

# **ANALISIS KLASTER WILAYAH PADA PENGELOLAAN SAMPAH MELALUI BANK SAMPAH DI KALIMANTAN MENGGUNAKAN FUZZY K-MEANS UNTUK PENGUATAN KEBIJAKAN LINGKUNGAN**

*(CLUSTER ANALYSIS OF REGIONAL WASTE MANAGEMENT THROUGH WASTE BANKS IN KALIMANTAN USING FUZZY K-MEANS TO STRENGTHEN ENVIRONMENTAL POLICY)*

**Erzha Nafilah Rosady<sup>1</sup>, Zafyra Nur Rizqi<sup>2</sup>, M.Dafiq Nur<sup>3</sup>, Johannes M.Sinambela<sup>4</sup>, Surya Puspita Sari<sup>5</sup>, Magdalena Effendi<sup>6</sup>**

Institut Teknologi Kalimantan

E-mail: [16231020@student.itk.ac.id](mailto:16231020@student.itk.ac.id)

## **ABSTRAK**

Peningkatan timbulan sampah di Kalimantan seiring dengan pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi telah menjadi permasalahan lingkungan yang kompleks. Ketimpangan kapasitas pengelolaan antarwilayah mengakibatkan perbedaan efektivitas sistem persampahan, terutama pada penerapan bank sampah sebagai bentuk pengelolaan berbasis masyarakat. Penelitian ini bertujuan untuk mengelompokkan kabupaten/kota di Kalimantan berdasarkan karakteristik pengelolaan sampah menggunakan metode Fuzzy K-Means, sehingga diperoleh pemetaan spasial yang dapat mendukung perumusan kebijakan pengelolaan sampah yang lebih adil dan efisien. Data sekunder diperoleh dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) dan Badan Pusat Statistik (BPS) yang mencakup variabel timbulan sampah, jumlah sampah terkelola, luas wilayah, dan jumlah penduduk. Hasil analisis menunjukkan bahwa jumlah kluster optimal adalah dua (2) kluster, yaitu kluster wilayah dengan tingkat pengelolaan tinggi yang didominasi oleh kota besar seperti Balikpapan dan Banjarmasin, serta kluster wilayah dengan pengelolaan rendah yang terdiri dari kabupaten dengan infrastruktur terbatas. Temuan ini menegaskan adanya kesenjangan spasial dalam efektivitas program bank sampah di Kalimantan. Hasil klusterisasi diharapkan menjadi dasar bagi pemerintah daerah dalam mengembangkan strategi penguatan kebijakan pengelolaan sampah, terutama melalui implementasi program nasional "1 RW 1 Bank Sampah" dan penerapan prinsip ekonomi sirkular secara berkelanjutan.

Kata kunci: *Fuzzy K-Means, Kalimantan, Kepadatan penduduk, Klusterisasi, Timbulan sampah.*

## **ABSTRACT**

*The increase in waste generation in Kalimantan, along with population growth and economic activity, has become a complex environmental issue. The disparity in management capacity among regions has led to differences in the effectiveness of waste management systems, particularly in the implementation of waste banks as a form of community-based management. This study aims to cluster regencies/cities in Kalimantan based on waste management characteristics using the Fuzzy K-Means method to obtain a spatial mapping that supports the formulation of fairer and more efficient waste management policies. Secondary data were obtained from the National Waste Management Information System (SIPSN) and the Central Statistics Agency (BPS), covering variables such as waste generation, managed waste volume, land area, and population. The analysis results show that the optimal number of clusters is two (2): one cluster representing regions with high waste management performance dominated by major cities such as Balikpapan and Banjarmasin, and another cluster representing regions with low management performance due to limited infrastructure. These findings highlight spatial disparities in the effectiveness of waste bank programs across Kalimantan. The clustering results*

*are expected to serve as a foundation for local governments in developing strategies to strengthen waste management policies, particularly through the implementation of the national program "1 RW 1 Waste Bank" and the adoption of sustainable circular economy principles.*

**Keywords:** Fuzzy K-Means, Kalimantan, Population Density, Clustering, Waste Generatio

## PENDAHULUAN

Peningkatan timbunan sampah yang terjadi seiring dengan pertumbuhan penduduk dan pembangunan ekonomi teridentifikasi sebagai persoalan utama keberlanjutan lingkungan, terutama di daerah dengan laju urbanisasi yang tinggi seperti Kalimantan. Berdasarkan Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008, sampah didefinisikan sebagai sisa kegiatan manusia atau proses alam yang berbentuk padat dan apabila tidak dikelola secara tepat, maka dapat menyebabkan pencemaran, menurunkan kualitas kesehatan masyarakat, serta menghambat pembangunan berkelanjutan (Abubakar et al., 2022). Secara nasional, rata-rata sampah yang dihasilkan oleh masyarakat Indonesia mencapai 0,8 kg per orang per hari dengan komposisi plastik sekitar 15% atau setara dengan 28,4 ribu ton per hari (Putri et al., 2025). Data tersebut menunjukkan bahwa persoalan sampah tidak hanya dapat dipandang sebagai isu teknis, melainkan sebagai refleksi dari lemahnya sistem tata kelola lingkungan, perilaku konsumsi, dan kebijakan publik yang diterapkan.

Pulau Kalimantan yang memiliki luas wilayah  $\pm 743.330 \text{ km}^2$  telah dikenal sebagai wilayah yang kaya sumber daya alam, namun tekanan terhadap lingkungannya meningkat seiring dengan percepatan pembangunan ekonomi. Pertumbuhan sektor industri, jasa, dan permukiman telah diikuti oleh peningkatan volume sampah yang signifikan, sementara kapasitas pengelolaan belum merata di seluruh wilayah. Kondisi tersebut mengakibatkan munculnya perbedaan signifikan antara daerah perkotaan seperti Balikpapan dan Samarinda dengan daerah yang luas namun berpenduduk jarang seperti Kutai Barat atau Berau. Oleh karena itu, kebutuhan pemetaan berbasis data sangat penting dan mendesak untuk mengidentifikasi karakteristik wilayah secara multidimensional, agar kebijakan pengelolaan sampah dapat difokuskan secara adil dan efisien.

Secara konseptual, timbunan sampah diartikan sebagai jumlah sampah yang dihasilkan dari aktivitas domestik maupun non-domestik dalam satuan berat atau volume (Romadhoni, 2023). Besarnya timbunan tersebut dipengaruhi oleh faktor sosial, ekonomi, dan geografis, termasuk jumlah penduduk, tingkat kesejahteraan, curah hujan, serta kesadaran masyarakat terhadap kebersihan lingkungan (Tchobanoglous & Kreit, 2002). Berdasarkan SNI 19-3983-1995, kota berukuran sedang diperkirakan menghasilkan sampah berkisar 0,70–0,80 kg/orang/hari, sedangkan kota kecil berkisar antara 0,625–0,70 kg/orang/hari. Dengan demikian, peningkatan kepadatan penduduk dapat diasumsikan berbanding lurus dengan peningkatan volume sampah yang dihasilkan (Lu et al., 2024). Namun, peningkatan kepadatan sering kali tidak diikuti oleh penyediaan infrastruktur persampahan yang memadai, sementara daerah dengan luas wilayah besar menghadapi hambatan distribusi dan keterjangkauan layanan. Akibatnya, pengelolaan sampah di banyak daerah dilakukan secara tidak efisien baik dari sisi spasial maupun logistik.

Salah satu pendekatan yang berkembang untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah pengelolaan sampah berbasis masyarakat melalui bank sampah. Bachtiar, Hanafi, dan Rozikin (2015) menjelaskan bahwa program ini tidak hanya berfungsi sebagai tempat penampungan dan pemilahan sampah bernilai ekonomi, tetapi juga menjadi indikator penting dalam menilai tingkat kesadaran dan partisipasi masyarakat terhadap pengelolaan sampah. Ratiabriani dan Purbadharmaja (2016) juga menekankan bahwa semakin besar volume sampah yang dikelola melalui bank sampah, maka semakin tinggi pula tingkat kepedulian masyarakat terhadap pemilahan dan daur ulang sampah dari sumbernya. Dengan demikian, data mengenai jumlah sampah yang dikelola oleh bank sampah dapat digunakan sebagai indikator aktivitas pengelolaan sampah di tingkat wilayah. Namun, tingkat aktivitas bank sampah di setiap wilayah Kalimantan tidak merata. Sebagian daerah menunjukkan sistem bank sampah yang aktif dan produktif, sementara daerah lain memiliki aktivitas rendah karena keterbatasan infrastruktur, dukungan pemerintah, maupun kesadaran masyarakat. Perbedaan ini mencerminkan

adanya kesenjangan spasial dalam pengelolaan sampah berbasis bank sampah, yang penting untuk dipetakan agar intervensi kebijakan dapat difokuskan secara tepat sasaran.

Sistem pengelolaan sampah di Indonesia diatur melalui SNI 3964:2025 yang menekankan pelaksanaan dari hulu ke hilir, mulai dari pengurangan, pemilahan, pengangkutan, pengolahan, hingga pemrosesan akhir. Meskipun demikian, implementasinya di tingkat daerah masih ditemukan banyak keterbatasan, baik dari sisi data spasial, ketersediaan sarana, maupun prioritas kebijakan. Kondisi tersebut menegaskan pentingnya penerapan analisis statistik spasial dan metode *data mining* dalam proses perumusan kebijakan lingkungan. Melalui metode *clustering*, data wilayah dapat dikelompokkan berdasarkan kesamaan karakteristik untuk menentukan prioritas pengelolaan. Metode *K-Means* telah banyak diterapkan dalam penelitian-penelitian terdahulu karena kemampuannya dalam mengelompokkan data secara efisien (Haviluddin et al., 2021; Maliki et al., 2022). Namun, metode ini bersifat deterministik karena setiap objek hanya dapat masuk pada satu kelompok, sehingga kompleksitas karakteristik antar wilayah sering tidak dapat terakomodasi.

Sebagai pengembangan dari metode tersebut, *Fuzzy K-Means* dikembangkan untuk memungkinkan setiap objek memiliki derajat keanggotaan pada lebih dari satu kluster (Firdaus, 2022). Dengan pendekatan ini, kondisi wilayah yang memiliki kemiripan ganda dapat direpresentasikan secara lebih realistis. Hal ini diperkuat dengan hasil dari penelitian oleh Zhang et al. (2024) yang menunjukkan bahwa *Fuzzy K-Means* memberikan hasil kluster yang lebih akurat dibandingkan *K-Means* pada data spasial yang memiliki karakteristik tumpang tindih. Dalam konteks pengelolaan lingkungan di Kalimantan yang memiliki keragaman sosial dan geografis tinggi, metode ini dinilai relevan untuk diterapkan. Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan efektivitas metode *clustering* dalam zonasi pengelolaan sampah. Misalnya, penelitian yang dilakukan oleh Magriaty et al. (2023) menerapkan PCA (*Principal Component Analysis*) dan *K-Means* untuk membagi Kabupaten Tapin ke dalam 3 (tiga) zona pengelolaan prioritas, sedangkan penelitian oleh Harahap et al. (2024) membuktikan bahwa sistem kluster mampu menurunkan volume sampah yang masuk ke TPA (Tempat Pemrosesan Akhir) hingga 85% melalui pengelolaan terdesentralisasi di Kota Pematang Siantar. Meskipun demikian, penelitian-penelitian tersebut masih bersifat deterministik dan belum mengakomodasi tumpang tindih karakteristik antarwilayah, sehingga pendekatan *Fuzzy K-Means* dinilai lebih sesuai untuk konteks wilayah yang heterogen seperti Kalimantan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini berupaya untuk memetakan karakteristik wilayah kabupaten/kota di Kalimantan berdasarkan pengelolaan sampah melalui bank sampah serta mengelompokkan wilayah tersebut menggunakan metode *Fuzzy K-Means*. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi pola pengelolaan sampah secara spasial yang lebih representatif terhadap kondisi sosial dan geografis Kalimantan. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam perumusan kebijakan penguatan program bank sampah serta strategi pengelolaan sampah berbasis masyarakat yang lebih efektif dan berkelanjutan.

## METODE

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari 2 (dua) sumber utama, yaitu Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) dan Badan Pusat Statistik (BPS). Data yang digunakan meliputi :

$X_1$  = Jumlah timbulan sampah (ton/tahun) di bank sampah per kabupaten/kota

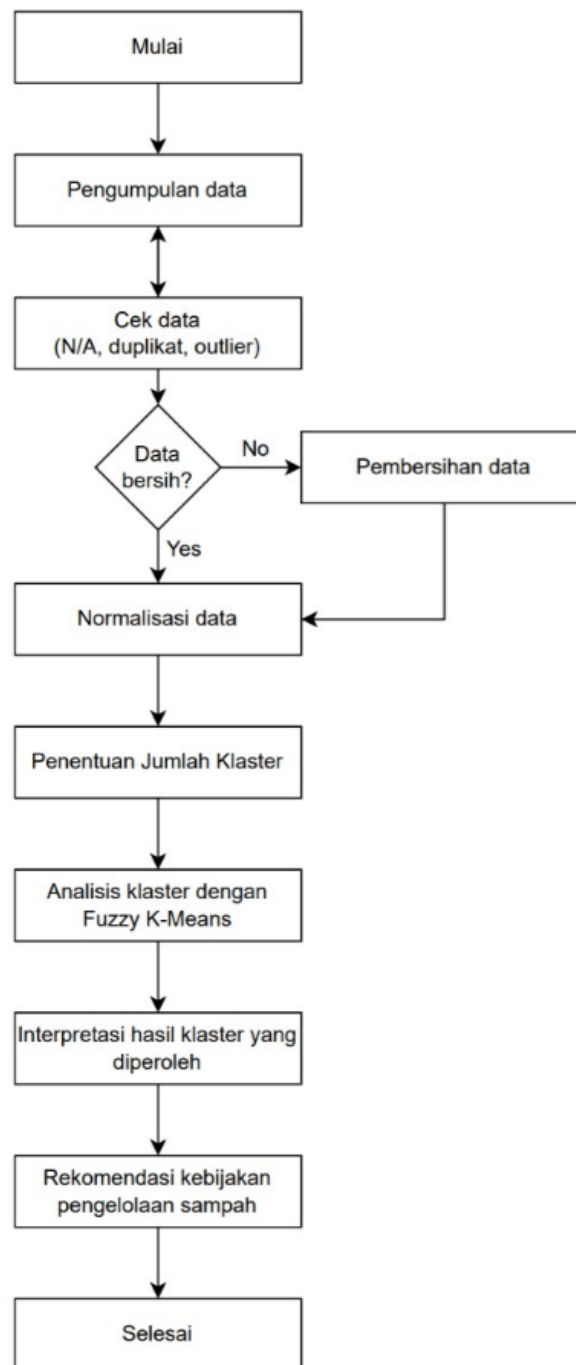
$X_2$  = Jumlah sampah yang terkelola melalui bank sampah (ton/tahun)

$X_3$  = Luas wilayah (km<sup>2</sup>), dan

$X_4$  = Jumlah penduduk (jiwa).

Jumlah bank sampah pada pulau Kalimantan sendiri ada 28. Unit analisis dalam penelitian ini adalah kabupaten/kota di setiap provinsi di Pulau Kalimantan, yang meliputi Provinsi Kalimantan Utara, Kalimantan Timur, Kalimantan Selatan, Kalimantan Tengah, dan Kalimantan Barat.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan metode analisis *Fuzzy K-Means Clustering* untuk mengelompokkan kabupaten/kota di setiap provinsi di Pulau Kalimantan berdasarkan karakteristik timbulan sampah, jumlah sampah terkelola, jumlah penduduk dan luas wilayah. Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis agar hasil yang diperoleh valid dan dapat dijadikan dasar rekomendasi kebijakan pengelolaan sampah daerah yang lebih terarah. Tahapan penelitian ini disajikan dalam diagram alir pada Gambar 1 berikut:



**Gambar 1.** Diagram Alir Penelitian

## 1. Pengolahan dan Normalisasi data

Tahap ini bertujuan mempersiapkan data agar layak digunakan dalam proses analisis kluster. Data yang diperoleh dari SIPSN dan BPS terlebih dahulu dilakukan proses pembersihan (*data cleaning*) untuk memastikan bahwa tidak terdapat nilai kosong (*missing values*) atau data ekstrem (*outlier*) yang dapat mempengaruhi hasil analisis dan normalisasi data jika variabel memiliki satuan yang berbeda agar seluruh variabel berada pada skala yang sebanding. Normalisasi dilakukan menggunakan metode *Min-Max Normalization* dengan rumus berikut:

$$X' = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1)$$

## 1. Penentuan Jumlah Kluster

Tahap ini bertujuan untuk menentukan jumlah kluster ( $c$ ) yang paling optimal sebelum dilakukan proses *Fuzzy K-Means Clustering*. Pemilihan jumlah kluster yang tepat sangat penting untuk memastikan bahwa hasil pengelompokan mampu merepresentasikan pola sebenarnya pada data. Pemilihan jumlah kluster menggunakan *Fuzzy Partition Coefficient Index* (PCI) dan *Xie Beni Index* (XB). Jumlah kluster optimal ditentukan dengan melihat nilai yang diperoleh paling tinggi (mendekati 1) dengan menggunakan *Fuzzy Partition Coefficient* (FPC).

$$FPC = \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K u_{ij}^2) \quad (2)$$

Pada persamaan ini,  $N$  menyatakan jumlah data,  $c$  jumlah kluster,  $u_{ij}$  derajat keanggotaan data ke- $i$  pada kluster ke- $j$ .

Jumlah kluster yang optimal dilihat dari nilai yang diperoleh minimal (paling kecil) dengan menggunakan *Xie Beni Index* (XB).

$$XB = \frac{\sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^N u_{ij}^m \times d(x_i, c_j)^2}{N \times \min_{ij} (d(c_i, c_j)^2)} \quad (3)$$

Pada persamaan ini,  $u_{ij}$  adalah derajat keanggotaan,  $M$  parameter fuzziness,  $x_i$  data ke- $i$ ,  $v_j$  pusat kluster ke- $j$ , dan penyebut merupakan jarak minimum antar pusat kluster.

## 2. Proses Klusterisasi dengan *Fuzzy K-Means*

Jarak antara setiap data dengan seluruh pusat kluster dihitung menggunakan ukuran jarak *Euclidean Distance*, kemudian setiap data ditempatkan pada kluster yang memiliki jarak terpendek dari pusat kluster tersebut menggunakan persamaan berikut ini:

$$J_m = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^N (u_{ik})^m \cdot \|x_k - v_i\|^2 \quad (4)$$

Pada fungsi objektif  $J_m$ ,  $x_k$  adalah data,  $v_i$  adalah pusat kluster, dan  $u_{ik}$  adalah derajat keanggotaan data ke kluster. Nilai  $u_{ik}$  dipangkatkan dengan  $m$  untuk memberi bobot sesuai tingkat keanggotaannya, sementara  $\|x_k - v_i\|^2$  menunjukkan jarak antara data dan pusat kluster. Fungsi ini menjumlahkan jarak berbobot semua data, dan Fuzzy K-Means berusaha meminimalkan nilai tersebut agar pusat kluster semakin representatif.

$$u_{ik} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c \left( \frac{\|x_k - v_i\|}{\|x_k - v_j\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (5)$$

Pada rumus pembaruan  $u_{ik}$ , nilai keanggotaan dihitung dari perbandingan jarak data ke setiap pusat kluster. Semakin dekat data ke suatu kluster, semakin besar keanggotaannya. Penyebut merangkum perbandingan jarak ke semua kluster sehingga total keanggotaan setiap

data tetap proporsional dan mencerminkan kedekatannya terhadap masing-masing pusat klaster.

### 3. Hasil Analisis Klaster

Data diklasifikasikan ke dalam klaster dengan jarak terdekat terhadap pusat klaster, yang dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

$$V_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{N_i} x_{kj}}{N_i} \tag{6}$$

Pada rumus hasil analisis klaster,  $V_{ij}$  adalah data cluster ke – i kolom j,  $x_{kj}$  adalah data ke – k kolom ke – j, dan  $N_i$  menjelaskan banyaknya anggota cluster ke- i.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan jumlah klaster optimal dilakukan menggunakan Fuzzy Partition Coefficient (FPC) dan Xie-Beni Index (XB) sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1. Berdasarkan jumlah klaster terpilih, pusat klaster yang merepresentasikan karakteristik masing-masing kelompok wilayah kemudian dihitung dan disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 1.** Nilai *Fuzzy Partition Coefficient*

Values	Jumlah Klaster (K)				
	2	3	4	5	6
FPC	0.8779	0.7248	0.5874	0.6599	0.6251
XB	0.0788	0.2099	0.4863	0.2767	0.5760

Sumber: Hasil Perhitungan (2025)

Berdasarkan Tabel 1, dapat terlihat bahwa pada FPC nilai terbesar terdapat pada jumlah klaster (K) = 2 sebesar 0.8779, dan pada XB Terlihat bahwa nilai terkecil terdapat pada jumlah klaster (K) = 2 sebesar 0.0788. Hal ini terbukti bahwa kedua metode menghasilkan jumlah klaster (K) yang sama yaitu sebesar 2. Sehingga pada penelitian ini wilayah dapat dibagi menjadi 2 klaster.

**Tabel 2.** Pusat Klaster

Klaster	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$
1	-0.2666	-0.275	-0.0345	-0.2434
2	2.6777	2.7545	-0.3745	1.4987

Sumber: Hasil Perhitungan (2025)

Hasil analisis *Fuzzy K-Means* dengan jumlah klaster = 2, didapatkan pusat klaster yang disajikan pada Tabel 2. Pusat Klaster, Klaster 1 memiliki nilai seluruh variabel yang cenderung negatif, yang menunjukkan bahwa wilayah-wilayah yang termasuk dalam klaster ini memiliki karakteristik di bawah rata-rata keseluruhan untuk variabel X1 hingga X4. Maka klaster 1 menggambarkan kelompok wilayah dengan kondisi relatif rendah pada keempat indikator tersebut.

Sementara itu, Klaster 2 memiliki nilai yang sangat tinggi pada variabel X1 (2.6777), X2 (2.7545), dan X4 (1.4987), yang berarti wilayah dalam klaster ini memiliki kondisi jauh di atas rata-rata pada ketiga variabel tersebut. Namun, variabel X3 (-0.3745) justru menunjukkan nilai negatif, mengindikasikan bahwa pada indikator tersebut, wilayah dalam klaster 2 sedikit lebih rendah dibandingkan rata-rata keseluruhan.

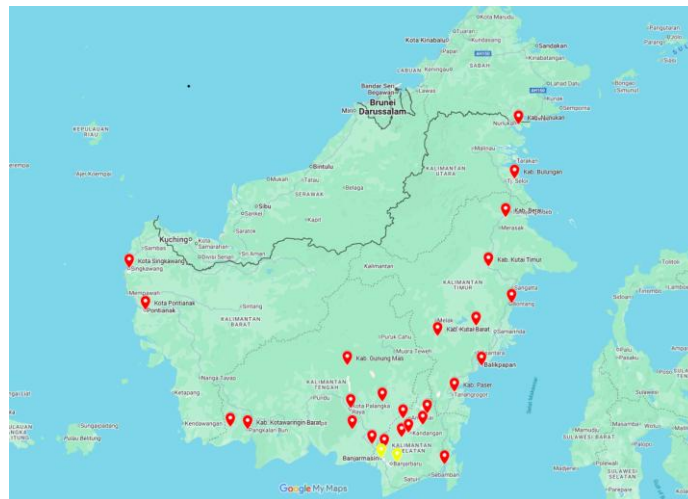
**Tabel 3.** Klasterisasi Wilayah

Kabupaten/Kota	Nilai Keanggotaan (Membership)		Klaster Dominan	Kabupaten/Kota	Nilai Keanggotaan (Membership)		Klaster Dominan
	1	2			1	2	
Kota Pontianak	0.8068	0.1932	1	Kab. Hulu Sungai Utara	0.9698	0.0302	1
Kota Singkawang	0.9697	0.0303	1	Kab. Tanah Bumbu	0.987	0.013	1
Kab. Kotawaringin Barat	0.9948	0.0052	1	Kab. Balangan	0.9626	0.0374	1
Kab. Kapuas	0.8839	0.1161	1	Kota Banjarmasin	0.0654	0.9346	2
Kab. Barito Selatan	0.9766	0.0234	1	Kab. Paser	0.9905	0.0095	1
Kab. Sukamara	0.9393	0.0607	1	Kab. Kutai Kartanegara	0.6924	0.3076	1
Kab. Gunung Mas	0.9783	0.0217	1	Kab. Berau	0.9135	0.0865	1
Kab. Pulang Pisau	0.9703	0.0297	1	Kab. Kutai Barat	0.9696	0.0304	1
Kota Palangkaraya	0.9833	0.0167	1	Kab. Kutai Timur	0.7463	0.2537	1
Kab. Banjar	0.0007	0.9993	2	Kota Balikpapan	0.7880	0.2120	1
Kab. Barito Kuala	0.9041	0.0959	1	Kota Bontang	0.9616	0.0384	1
Kab. Hulu Sungai Selatan	0.9774	0.0226	1	Kab. Nunukan	0.8395	0.1605	1
Kab. Hulu Sungai Tengah	0.9765	0.0235	1				

Sumber: Hasil Perhitungan (2025)

Setelah diperoleh pusat klaster akhir, maka didapatkan hasil nilai keanggotaan seperti yang disajikan pada Tabel 3, dimana setiap wilayah memiliki nilai keanggotaan pada kedua klaster yang menunjukkan derajat kedekatan wilayah tersebut terhadap karakteristik masing-masing klaster. Semakin besar nilai keanggotaan pada suatu klaster (mendekati 1), maka semakin kuat kecenderungan wilayah tersebut tergolong dalam klaster tersebut. Hasil analisis menunjukkan bahwa sebagian besar Kabupaten/Kota di Kalimantan termasuk ke dalam klaster 1. Sedangkan hanya Kabupaten Banjar dan Kota Banjarmasin yang termasuk ke dalam klaster 2.

Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik sebagian besar wilayah di Kalimantan dalam pengelolaan sampah masih berada pada level menengah ke bawah, sementara hanya sebagian kecil wilayah yang menunjukkan capaian tinggi. Pada klaster 1 merepresentasikan kabupaten luas tetapi tidak padat yang dimana total sampah yang masuk rendah hingga sedang, total sampah yang dikelola rendah - sedang, luas wilayah besar dan populasi yang rendah hingga sedang. Berikutnya, klaster 2 merepresentasikan kota besar atau pusat aktivitas yang dimana total sampah masuk sangat tinggi, total sampah yang dikelola sangat tinggi, luas wilayah lebih kecil dan populasi yang tinggi. Berikut adalah visualisasi klaster dimana klaster 1 berwarna merah, dan klaster 2 berwarna kuning.



**Gambar 2.** Hasil Mapping Klasterisasi Wilayah Kalimantan 2024.

### **Implikasi Kebijakan**

Hasil klasterisasi menunjukkan adanya ketimpangan yang jelas antara wilayah dengan kapasitas pengelolaan sampah tinggi dan wilayah yang masih berada pada tingkat rendah hingga sedang. Temuan ini menegaskan perlunya strategi kebijakan yang lebih terarah dan berbasis karakteristik wilayah. Mengacu pada kerangka regulasi nasional seperti UU No. 18 Tahun 2008, Permen LH No. 13 Tahun 2012, serta Permen LHK No. 14 Tahun 2021, pemerintah daerah memiliki kewajiban untuk memperkuat upaya pengurangan, pemilahan, dan pengelolaan sampah dari sumbernya. Dalam konteks hasil penelitian ini, daerah di Klaster 1 yang memiliki kapasitas pengelolaan relatif rendah memerlukan dukungan prioritas, baik melalui peningkatan infrastruktur persampahan, penyediaan fasilitas pemilahan, maupun penguatan kelompok masyarakat yang terlibat dalam bank sampah.

Sementara itu, wilayah dalam Klaster 2 yang memiliki kinerja pengelolaan lebih tinggi dapat dijadikan model rujukan untuk replikasi praktik baik (*best practices*) di wilayah lain. Hal ini diperkuat dengan artikel yang dilantik dari ANTARAKALSEL yang menyebutkan bahwa Perusahaan Umum Daerah (Perumda) Pasar Bauntung Batuah terus berinovasi dalam menanggulangi permasalahan sampah di lingkungan pasar. Salah satu langkah yang dilakukan adalah membentuk Bank Sampah Perumda, yang telah aktif menjalankan aksi nyata dalam satu bulan terakhir. Hal menunjukkan bahwa sumber daya manusia pada wilayah di klaster 2 lebih peka terhadap isu pembuangan sampah yang baik dibandingkan wilayah lain sehingga diharapkan wilayah-wilayah di klaster 1 tersebut dan mengikuti jejak dari wilayah-wilayah yang berada di klaster 2. Peran masyarakat menjadi unsur kunci dalam meningkatkan efektivitas pengelolaan sampah, terutama melalui mekanisme partisipatif seperti bank sampah. Oleh karena itu, strategi yang bersifat adaptif dan sesuai dengan karakteristik wilayah menjadi penting, karena tiap kabupaten/kota memiliki kondisi sosial, geografis, dan demografis yang sangat berbeda.

Dalam konteks implementatif, hasil penelitian ini sangat relevan untuk mendukung Program Nasional "1 RW 1 Bank Sampah", yang menjadi salah satu agenda prioritas Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan sejak 2025. Program ini bertujuan memastikan bahwa setiap RW memiliki bank sampah aktif yang mampu menjalankan fungsi pemilahan, pengumpulan, dan penyaluran sampah bernilai ekonomi. Dengan mengetahui sebaran klaster wilayah, pemerintah daerah dapat menentukan RW atau kecamatan mana yang harus menjadi prioritas pembentukan atau penguatan bank sampah, khususnya di daerah Klaster 1 yang masih memiliki tingkat partisipasi rendah. Hasil penelitian ini sekaligus memberikan pijakan ilmiah bahwa penerapan program "1 RW 1 Bank Sampah" bukan hanya layak, tetapi juga strategis untuk mengurangi kesenjangan spasial dalam pengelolaan sampah dan mempercepat transisi menuju sistem ekonomi sirkular di Kalimantan.

## KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mencapai tujuannya dalam memetakan karakteristik pengelolaan sampah di kabupaten/kota di Kalimantan serta mengelompokkannya menggunakan metode Fuzzy K-Means. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur pengelolaan sampah antarwilayah di Kalimantan terbagi secara jelas ke dalam dua klaster utama.

Klaster 1 terdiri dari sebagian besar kabupaten/kota dan menunjukkan karakteristik pengelolaan sampah yang masih berada pada tingkat rendah hingga sedang, baik dari sisi timbulan sampah, jumlah sampah terkelola, maupun tekanan populasi. Kondisi ini menggambarkan keterbatasan infrastruktur, skala wilayah yang luas, serta aktivitas bank sampah yang belum optimal.

Sebaliknya, Klaster 2 terdiri dari wilayah dengan tingkat aktivitas pengelolaan sampah yang tinggi, ditunjukkan oleh besarnya jumlah sampah masuk dan terkelola, serta kepadatan penduduk yang tinggi. Wilayah dalam klaster ini mencerminkan pusat-pusat aktivitas perkotaan dengan sistem pengelolaan yang lebih matang dan partisipasi masyarakat yang lebih kuat dalam bank sampah. Diperkuat dengan pemerintah Kalimantan Selatan yang memberikan inovasi pembentukan Bank Sampah Perumda, menunjukkan bahwa sumber daya manusia di Kalimantan lebih peka terhadap isu pembuangan sampah yang baik dan benar dibandingkan dengan wilayah Kalimantan lain yang kurang edukasi dan sosialisasi terkait bank sampah.

Temuan klasterisasi ini menegaskan adanya kesenjangan spasial dalam efektivitas program bank sampah di Kalimantan. Dengan demikian, hasil penelitian ini menyediakan dasar ilmiah yang penting bagi pemerintah daerah dalam merumuskan strategi penguatan kebijakan pengelolaan sampah, termasuk mendukung implementasi program nasional "1 RW 1 Bank Sampah" dan pengembangan kebijakan berbasis ekonomi sirkular secara berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar, I. R., Maniruzzaman, K. M., Dano, U. L., AlShihri, F. S., AlShammari, M. S., Ahmed, S. M. S., Al-Gehlani, W. A. G., & Alrawaf, T. I. (2022). Environmental Sustainability Impacts of Solid Waste Management Practices in the Global South. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19). <https://doi.org/10.3390/ijerph191912717>.
- Bachtiar, H., Hanafi, I., & Rozikin, M. (2015). *Pengembangan bank sampah sebagai bentuk partisipasi masyarakat dalam pengelolaan sampah (Studi pada Koperasi Bank Sampah Malang)*. *Jurnal Administrasi Publik (JAP)*, 3(1).
- Badan Standardisasi Nasional. (1995). SNI 19-3983-1995 Tentang Spesifikasi timbulan sampah untuk kota kecil dan kota sedang di Indonesia. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2025). SNI 3964:2025 Tentang Metode pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dan komposisi sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga. Jakarta.
- Basransyah & Hidayarizka, R. (2023). Perencanaan Material Recovery Facility (MRF): Studi Kasus Kelurahan Pulau Untung Jawa. *Compact: Spatial Development Journal*, 2(1): 128-135. <https://doi.org/10.35718/compact.v2i1.827>
- CUI Junchao , ZHANG Qiongbing , LI Xiaolong . Algoritma Pengelompokan Fuzzy C-Means Berdasarkan Jarak Jangkauan[J]. *Jurnal Ilmu Geoinformasi* , 2024, 26(9): 2038-2051 <https://doi.org/10.12082/dqxxkx.2024.240053>
- Harahap, M. A. K., Harmain, U., Saragih, J. R., Sinurat, A., Sihombing, B., Purba, I. R., & Saragih, H. (2024). Perencanaan Sistem Cluster Pengelolaan Sampah Dalam Mengurangi Penumpukan

Sampah Di Kota Pematang Siantar. *Jurnal Regional Planning*, 6(2), 69–76. <https://doi.org/10.36985/smz44433>.

- Haviluddin, H., Patandianan, S. J., Putra, G. M., Puspitasari, N., & Pakpahan, H. S. (2021). Implementasi Metode K-Means Untuk Pengelompokan Rekomendasi Tugas Akhir. *Informatika Mulawarman : Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, 16(1), 13. <https://doi.org/10.30872/jim.v16i1.5182>
- Maliki, R., Falgenti, K., Priani, S., Fithri, F., Suherman, M., & Nugraha, D. S. (2022). Perbandingan Tingkat Pengangguran Terbuka Provinsi di Indonesia Berbasis Metode K-Means Clustering. *Computer Science (CO-SCIENCE)*, 2(2), 109–116.
- Magriaty, R., Murtalaxono, K., & Anwar, S. (2023). Analisis K-Means Cluster untuk Identifikasi Kawasan Pengelolaan Sampah di Kabupaten Tapin Provinsi Kalimantan Selatan. *Journal of Regional and Rural Development Planning*, 7(1), 79–90. <https://doi.org/10.29244/jp2wd.2023.7.1.79-90>.
- Lu, M., Zhou, C., Wang, C., Jackson, R. B., & Kempes, C. P. (2024). Worldwide scaling of waste generation in urban systems. *Nature Cities*, 1(2), 126–135. <https://doi.org/10.1038/s44284-023-00021-5>.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2008). Undang-undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah. Jakarta.
- Putri, M. A., Sudrajat, A., Hadzami, A. F., Razak, R. G., & Muna, N. (2025). Analisis Pengaruh Indeks Pembangunan Manusia dan Jumlah Penduduk terhadap Timbulan Sampah Plastik di Indonesia. *Triwikrama: Jurnal Multidisiplin Ilmu Sosial*, 10(4): 1-12.
- Ratiabriani, N. M., & Purbadharmaja, I. B. P. (2016). *Partisipasi masyarakat dalam program bank sampah: Model logit*. *Jurnal Ekonomi Kuantitatif Terapan*, 9(1), 1–88. <https://doi.org/10.24843/JEKT.2016.v09.i01.p06>
- Rosida, W., & Wijaya, Y. A. (2023). Klusterisasi Penyakit HIV/AIDS di Jawa Barat Menggunakan Algoritma K-Means Clustering. *Blend Sains Jurnal Teknik*, 1(4), 306–315. <https://doi.org/10.56211/blendsains.v1i4.235>.
- Romadhoni, F. M. (2023). ANALISIS TIMBULAN DAN KOMPOSISI SAMPAH KAWASAN PERMUKIMAN KOTA MAKASSAR. Universitas Hasanuddin: Makassar.
- RI (Republik Indonesia). (2008). *Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah*. Lembaran Negara RI Tahun 2008, No. 69. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup. (2012). *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 13 Tahun 2012 tentang Pedoman Pelaksanaan Reduce, Reuse, dan Recycle (3R) Melalui Bank Sampah*. Berita Negara RI Tahun 2012, No. 671. Kementerian Negara Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2021). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 14 Tahun 2021 tentang Pengelolaan Sampah pada Bank Sampah*. Berita Negara RI Tahun 2021, No. 285. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2025). *Program Nasional "1 RW 1 Bank Sampah" sebagai Strategi Nasional Pengelolaan Sampah Berbasis Masyarakat*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Jakarta.