 2023; BIN, 2024; Hoa Khanh, 2024).

Meskipun memiliki signifikansi ekonomi yang tinggi, sektor logistik Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan kinerja. Indeks Kinerja Logistik (*Logistics Performance Index* atau LPI) yang dirilis oleh Bank Dunia secara konsisten menempatkan Indonesia di bawah negara-negara tetangganya. Pada tahun 2023, Indonesia berada di peringkat ke-63 secara global dengan skor 3,0, jauh di bawah Singapura (peringkat 1, skor 4,3), Malaysia (peringkat 26, skor 3,6), Thailand (peringkat 34, skor 3,5), dan Vietnam (peringkat 43, skor 3,3) (*Logistics Performance Index (LPI)*, 2023). Angka-angka ini menunjukkan adanya ketidakefisienan yang berkelanjutan pada berbagai aspek, kesiapan infrastruktur, koordinasi pengiriman internasional, kualitas layanan, sistem pelacakan, dan ketepatan waktu pengiriman (Ulkhaq and Pratiwi, 2025). Kelemahan-kelemahan ini berkontribusi langsung terhadap tingginya biaya logistik dan menurunnya daya saing, terutama pada operasi *last-mile* di wilayah perkotaan dan semi-perkotaan.

Keterbatasan akses ke area tertentu, serta perbedaan preferensi waktu penerimaan barang sering kali membuat proses distribusi berlangsung tidak stabil dan sulit diprediksi (Ramírez-Villamil *et al.*, 2023; Ramírez-Villamil, Montoya-Torres and Jaegler, 2025). Kondisi ini tidak hanya meningkatkan potensi keterlambatan pengiriman dan biaya transportasi, tetapi juga menciptakan *negative symptoms* operasional, seperti tingginya selisih antara *Estimate Time* (ETA) dan *Actual Time Arrival* (ATA) yang memicu keluhan pelanggan, serta munculnya biaya distribusi yang bersifat *out-of-budget* pada rute tertentu. Tantangan-tantangan tersebut menegaskan perlunya strategi pemantauan pengiriman yang lebih adaptif dan berbasis data untuk mendeteksi pola keterlambatan, perilaku rute yang tidak efisien, serta anomali biaya secara lebih akurat. Dengan demikian, kebutuhan akan pendekatan analitis yang mampu menangkap kompleksitas dan ketidakpastian dinamika distribusi menjadi semakin mendesak untuk menjaga daya saing penyedia layanan logistik dalam pasar yang makin kompetitif.

Berbagai studi sebelumnya telah menerapkan teknik *data mining* dan *clustering* untuk mendukung optimalisasi pengiriman. Algoritma *Fuzzy C-Means* (FCM), yang diperkenalkan oleh (Bezdek, Ehrlich and Full, 1984), telah mendapat perhatian karena kemampuannya menangani data yang ambigu dan tumpang tindih, yang umum ditemukan dalam sistem logistik. Wang *et al.* (2024)

menggunakan FCM untuk pengambilan dan pengiriman multikomoditas secara bersamaan, sementara (Zheng *et al.*, 2023) memanfaatkannya untuk mengevaluasi distribusi logistik dari *e-commerce*. (Wang *et al.*, 2015) juga telah menerapkan *fuzzy clustering* untuk meningkatkan kinerja jaringan logistik yang kompleks, dan (Ma *et al.*, 2024) mengintegrasikan FCM dengan sistem transportasi cerdas untuk pemantauan pengiriman adaptif. Studi-studi ini menunjukkan bahwa FCM secara efektif dapat digunakan menangkap pola-pola yang kompleks dalam operasi logistik dan meningkatkan performa pengiriman.

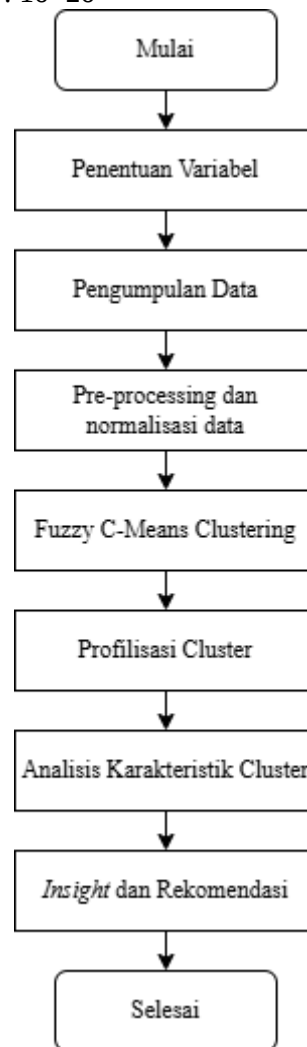
Dari perspektif metodologis, FCM menawarkan keunggulan yang sangat relevan terhadap permasalahan penelitian ini. Pertama, perilaku pengiriman seperti variasi ATD, ATA, volume barang, dan karakteristik wilayah bersifat tidak pasti dan sering kali menunjukkan *overlap* antar-area distribusi. Model *clustering* konvensional seperti *K-Means* tidak mampu menangkap derajat keanggotaan ganda ini, sehingga berpotensi menghasilkan segmentasi yang kurang mencerminkan kondisi operasional nyata. Kedua, kedua permasalahan pada penelitian diantaranya selisih ETA–ATA dan munculnya biaya distribusi berlebih, FCM memungkinkan pengukuran gradien risiko antar-klaster, bukan sekadar klasifikasi biner. Ketiga, kemampuan FCM menghasilkan derajat keanggotaan memberikan fleksibilitas dalam interpretasi dan lebih akurat dibandingkan metode *cluster* yang lain.

Namun demikian, sebagian besar penelitian yang ada masih berfokus pada komponen teknis tertentu—seperti analisis keterlambatan atau optimisasi rute—atau meninjau sistem logistik secara umum tanpa mengintegrasikan data perilaku pengiriman aktual di tingkat distribusi pelanggan. Selain itu, banyak studi sebelumnya masih mengandalkan cakupan variabel yang terbatas atau model *clustering* yang disederhanakan (misalnya *K-Means*) yang kurang fleksibel dalam menangani kompleksitas dunia nyata. Sehingga, terdapat kesenjangan dalam literatur terkait penerapan holistik metode *Fuzzy C-Means* (FCM) *clustering* pada data operasional pengiriman actual belum pernah dilakukan sebelumnya, yang mencakup variabel multidimensional seperti sub-area, *Actual Time Delivery* (ATD), *Actual Time Arrival* (ATA), *colly*, CBM, berat, dan jumlah.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan menerapkan metode *Fuzzy C-Means* (FCM) *clustering* untuk menganalisis dan mengklasifikasikan strategi pemantauan pengiriman dalam sektor logistik perdagangan umum di Indonesia, menggunakan data dari 1.076 catatan pelanggan/distribusi di Pulau Jawa. Dengan menangkap pola perilaku dan kinerja operasional pengiriman melalui *clustering* multidimensional, penelitian ini diharapkan menghasilkan wawasan strategis yang dapat digunakan untuk pemantauan adaptif, perencanaan sumber daya yang lebih strategis, serta peningkatan kinerja layanan logistik.

## 2. Metodologi

Bagan alir tersebut menggambarkan urutan sistematis dari langkah-langkah penelitian yang dilakukan untuk menganalisis dan mengoptimalkan strategi pemantauan pengiriman menggunakan pendekatan *Fuzzy C-Means* (FCM) *clustering*. Setiap komponen dalam diagram memiliki peran penting dalam menghasilkan wawasan berbasis data yang dapat ditindaklanjuti guna meningkatkan kinerja logistik.



**Gambar 1. Diagram Alir Penelitian**

## 2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini mengadopsi pendekatan kuantitatif berbasis data untuk mengidentifikasi dan menganalisis pola kinerja pengiriman dalam logistik perdagangan umum dengan menggunakan metode *Fuzzy C-Means* (FCM) *clustering*. Riset ini disusun dalam bentuk studi kasus yang berfokus pada penyedia jasa logistik yang beroperasi di seluruh wilayah Pulau Jawa, Indonesia. Tujuan utamanya adalah untuk mengelompokkan titik pelanggan/distribusi berdasarkan metrik kinerja pengiriman dan karakteristik pengiriman guna meningkatkan strategi pemantauan pengiriman.

## 2.2 Pengumpulan Data dan Variabel

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 1.076 catatan pengiriman yang merepresentasikan aktivitas pelanggan dan distribusi dalam layanan logistik perdagangan umum. Data diperoleh dari sistem pemantauan pengiriman internal berdasarkan pengiriman general trade tahun 2023. Setiap catatan mencakup variabel operasional berikut:

- 1) *Sub Area*: indikator geografis kategorikal dari zona distribusi
- 2) *Actual Time Delivery* (ATD): waktu keberangkatan pengiriman (dalam jam)
- 3) *Actual Time Arrival* (ATA): waktu kedatangan pengiriman (dalam jam)
- 4) *Colly*: jumlah paket fisik yang dikirim
- 5) *CBM*: volume pengiriman dalam satuan meter kubik

6) *Weight*: berat pengiriman (dalam kilogram)

### 2.3 Data Preprocessing

Sebelum analisis, semua variabel numerik dinormalisasi menggunakan normalisasi min-maks untuk memastikan skala yang seragam dan mencegah dominasi oleh variabel dengan rentang yang lebih besar. Data kategorikal (misalnya, subarea) dikodekan menggunakan pengkodean label. Dataset menjalani prapemrosesan data untuk memastikan kesiapannya untuk pengelompokan. Langkah ini meliputi:

1) Normalisasi

Semua variabel numerik diskalakan ulang menggunakan normalisasi min-maks untuk memastikan rentang yang konsisten dan menghindari dominasi oleh fitur dengan nilai yang lebih besar.

2) Pengkodean

Variabel kategorikal 'Subarea' diubah ke dalam format numerik menggunakan pengkodean label untuk memfasilitasi pemrosesan dalam algoritma pengelompokan.

### 2.4 Fuzzy C-Means Clustering

Analisis inti dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan algoritma *Fuzzy C-Means* (FCM) *clustering*. FCM menetapkan derajat keanggotaan pada setiap titik data untuk beberapa kluster, sehingga sangat ideal untuk memodelkan perilaku yang saling tumpang tindih yang umum terjadi dalam operasi logistik. Teknik analisis yang digunakan dalam studi ini adalah algoritma FCM, yaitu metode *clustering* yang memungkinkan setiap titik data memiliki keanggotaan parsial pada lebih dari satu kluster. Hal ini sangat berguna dalam aplikasi logistik, di mana karakteristik pelanggan atau pengiriman dapat mencerminkan lebih dari satu kelompok perilaku.

Hasil keluaran dari analisis ini mencakup:

- Titik pusat (centroid) setiap kluster
- Matriks keanggotaan yang menunjukkan tingkat keanggotaan parsial dari setiap catatan

Dalam penelitian ini, algoritma *Fuzzy C-Means* (FCM) digunakan untuk mengelompokkan titik distribusi berdasarkan karakteristik operasional pengiriman, seperti *Sub Area*, *Actual Time Delivery* (ATD), *Actual Time Arrival* (ATA), *Colly*, *CBM*, dan *Weight*. Tujuan utama proses klusterisasi ini adalah mengidentifikasi pola perilaku pengiriman yang berhubungan dengan keterlambatan (ETA–ATA gap) dan potensi biaya distribusi yang *out-of-budget*.

FCM bekerja dengan meminimalkan fungsi objektif berikut:

$$J_m = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^c u_{ij}^m \|x_i - c_j\|^2$$

dengan:

$N$  = jumlah titik distribusi (1.076 data),

$C$  = jumlah kluster (ditentukan menjadi 5 berdasarkan karakteristik wilayah dan variasi volume pengiriman),

$u_{ij}$  = derajat keanggotaan data ke- $i$  terhadap kluster ke- $j$ , menggambarkan kecenderungan wilayah tertentu untuk masuk dalam kategori efisiensi atau risiko tertentu,

$x_i$  = vektor data ke- $i$  yang berisi tujuh variabel operasional (*Sub Area*, ATD, ATA, *Colly*, *CBM*, *Weight*),

$c_j$  = pusat kluster ke- $j$  yang merepresentasikan profil wilayah atau pola pengiriman dominan,

$m$  = parameter *fuzziness* ( $m = 2$ ), yang menentukan tingkat *soft clustering* untuk menangkap area

Algoritma kemudian memperbarui pusat kluster dan derajat keanggotaan secara iteratif menggunakan:

Pembaruan derajat keanggotaan

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

Pembaruan pusat kluster

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^N u_{ij}^m x_i}{\sum_{i=1}^N u_{ij}^m}$$

Proses ini diulang sampai mencapai konvergensi, yaitu ketika perubahan nilai matriks keanggotaan berada di bawah ambang batas  $\varepsilon$  atau jumlah iterasi maksimum tercapai. Dalam konteks studi kasus ini, proses iteratif FCM memastikan bahwa titik distribusi yang memiliki performa pengiriman serupa, misalnya ATD cepat, volume tinggi, atau *Sub Area* terpencil—akan dikelompokkan dalam kluster dengan karakteristik operasional yang konsisten.

Dengan demikian, model FCM dapat mengidentifikasi area efisien, area rawan keterlambatan, serta area dengan pola biaya abnormal, sehingga mendukung penyusunan strategi *shipment monitoring* yang lebih adaptif dan berbasis data.

## 2.4 Analisis Clustering

Setelah proses *clustering* dilakukan, setiap kelompok dianalisis untuk mengidentifikasi karakteristik yang membedakan dalam hal kinerja pengiriman dan volume pengiriman. *Insight* utama dari masing-masing kluster—seperti pola keterlambatan pengiriman, frekuensi pengiriman berat, atau konsentrasi *colly* yang tinggi—digunakan untuk merumuskan rekomendasi strategis terkait pemantauan pengiriman dan alokasi sumber daya.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Analisis *Fuzzy C-Means* (FCM) menghasilkan lima pusat kluster (*cluster centers*) yang merepresentasikan pola-pola pengiriman barang dalam sektor logistik general trade di Pulau Jawa. Variabel-variabel yang digunakan mencakup *Sub Area*, *Actual Time Delivery* (ATD), *Actual Time Arrival* (ATA), *Colly*, CBM, dan *Weight*.

### 3.1 Cluster Membership

Dalam *Fuzzy C-Means* (FCM), setiap data point tidak hanya dimasukkan ke satu kluster seperti dalam *hard clustering*, tetapi memiliki derajat keanggotaan (*membership value*) untuk setiap kluster. Nilai ini berada dalam rentang 0 hingga 1, dan jumlahnya selalu menjumlah 1 untuk setiap baris data.

**Tabel 1. Cluster Membership**

| Memberships: |   |   |   |   |  |
|--------------|---|---|---|---|--|
| 1            | 2 | 3 | 4 | 5 |  |

| Memberships: |              |              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|              | 1            | 2            | 3            | 4            | 5            |
| [1,]         | 9.895519e-01 | 6.882871e-04 | 4.978432e-05 | 9.540371e-03 | 1.696165e-04 |
| [2,]         | 9.877949e-01 | 8.137692e-04 | 5.907135e-05 | 1.113120e-02 | 2.010334e-04 |
| [3,]         | 9.884493e-01 | 7.668896e-04 | 5.559876e-05 | 1.053888e-02 | 1.892893e-04 |
| [4,]         | 9.878051e-01 | 8.130814e-04 | 5.902141e-05 | 1.112190e-02 | 2.008634e-04 |
| [5,]         | 9.880332e-01 | 7.965144e-04 | 5.778909e-05 | 1.091580e-02 | 1.967013e-04 |
| [6,]         | 9.878174e-01 | 8.122548e-04 | 5.896140e-05 | 1.111071e-02 | 2.006592e-04 |
| [7,]         | 9.877822e-01 | 8.146287e-04 | 5.913396e-05 | 1.114280e-02 | 2.012464e-04 |
| [8,]         | 9.877949e-01 | 8.137692e-04 | 5.907135e-05 | 1.113120e-02 | 2.010334e-04 |
| [9,]         | 9.878218e-01 | 8.119595e-04 | 5.893997e-05 | 1.110672e-02 | 2.005863e-04 |
| [10,]        | 9.883082e-01 | 7.763483e-04 | 5.628508e-05 | 1.066752e-02 | 1.916256e-04 |

Selanjutnya, Tabel 1 menunjukkan hasil *cluster membership* yang diperoleh dari *software R* untuk sampel data atau sebanyak 10 data digunakan sebagai contoh. Dapat diketahui bahwa setiap data akan masuk ke dalam kelompok berdasarkan nilai tertinggi. Lebih lanjut, penelitian ini menggunakan jumlah *cluster* sebanyak lima. Kemudian, setiap data akan dievaluasi kedekatan dengan *cluster* tertentu, berdasarkan hasil iterasi paling optimum sebanyak 69 iterasi.

### 3.2 Interpretasi Hasil Pengelompokan *Fuzzy C-Means* (FCM)

Merujuk pada Tabel 2 dan 3, diperoleh hasil pengelompokan *Fuzzy C-Means* (FCM) sebanyak 5 *cluster*, yang memiliki karakteristik masing-masing. Setiap klaster merepresentasikan pola perilaku pengiriman yang berbeda dalam jaringan logistik *general trade* di Pulau Jawa. Analisis ini didasarkan pada variabel-variabel berikut: *Sub Area*, *Actual Time Delivery* (ATD), *Actual Time Arrival* (ATA), *Colly* (jumlah paket), *CBM* (volume dalam meter kubik), dan *Weight* (berat dalam kilogram).

**Tabel 2. Hasil Clustering**

| <i>Cluster</i> | <i>Sub Area</i> | <i>ATD</i> | <i>ATA</i> | <i>Colly</i> | <i>CBM</i> | <i>Weight</i> | Karakteristik Utama                                              |
|----------------|-----------------|------------|------------|--------------|------------|---------------|------------------------------------------------------------------|
| 1              | 9.25            | 3.08       | 4.23       | 18.49        | 0.39       | 141.47        | Klaster area tinggi dengan pengiriman kecil dan waktu tiba lama  |
| 2              | 4.72            | 1.14       | 1.84       | 465.81       | 7.16       | 4956.64       | Klaster pengiriman menengah, tepat waktu, bobot sedang           |
| 3              | 3.18            | 0.78       | 1.80       | 1690.86      | 24.86      | 18400.65      | Klaster pengiriman besar, cepat, berat dan volumetrik tinggi     |
| 4              | 9.04            | 2.52       | 4.05       | 130.99       | 1.99       | 1339.69       | Klaster area tinggi dengan keterlambatan sedang dan bobot ringan |
| 5              | 6.90            | 1.28       | 2.62       | 931.45       | 14.27      | 9973.03       | Klaster pengiriman besar-menengah,                               |

| <i>Cluster</i> | <i>Sub Area</i> | <i>ATD</i> | <i>ATA</i> | <i>Colly</i> | <i>CBM</i> | <i>Weight</i> | <b>Karakteristik Utama</b> |
|----------------|-----------------|------------|------------|--------------|------------|---------------|----------------------------|
|                |                 |            |            |              |            |               | bobot berat, cukup cepat   |

**Tabel 3. Karakteristik Hasil FCM**

| <i>Cluster</i> | <i>Sub Area</i>                       | <i>ATD &amp; ATA</i>     | <i>Colly</i> | <i>CBM</i> | <i>Weight</i> | <b>Deskripsi Umum</b>                                 |
|----------------|---------------------------------------|--------------------------|--------------|------------|---------------|-------------------------------------------------------|
| Cluster 1      | Tertinggi (9.25) – tersebar/terpencil | Lama (pengiriman & tiba) | Rendah       | Rendah     | Ringan        | Area luas, paket kecil & ringan, pengiriman terlambat |
| Cluster 2      | Menengah                              | Relatif cepat            | Sedang       | Sedang     | ± 5 ton       | Volume & berat sedang, tepat waktu                    |
| Cluster 3      | Terendah (3.18) – padat               | Paling cepat             | Tertinggi    | Tertinggi  | Tertinggi     | Paket besar, berat, pengiriman cepat                  |
| Cluster 4      | Tinggi – mirip Cluster 1              | Sedang ke lambat         | Rendah       | Rendah     | Ringan        | Wilayah luas, paket kecil, keterlambatan moderat      |
| Cluster 5      | Medium–High Area                      | Cepat sedang             | Tinggi       | Tinggi     | Berat         | Paket besar & berat, area tidak terlalu terpencil     |

#### Analisis Klaster 1

Klaster ini merepresentasikan pengiriman ke wilayah dengan *Sub Area* tinggi (rata-rata *Sub Area* = 9.25), yang merupakan area terpencil atau tersebar secara geografis. Waktu pengiriman dan kedatangan relatif lama (*ATD* = 3.08, *ATA* = 4.23), dan ukuran pengiriman kecil (*Colly* = 18.49, *CBM* = 0.39). Berat dan jumlah item juga rendah, yang menunjukkan bahwa ini adalah pengiriman ringan dan berjumlah sedikit. Klaster ini mencerminkan titik distribusi pedesaan yang memiliki tantangan efisiensi logistik.

#### Analisis Klaster 2

Klaster 2 terdiri dari pengiriman dengan volume sedang dan performa yang stabil. Nilai *Sub Area* berada di level menengah (4.72), dengan waktu pengiriman dan kedatangan yang cepat (*ATD* = 1.14, *ATA* = 1.83). Karakteristik pengiriman menunjukkan paket berukuran sedang (*Colly* = 465.81, *CBM* = 7.16), berat sedang (4956.64 kg), dan jumlah item yang wajar. Klaster ini mencakup wilayah sub urban atau semi-perkotaan dengan operasi distribusi yang cukup teratur.

#### Analisis Klaster 3

Klaster ini menunjukkan karakteristik pengiriman dengan volume besar dan performa tinggi. Nilai *Sub Area* terendah (3.18) menandakan area pusat distribusi atau perkotaan padat. *ATD* dan *ATA* merupakan yang tercepat di antara seluruh klaster, sementara *Colly*, *CBM*, dan *Weight* adalah yang tertinggi. Dengan jumlah item tertinggi (3.67), klaster ini mencerminkan aktivitas distribusi berskala besar yang efisien dan terjadwal dengan baik.

#### Analisis Klaster 4

Klaster 4 memiliki kemiripan dengan Klaster 1 dari sisi *Sub Area* yang tinggi (9.04), namun waktu pengiriman sedikit lebih cepat (*ATD* = 2.52, *ATA* = 4.05), dan ukuran serta berat paket sedikit lebih besar (*Colly* = 130.99, *CBM* = 1.99, *Weight* = 1339.69 kg). Jumlah item yang rendah menunjukkan variasi barang yang kecil dalam setiap pengiriman. Klaster ini merepresentasikan area yang tidak terlalu terpencil, namun tetap menghadapi tantangan logistik.

#### Analisis Klaster 5

Klaster ini menunjukkan nilai *Sub Area* menengah hingga tinggi (6.89), menandakan wilayah yang tidak terlalu pusat namun juga tidak sepenuhnya terpencil. Pengiriman di klaster ini berukuran besar dalam hal volume dan berat (*Colly* = 931.45, *CBM* = 14.27, *Weight* = 9973.03 kg), dengan waktu pengiriman yang cukup cepat (*ATD* = 1.28, *ATA* = 2.62). Jumlah item termasuk sedang. Klaster ini mencakup area industri atau komersial yang rutin membutuhkan pengiriman besar.

### 3.3 Analisis Strategis

Secara umum, hasil analisis strategis diidentifikasi sebagai berikut.

- Cluster* 1 & 4 perlu perhatian pada lead time dan mungkin perlu penguatan jaringan distribusi di area terpencil.
- Cluster* 3 adalah area performa terbaik: cepat, efisien, dan volume tinggi. Sehingga dapat dijadikan benchmark.
- Cluster* 5 menandakan potensi sumber pendapatan besar, namun perlu kapasitas logistik tinggi.
- Cluster* 2 mencerminkan stabilitas operasional dan cocok dijadikan model untuk standarisasi pengiriman reguler.

Berdasarkan hasil profil klaster yang telah dianalisis, diperoleh sejumlah wawasan strategis yang dapat menjadi dasar pengambilan keputusan logistik yang lebih adaptif dan berbasis data. Pertama, temuan menunjukkan bahwa Klaster 1 dan Klaster 4 memiliki karakteristik wilayah distribusi dengan waktu pengiriman yang relatif lambat, volume pengiriman kecil, serta ketersebaran geografis yang tinggi. Kondisi ini menuntut adanya redistribusi armada secara strategis, di mana kendaraan dengan kapasitas besar sebaiknya dialihkan ke klaster dengan permintaan tinggi seperti Klaster 3 dan Klaster 5. Sementara itu, distribusi ke wilayah Klaster 1 dan 4 dapat ditangani oleh kendaraan ringan atau armada mikro agar lebih efisien dari sisi bahan bakar dan waktu tempuh.

Selanjutnya, karakteristik dari Klaster 2 dan Klaster 5 yang menunjukkan volume pengiriman menengah hingga tinggi dan waktu pengiriman yang relatif cepat mengindikasikan perlunya penjadwalan ulang distribusi. Pendekatan penjadwalan dinamis (*dynamic scheduling*) berbasis waktu dan permintaan dapat diterapkan untuk menghindari *over-utilization* pada jam sibuk, sekaligus menjaga konsistensi performa layanan. Hal ini penting agar utilisasi armada tetap optimal sepanjang hari tanpa mengalami penurunan efisiensi pada titik tertentu.

Di sisi lain, wilayah dalam Klaster 1 dan Klaster 4 yang menunjukkan ketidakefisienan pada *last-mile delivery* membutuhkan upaya pemetaan ulang wilayah distribusi. Strategi *re-mapping* area *last-mile delivery* dapat dilakukan melalui pendekatan zonasi ulang dan integrasi dengan model distribusi berbasis komunitas, seperti *crowdsourced logistics* atau kemitraan dengan pelaku logistik lokal (*micro-logistics*). Tujuannya adalah untuk menjangkau wilayah sulit dengan lebih fleksibel dan biaya yang lebih rendah.

Akhirnya, hasil klasterisasi juga membuka peluang untuk melakukan segmentasi pelanggan berbasis performa pengiriman. Pendekatan ini dapat digunakan untuk merancang skema *Service Level Agreement* (SLA) yang lebih tepat sasaran. Sebagai contoh, pelanggan dalam Klaster 3 yang menunjukkan performa tinggi dan volume besar dapat dimasukkan dalam segmen prioritas dengan pelayanan premium dan penawaran loyalitas. Sementara pelanggan dalam Klaster 2 dan 5 dapat diberikan layanan standar reguler dengan optimalisasi jadwal dan rute, dan Klaster 1 dan 4 dapat ditetapkan sebagai segmen dengan frekuensi pengiriman rendah dan penjadwalan yang lebih fleksibel. Pendekatan segmentasi berbasis klaster ini diyakini mampu meningkatkan efisiensi operasional sekaligus menyesuaikan strategi layanan dengan kebutuhan dan karakteristik distribusi yang nyata di lapangan.

## 4. Kesimpulan

Penelitian ini yang bertujuan untuk optimasi *monitoring shipment* pada sektor logistik *general trade* telah dapat dilakukan dengan metode *Fuzzy C-Means* (FCM) *clustering* untuk mengelompokkan dan menganalisis strategi pemantauan pengiriman (*shipment monitoring*) pada

sektor logistik *general trade* di wilayah Pulau Jawa. Dengan menggunakan tujuh variabel utama—yaitu *Sub Area*, *Actual Time Delivery* (ATD), *Actual Time Arrival* (ATA), *Colly*, CBM, dan *Weight*—diperoleh lima klaster utama yang merepresentasikan variasi karakteristik distribusi pelanggan. Hasil klasterisasi menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara wilayah dengan pengiriman besar dan efisien, dengan wilayah yang memiliki tantangan logistik tinggi seperti keterlambatan dan keterbatasan volume pengiriman.

Melalui analisis *cluster profiling* dan nilai keanggotaan *fuzzy*, penelitian ini mengungkap bahwa sebagian besar titik distribusi memiliki karakteristik yang kuat terhadap satu klaster utama, namun tetap memperlihatkan fleksibilitas antar klaster yang dapat dimanfaatkan untuk optimalisasi segmentasi layanan. Temuan ini menjadi dasar dalam merumuskan strategi logistik berbasis data, seperti redistribusi armada, penjadwalan ulang distribusi, pemetaan ulang wilayah *last-mile delivery*, serta segmentasi pelanggan berbasis performa pengiriman.

Secara keseluruhan, pendekatan *Fuzzy C-Means* (FCM) terbukti efektif dalam memberikan pemahaman granular terhadap perilaku distribusi, serta dapat menjadi alat pendukung pengambilan keputusan strategis dalam pengelolaan rantai pasok logistik. Implikasi praktis dari hasil penelitian ini dapat menjadi rujukan bagi perusahaan logistik dalam meningkatkan efisiensi, responsivitas, dan kualitas layanan distribusi di tengah kompleksitas geografis dan operasional.

## Daftar Pustaka

- Bezdek, J.C., Ehrlich, R. and Full, W., (1984), FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm, *Computers & geosciences*, 10(2–3), pp. 191–203.
- BIN, T., (2024), The Influence Service Quality of Last-Mile Delivery Services On Customer Satisfaction In Malaysia, *Supply Chain Management*, Available at: [https://etd.uum.edu.my/11316/2/s832215\\_01.pdf](https://etd.uum.edu.my/11316/2/s832215_01.pdf) (Accessed: August 7, 2025).
- Hoa Khanh, N., (2024), Optimizing the Last-mile Segment in the Supply Chain, Available at: <https://www.theseus.fi/handle/10024/857364> (Accessed: August 7, 2025).
- Logistics Performance Index (LPI), (2023), Available at: <https://lpi.worldbank.org/international/global> (Accessed: August 7, 2025).
- Ma, N., Wu, K., Yuan, Y., Liu, S., and Li, J., (2024), An Intelligent Optimization Clustering Algorithm for Driver Risk Tendency Recognition in Intelligent Transportation Systems, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10803278/> (Accessed: August 7, 2025).
- Ramírez-Villamil, A., Montoya-Torres, J. R., Jaegler, A., and Cuevas-Torres, J. M., (2023), Reconfiguration of last-mile supply chain for parcel delivery using machine learning and routing optimization, *Computers & Industrial Engineering*, 184, p. 109604.
- Ramírez-Villamil, A., Montoya-Torres, J.R., and Jaegler, A. (2025), Trends and Advances in Urban Logistics Research: A Systematic Literature Review,” *Journal of Advanced Transportation*, 2025(1), p. 8859606.
- Tran, H., (2023), Exploring last-mile delivery opportunities and challenges in the e-commerce market Vietnam, Available at: <https://www.theseus.fi/handle/10024/814820> (Accessed: August 7, 2025).
- Ulkhaq, M.M. and Pratiwi, T.N., (2025), Analysis of Indonesia’s Position in the 2023 Logistics Performance Index, in *Proceeding International Conference on Religion, Science and Education*, pp. 581–587, Available at: <http://sunankalijaga.org/prosiding/index.php/icrse/article/view/1491> (Accessed: August 7, 2025).
- Wang, H., Chen, S., Yin, X., Meng, L., Wang, Z., and Wang, Z., (2024), A hybrid fuzzy c-means heuristic approach for two-echelon vehicle routing with simultaneous pickup and delivery of multicommodity, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 33(1), pp. 218–230.
- Wang, Y., Ma, X., Xu, M., Wang, Y., and Liu, Y., (2015), Vehicle routing problem based on a

fuzzy customer clustering approach for logistics network optimization, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 29(4), pp. 1427–1442. Available at: <https://doi.org/10.3233/IFS-151578>.  
Zheng, K., Huo, X., Jasimuddin, S., Zhang, J. Z., and Battaia, O., (2023), Logistics distribution optimization: Fuzzy clustering analysis of e-commerce customers' demands, *Computers in Industry*, 151, p. 103960.