

## PENGELOMPOKAN KABUPATEN/KOTA DI JAWA TIMUR BERDASARKAN CAPAIAN KINERJA PENGELOLAAN SAMPAH TAHUN 2023 MENGGUNAKAN METODE K-MEANS

Leli Meganingrum<sup>1\*</sup>, Hani Brilianti Rochmanto<sup>2</sup>, Devi Putri Isnarwaty<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Statistika, Universitas Terbuka, Tangerang Selatan

<sup>1</sup>Badan Pusat Statistik, Kabupaten Gresik

<sup>2</sup>Program Studi Statistika, Universitas PGRI Adi Buana Surabaya, Surabaya

<sup>3</sup>Unit Pengembangan Smart Eco Campus Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

\*Penulis korespondensi: [leli.meganingrum@bps.go.id](mailto:leli.meganingrum@bps.go.id)

### ABSTRAK

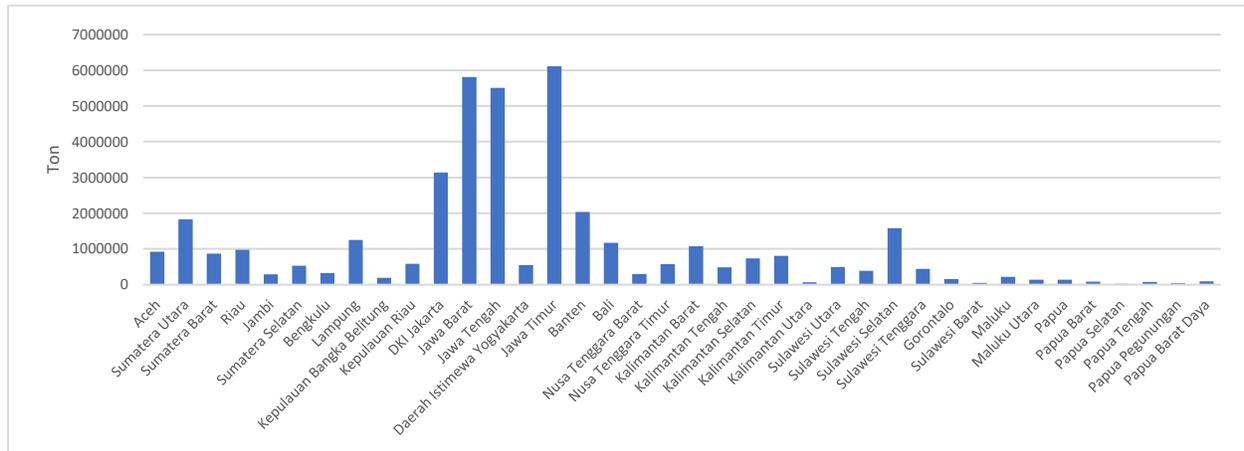
Pengelolaan sampah yang efektif merupakan tantangan utama bagi pemerintah daerah, khususnya di wilayah dengan tingkat populasi dan aktivitas ekonomi yang tinggi seperti Jawa Timur. Penelitian ini bertujuan untuk mengelompokkan kabupaten/kota di Jawa Timur berdasarkan capaian kinerja pengelolaan sampah tahun 2023 menggunakan metode *K-Means clustering*. Variabel yang digunakan meliputi Timbulan Sampah Tahunan, Pengurangan Sampah Tahunan, Sampah Terkelola Tahunan, Daur Ulang Sampah Tahunan, Bahan Baku Sampah Tahunan, serta *Recycling Rate*. Sebelum melakukan analisis, data distandarisasi untuk memastikan bobot variabel yang seimbang. Penentuan jumlah kluster optimal dilakukan dengan Metode *Elbow*, yang menunjukkan tiga kluster sebagai konfigurasi terbaik. Hasil penelitian menunjukkan adanya pola pengelolaan sampah yang berbeda di antara kluster, yang mencerminkan variasi dalam kapasitas dan strategi pengelolaan sampah setiap daerah. Kluster 1 mencakup mayoritas wilayah, seperti Kabupaten Pacitan, Ponorogo, Sampang, dan Kota Blitar. Kluster 2 terdiri dari Kota Surabaya sebagai wilayah dengan pengelolaan sampah yang paling maju. Kluster 3 meliputi beberapa daerah dengan kinerja pengelolaan sampah sedang hingga tinggi, seperti Kabupaten Malang, Banyuwangi, dan Kota Malang. Pengelompokan Kabupaten/Kota ini divisualisasikan melalui peta tematik untuk memberikan gambaran distribusi kinerja pengelolaan sampah di Jawa Timur. Temuan ini diharapkan dapat membantu pemerintah daerah dalam merumuskan kebijakan berbasis data untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi pengelolaan sampah.

**Kata kunci:** Pengelolaan Sampah, *K-Means Clustering*, Metode *Elbow*, Peta Tematik, *Recycling Rate*.

### 1 PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah yang efektif merupakan salah satu tantangan besar yang dihadapi oleh pemerintah daerah di Indonesia, terutama di wilayah dengan tingkat populasi yang padat dan aktivitas ekonomi yang tinggi, seperti Provinsi Jawa Timur (Saraswati dkk., 2023). Sebagai provinsi dengan jumlah penduduk terbesar kedua di Indonesia dan pusat perekonomian yang berkembang pesat, Jawa Timur menghadapi masalah sampah yang cukup kompleks. Setiap tahun, jumlah sampah yang dihasilkan meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan urbanisasi (Azizah dkk., 2024). Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) yang tersaji pada Gambar 1, Timbulan Sampah Tahunan di Jawa Timur tahun 2023 tercatat menghasilkan 6.117.220,19 ton sampah, yang merupakan angka tertinggi di Indonesia jika

dibandingkan dengan provinsi-provinsi lain seperti DKI Jakarta (3.141.650,18 ton) dan Jawa Barat (5.809.602,06 ton). Besarnya timbulan sampah tersebut menunjukkan adanya tekanan yang sangat besar terhadap sistem pengelolaan sampah yang ada di Jawa Timur, baik dari segi kapasitas pengolahan, infrastruktur daur ulang, maupun kebijakan pengurangan sampah yang perlu diterapkan.



**Gambar 1.** Timbulan Sampah Tahunan Di Indonesia Tahun 2023

(Sumber: Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) <https://sipsn.menlhk.go.id>)

Akibat dari tingginya volume sampah yang dihasilkan, pemerintah daerah di Jawa Timur dihadapkan pada kebutuhan mendesak untuk meningkatkan kapasitas dan efektivitas sistem pengelolaan sampah. Sampah yang tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan masalah lingkungan serius, seperti pencemaran tanah, air, dan udara, yang pada akhirnya berdampak pada kesehatan masyarakat (Utami dkk., 2023). Selain itu, jika tidak ada pengelolaan yang efektif, sampah yang terus menumpuk juga dapat mengurangi kualitas hidup masyarakat dan merusak estetika lingkungan (Situmeang dkk., 2023). Oleh karena itu, pengelolaan sampah yang efisien dan berbasis data menjadi sangat krusial untuk memastikan keberlanjutan lingkungan dan kualitas hidup masyarakat.

Berbagai studi sebelumnya telah mengkaji pengelolaan sampah di Indonesia, dengan fokus pada tantangan yang dihadapi oleh pemerintah daerah dalam mengelola sampah. Misalnya, penelitian oleh Abdussamad dkk. (2022) yang menyebutkan bahwa banyak daerah di Indonesia menghadapi kesulitan dalam penerapan sistem pengelolaan sampah yang efektif karena keterbatasan infrastruktur dan sumber daya manusia yang kurang memadai. Selain itu, penelitian oleh Janah (2021) menunjukkan bahwa pengelolaan sampah di kota-kota besar seperti Surabaya cenderung lebih baik dibandingkan dengan daerah-daerah pedesaan atau kota kecil, yang sering kali menghadapi kesulitan dalam hal teknologi, pendanaan, dan kesadaran masyarakat.

Metode pengelompokan daerah berdasarkan jenis sampah juga telah digunakan dalam penelitian-penelitian sebelumnya. Salah satunya adalah penelitian oleh Heatubun dkk. (2024) yang berfokus pada pengelompokan wilayah di Kecamatan Teluk Ambon berdasarkan jenis sampah. Penelitian tersebut menggunakan metode *Self Organizing Maps* (SOM), *Single Linkage*, dan *Average Linkage*, dengan hasil yang menunjukkan bahwa metode SOM adalah yang terbaik untuk mengelompokkan wilayah berdasarkan jenis sampah. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi

klaster-klaster berdasarkan tingkatan sebaran sampah di wilayah tersebut, sehingga pemerintah dapat lebih mudah merancang kebijakan yang lebih spesifik dan sesuai dengan kondisi lokal.

Meskipun telah terdapat penelitian yang memberikan wawasan penting tentang pengelompokan daerah berdasar jenis sampah, belum ada penelitian yang secara spesifik mengelompokkan daerah berdasarkan capaian kinerja pengelolaan sampah. Pengelompokan kinerja pengelolaan sampah antar daerah belum dilakukan secara sistematis, sehingga kebijakan yang diterapkan cenderung tidak tepat sasaran dan tidak sesuai dengan kondisi spesifik masing-masing daerah. Banyak daerah yang belum memiliki data yang cukup untuk mengevaluasi efektivitas program pengelolaan sampah mereka, sementara pemerintah daerah kesulitan dalam merancang strategi yang lebih efisien dan berbasis data. Oleh karena itu, penting untuk melakukan analisis pengelompokan kabupaten/kota berdasarkan capaian kinerja pengelolaan sampah yang komprehensif, yang dapat mengidentifikasi daerah dengan kinerja baik, sedang, dan buruk dalam hal pengelolaan sampah, serta memberikan rekomendasi kebijakan yang lebih terarah dan efektif.

Penelitian ini bertujuan untuk mengelompokkan kabupaten/kota di Jawa Timur berdasarkan capaian kinerja pengelolaan sampah tahun 2023 dengan menggunakan metode *K-Means*. Metode *K-Means* digunakan untuk menghasilkan klaster yang menggambarkan perbedaan kinerja antar daerah, yang nantinya akan membantu pemerintah dalam merumuskan kebijakan pengelolaan sampah yang lebih spesifik dan berbasis data. Hasil pengelompokan ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai perbedaan kinerja pengelolaan sampah antar daerah yang dapat menjadi dasar bagi pengambilan keputusan dalam merumuskan kebijakan pengelolaan sampah yang lebih efektif dan berbasis data. Dengan pemetaan kinerja pengelolaan sampah berdasarkan klaster, pemerintah dapat lebih mudah mengidentifikasi daerah yang memerlukan perhatian lebih dalam hal infrastruktur dan program pengelolaan sampah. Selain itu, temuan ini dapat digunakan sebagai dasar dalam penyusunan kebijakan yang lebih terarah berdasarkan karakteristik serta kebutuhan masing-masing daerah. Dalam jangka panjang, diharapkan hasil penelitian ini dapat membantu meningkatkan kualitas pengelolaan sampah di Jawa Timur, yang dapat memberikan dampak positif bagi keberlanjutan lingkungan dan kualitas hidup masyarakat.

## **2 METODE**

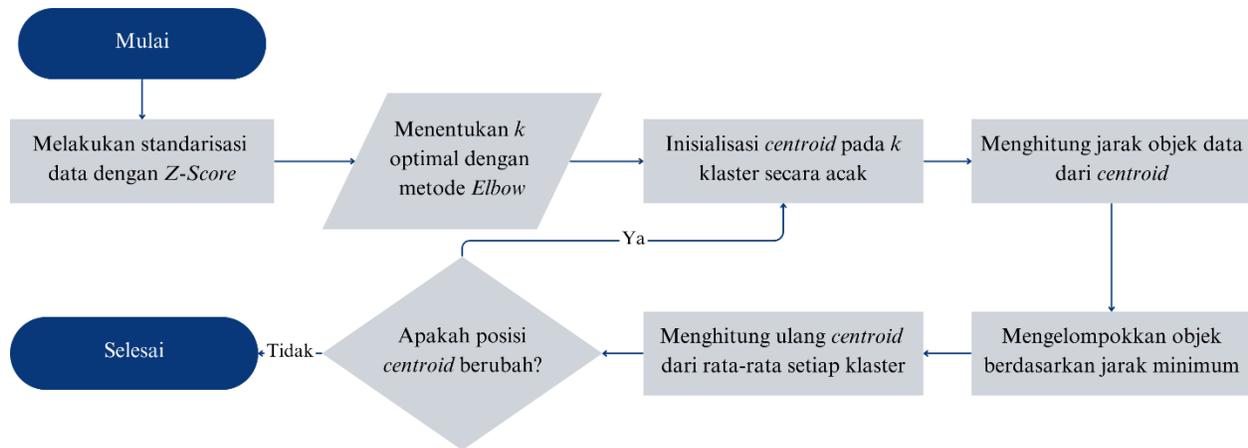
### **2.1 Sumber Data dan Variabel Penelitian**

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder capaian pengelolaan sampah yang berasal dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Variabel penelitian yang digunakan adalah Timbulan Sampah Tahunan, Pengurangan Sampah Tahunan, Sampah Terkelola Tahunan, Daur Ulang Sampah Tahunan, Bahan Baku Sampah Tahunan, serta *Recycling Rate* di masing-masing kabupaten/kota di Jawa Timur pada tahun 2023, kecuali Kabupaten Bondowoso dan Kabupaten Pasuruan karena data untuk dua kabupaten tersebut tidak tersedia.

### **2.2 Metode Penelitian**

Pengelompokan kabupaten/kota di Jawa Timur berdasarkan kinerja pengelolaan sampah dilakukan menggunakan metode *K-Means*. *K-Means* merupakan metode pengelompokan yang memiliki kemampuan untuk mengelompokkan data dalam jumlah yang cukup besar dengan waktu yang cepat (Thomas & Harode, 2015). Proses pengelompokan dengan metode *K-Means* pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu standarisasi data, pemilihan jumlah klaster optimal

menggunakan metode *Elbow*, dan penerapan algoritma *K-Means* untuk menghasilkan pengelompokan kabupaten/kota. Secara umum, langkah-langkah pada penelitian ini digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Diagram Alir Pengelompokan Kabupaten/Kota di Jawa Timur berdasarkan Capaian Pengelolaan Sampah Tahun 2023 dengan Metode *K-Means*

### 2.2.1 Standarisasi Data

Sebelum melakukan analisis kluster, data perlu distandarisasi untuk memastikan bahwa semua variabel memiliki skala yang sebanding. Pada penelitian ini, standarisasi dilakukan menggunakan *Z-Score* yang dihitung dengan rumus berikut (Puspita, 2021).

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

Di mana  $X$  merupakan nilai asli dari data,  $\mu$  merupakan rata-rata dari data, dan  $\sigma$  adalah standar deviasi. Tahap ini penting untuk dilakukan karena variabel dalam penelitian ini, seperti timbulan sampah tahunan (TS) dan *recycling rate* (RR), memiliki satuan dan skala yang berbeda. Standarisasi memastikan bahwa setiap variabel memiliki bobot yang seimbang dalam algoritma *K-Means*.

### 2.2.2 Pemilihan Jumlah Kluster Optimal dengan Metode *Elbow*

Metode *Elbow* adalah salah satu pendekatan yang digunakan untuk menentukan jumlah kluster ( $k$ ) yang optimal dalam analisis *K-means clustering*. Tujuan utama metode ini adalah menemukan nilai  $k$  yang menghasilkan kluster yang baik, di mana titik-titik dalam satu kluster memiliki homogenitas yang tinggi (*intra-cluster similarity*), dan kluster yang berbeda memiliki perbedaan yang jelas (*inter-cluster dissimilarity*). Pemilihan jumlah kluster ( $k$ ) yang optimal menggunakan metode *Elbow* didasarkan pada nilai *Within-Cluster Sum of Squares* (WCSS). WCSS mengukur total jarak kuadrat antara setiap titik data dengan centroid klasternya. WCSS dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$WCSS = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in C_i} \|x - \mu_i\|^2 \quad (2)$$

Di mana  $k$  adalah jumlah kluster,  $C_i$  adalah kluster ke- $i$ ,  $x$  adalah data dalam kluster  $C_i$ , dan  $\mu_i$  adalah *centroid* kluster  $C_i$  (Hidayati dkk., 2023). Proses menentukan  $k$  optimal dimulai dari  $k = 1$  hingga  $k = n$  dengan  $n$  adalah jumlah data. Hasil dari perhitungan WCSS divisualisasikan dalam grafik *Elbow*, di mana jumlah  $k$  optimal ditandai dengan titik siku atau perubahan drastis pada kurva WCSS (Harani dkk., 2020).

### 2.2.3 Penerapan Algoritma *K-Means*

Setelah jumlah kluster optimal ditentukan, algoritma *k-means clustering* diterapkan. Langkah-langkah utama dalam pengelompokan dengan algoritma ini adalah sebagai berikut (Supriyanto dkk., 2024).

1. Menentukan  $k$  *centroid* secara acak.
2. Menghitung jarak setiap titik data dengan *centroid* menggunakan jarak *Euclidean* sebagai berikut.

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}, i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Di mana  $x$  dan  $y$  adalah dua titik data dan  $n$  adalah jumlah dimensi data.

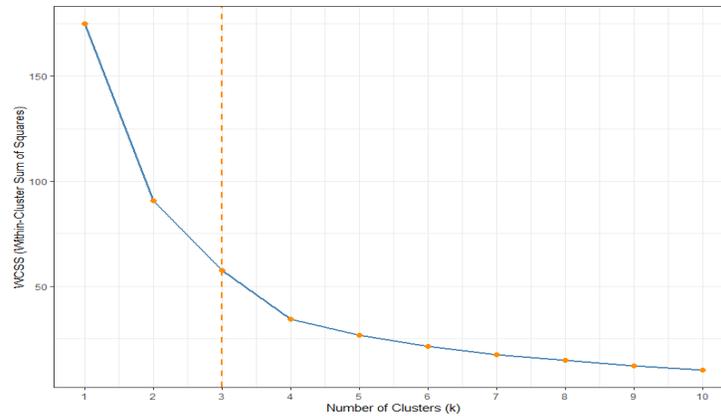
3. Menetapkan setiap titik data ke dalam kluster dengan *centroid* berdasarkan jarak terdekat.
4. Menghitung ulang posisi *centroid* berdasarkan rata-rata objek data dalam setiap kluster.
5. Melakukan iterasi hingga tidak ada lagi perubahan dalam keanggotaan kluster dari iterasi sebelumnya ke iterasi berikutnya. Dengan kata lain, setiap objek data tetap berada dalam kluster yang sama, dan tidak ada perubahan posisi *centroid*.

## 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Tujuan utama dari penelitian ini adalah mengelompokkan kabupaten/kota di Jawa Timur berdasarkan capaian kinerja pengelolaan sampah tahun 2023 menggunakan metode *K-Means*. Hasil analisis pada bab ini terbagi menjadi tiga bagian yang mencakup pemilihan jumlah kluster optimal, hasil *clustering*, serta pembahasan dari karakteristik masing-masing kluster yang terbentuk.

### 3.1 Pemilihan Jumlah Kluster Optimal

Sebelum melakukan analisis kluster, langkah pertama yang diambil adalah menentukan jumlah kluster ( $k$ ) yang optimal. Pemilihan jumlah kluster ( $k$ ) merupakan langkah krusial dalam analisis *clustering* karena langkah ini menentukan seberapa baik data dikelompokkan serta memastikan hasil analisis yang dapat diinterpretasikan dengan baik dan mendukung pengambilan keputusan berbasis data. Untuk itu, dalam penelitian ini digunakan metode *Elbow*, yang merupakan metode populer untuk memilih  $k$  optimal dengan mempertimbangkan *Within-Cluster Sum of Squares* (WCSS). Hasil dari pemilihan  $k$  optimal disajikan pada Gambar 3 berikut.



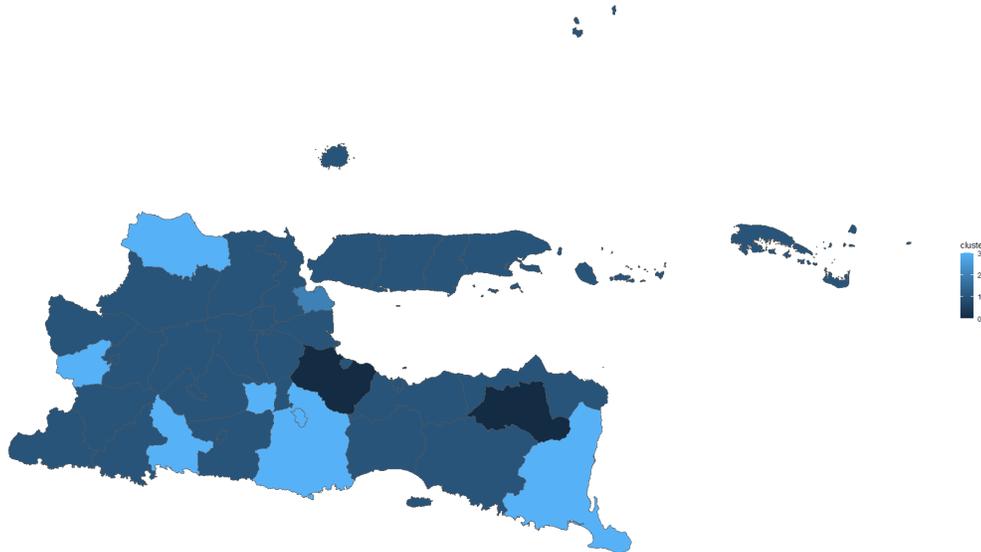
**Gambar 3.** Metode *Elbow* untuk Pemilihan Jumlah Kluster ( $k$ ) Optimal

Metode *Elbow* bekerja dengan menghitung WCSS untuk berbagai nilai  $k$ , kemudian memplot grafik yang menunjukkan hubungan antara  $k$  dan WCSS. Penurunan nilai WCSS akan semakin lambat seiring bertambahnya jumlah kluster. Titik di mana grafik mulai membentuk "siku" atau "*Elbow*" dianggap sebagai jumlah kluster yang optimal (Al Azies dkk., 2024). Pada titik tersebut, penambahan jumlah kluster tidak memberikan pengurangan WCSS yang signifikan, sehingga dianggap sebagai konfigurasi yang efisien. Berdasarkan Metode *Elbow* yang tersaji pada Gambar 2, terlihat penurunan nilai WCSS yang signifikan terjadi hingga  $k = 3$ , yang menunjukkan titik infleksi yang optimal pada  $k = 3$ . Setelah kluster ketiga, penurunan WCSS semakin melandai, yang menunjukkan bahwa menambah jumlah kluster lebih lanjut tidak memberikan peningkatan yang signifikan dalam homogenitas pengelompokan. Artinya, tiga kluster merupakan konfigurasi terbaik untuk pengelompokan kabupaten/kota di Jawa Timur berdasarkan data capaian pengelolaan sampah.

Dengan demikian, jumlah kluster optimal yang dipilih adalah tiga, dan analisis selanjutnya dilakukan berdasarkan pembagian data ke dalam tiga kluster tersebut. Pemilihan ini didukung oleh hasil visualisasi plot WCSS serta relevansi pengelompokan kabupaten/kota di Jawa Timur berdasarkan kinerja pengelolaan sampah tahun 2023. Pemilihan  $k = 3$  memungkinkan pembagian wilayah yang jelas dan relevan untuk analisis lebih lanjut, yaitu kluster dengan kinerja pengelolaan sampah rendah, kluster dengan kinerja sedang, hingga kluster dengan kinerja pengelolaan sampah paling maju.

### 3.2 Hasil Pengelompokan Kabupaten/Kota di Jawa Timur dengan *K-Means*

Hasil analisis *K-Means* menunjukkan bahwa kabupaten/kota di Jawa Timur dapat dikelompokkan ke dalam tiga kluster berdasarkan kinerja pengelolaan sampah tahun 2023. Distribusi kabupaten/kota pada masing-masing kluster divisualisasikan melalui peta tematik pada Gambar 4 berikut.



**Gambar 4.** Distribusi Kabupaten/Kota di Jawa Timur Berdasarkan Capaian Pengolahan Sampah Tahun 2023

\*Catatan: Tidak terdapat data untuk Kabupaten Bondowoso dan Kabupaten Pasuruan dalam publikasi SPSN tahun 2023

Klaster 1 (Kinerja Pengelolaan Sampah Rendah) mencakup daerah-daerah dengan kinerja pengelolaan sampah yang relatif rendah, seperti Kabupaten Pacitan, Kabupaten Ponorogo, Kabupaten Trenggalek, Kabupaten Blitar, Kabupaten Kediri, Kabupaten Lumajang, Kabupaten Jember, Kabupaten Situbondo, Kabupaten Probolinggo, Kabupaten Sidoarjo, Kabupaten Mojokerto, Kabupaten Jombang, Kabupaten Nganjuk, Kabupaten Madiun, Kabupaten Ngawi, Kabupaten Bojonegoro, Kabupaten Lamongan, Kabupaten Gresik, Kabupaten Bangkalan, Kabupaten Sampang, Kabupaten Pamekasan, Kabupaten Sumenep, serta Kota Kediri, Kota Blitar, Kota Probolinggo, Kota Pasuruan, Kota Mojokerto, Kota Madiun, dan Kota Batu, yang memiliki timbulan sampah tahunan yang besar serta rendahnya pengurangan dan daur ulang sampah. Klaster 2 (Kinerja Pengelolaan Sampah Tinggi) hanya terdiri dari Kota Surabaya, yang menunjukkan pengelolaan sampah yang sangat baik dengan pengurangan dan daur ulang yang optimal serta fasilitas pengelolaan sampah yang modern. Sementara itu, Klaster 3 (Kinerja Pengelolaan Sampah Sedang hingga Tinggi) mencakup daerah-daerah yang mulai mengimplementasikan program pengelolaan sampah dengan kinerja di tingkat menengah hingga tinggi, namun masih menghadapi tantangan dalam kapasitas dan koordinasi, seperti Kabupaten Tulungagung, Kabupaten Malang, Kabupaten Banyuwangi, Kabupaten Magetan, Kabupaten Tuban, serta Kota Malang. Rata-rata untuk setiap variabel pengelolaan sampah pada masing-masing klaster ditampilkan pada Tabel 1 berikut.

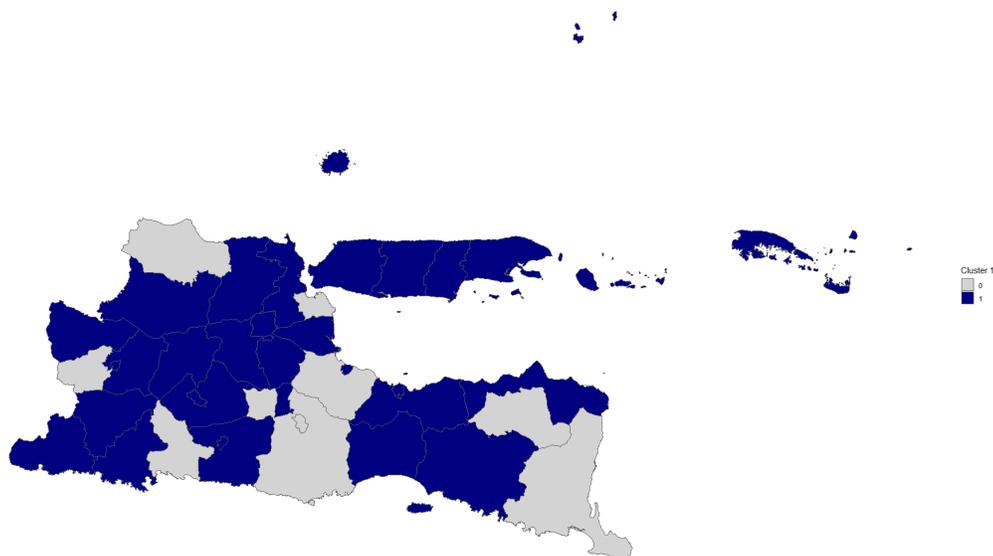
**Tabel 1.** Karakteristik Masing-masing Klaster Berdasarkan Variabel Capaian Pengelolaan Sampah Tahun 2023

Klaster	Timbulan sampah tahunan	Pengurangan Sampah Tahunan	Sampah Terkelola Tahunan	Daur Ulang Sampah Tahunan	Bahan Baku Sampah Tahunan	Recycling Rate
1	138885.90	17955.27	68698.77	13978.40	1973.40	13.02
2	657016.64	37708.32	651056.55	35088.05	42569.95	11.82
3	238752.06	58251.11	154473.84	52623.64	6950.15	28.05

Rata-rata karakteristik tiap klaster yang ditunjukkan pada Tabel 1 mengindikasikan variasi yang signifikan dalam kinerja pengelolaan sampah di masing-masing kabupaten/kota di Jawa Timur. Klaster 1, yang meliputi mayoritas wilayah, memiliki rata-rata tingkat timbulan sampah yang relatif rendah (138.886 ton) dan kapasitas daur ulang yang terbatas (13.978 ton). Klaster 2, yang hanya mencakup Kota Surabaya, menunjukkan dominasi dalam hampir semua aspek pengelolaan, kecuali persentase dari total sampah yang berhasil didaur ulang (11.82% *recycling rate*). Sementara itu, Klaster 3 berada di antara kedua klaster lainnya dengan rata-rata timbulan sampah 238.752 ton dan tingkat daur ulang paling tinggi (28.05%). Perbedaan ini mencerminkan kapasitas infrastruktur dan komitmen kebijakan yang tidak merata di seluruh wilayah.

### 3.3 Karakteristik Masing-masing Klaster

Masing-masing klaster yang terbentuk memiliki karakteristik berbeda yang mencerminkan tingkat kemampuan dan efektivitas pengelolaan sampah. Distribusi kabupaten/kota yang tergabung dalam klaster pertama divisualisasikan dalam peta tematik pada Gambar 5 berikut.



**Gambar 5.** Distribusi Kabupaten/Kota pada Klaster 1

Klaster satu mencakup mayoritas kabupaten/kota di Jawa Timur, yaitu Kabupaten Pacitan, Kabupaten Ponorogo, Kabupaten Trenggalek, Kabupaten Blitar, Kabupaten Kediri, Kabupaten Lumajang, Kabupaten Jember, Kabupaten Situbondo, Kabupaten Probolinggo, Kabupaten

Sidoarjo, Kabupaten Mojokerto, Kabupaten Jombang, Kabupaten Nganjuk, Kabupaten Madiun, Kabupaten Ngawi, Kabupaten Bojonegoro, Kabupaten Lamongan, Kabupaten Gresik, Kabupaten Bangkalan, Kabupaten Sampang, Kabupaten Pamekasan, Kabupaten Sumenep, serta Kota Kediri, Kota Blitar, Kota Probolinggo, Kota Pasuruan, Kota Mojokerto, Kota Madiun, dan Kota Batu. Wilayah dalam klaster ini memiliki rata-rata timbunan sampah tahunan sebesar 138886 ton, dengan rata-rata tingkat pengurangan sampah 17955 ton. Jumlah sampah yang dikelola mencapai 68698 ton, sedangkan tingkat daur ulang relatif rendah, yakni rata-rata hanya 13978 ton per tahun. Dengan *recycling rate* sebesar 13.02%, klaster ini menunjukkan bahwa mayoritas sampah belum diolah secara maksimal menjadi bahan daur ulang atau bahan baku.

Hasil ini mencerminkan tantangan signifikan yang dihadapi oleh kabupaten/kota dalam klaster ini. Rata-rata timbunan sampah tahunan yang cukup tinggi dibandingkan dengan kapasitas pengelolaannya menunjukkan kurangnya infrastruktur yang memadai. Keberhasilan sistem pengelolaan sampah sangat bergantung pada ketersediaan fasilitas pengolahan yang cukup, seperti tempat pembuangan akhir yang memenuhi standar dan fasilitas daur ulang yang efisien (Yasin & Pratiwi, 2024). Selain itu, tingkat pengurangan sampah yang rendah di klaster ini menandakan perlunya program edukasi dan kesadaran masyarakat. Hal ini sejalan dengan penelitian Hambari dkk. (2024), yang menyatakan bahwa partisipasi masyarakat merupakan elemen kunci dalam mendukung keberhasilan pengelolaan sampah, terutama pada tahap pemilahan di sumber.

*Recycling rate* sebesar 13.02% juga menunjukkan bahwa mayoritas sampah belum dimanfaatkan secara optimal sebagai bahan baku daur ulang. Sementara daur ulang sampah, sebagaimana diuraikan oleh Dewi dkk. (2022), dapat menjadi solusi untuk mengatasi permasalahan ini dengan meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya melalui proses daur ulang. Namun, untuk mengimplementasikan pendekatan ini, diperlukan peningkatan kapasitas teknologi, seperti penerapan sistem pemilahan sampah otomatis dan pengolahan berbasis teknologi tinggi, yang masih terbatas di klaster ini.

Untuk meningkatkan kinerja pengelolaan sampah pada kabupaten/kota yang ada dalam klaster satu, intervensi yang direkomendasikan meliputi pembangunan infrastruktur dasar pengelolaan sampah, termasuk TPA yang modern dan fasilitas pengolahan sampah terpadu. Selanjutnya, perlu adanya penyuluhan dan kampanye publik untuk meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya pemilahan sampah dan partisipasi aktif dalam program daur ulang. Kemudian, perlu adanya penerapan kebijakan berbasis insentif, seperti program bank sampah atau skema pengumpulan sampah berbasis komunitas. Dengan langkah-langkah tersebut, wilayah-wilayah dalam klaster ini dapat meningkatkan efektivitas pengelolaan sampah, sekaligus berkontribusi terhadap tujuan pembangunan berkelanjutan yang lebih luas.



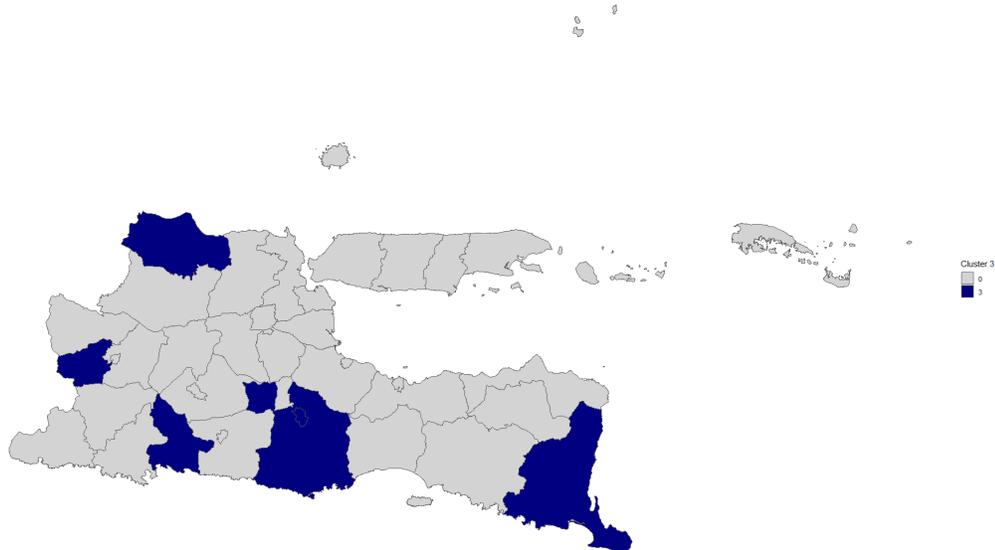
**Gambar 6.** Distribusi Kabupaten/Kota pada Klaster 2

Klaster 2 yang tersaji pada Gambar 6 hanya terdiri dari Kota Surabaya, yang merupakan kota dengan pengelolaan sampah terbaik di Jawa Timur. Rata-rata timbulan sampah tahunan di kota ini mencapai 657017 ton, dengan tingkat pengelolaan sampah yang hampir optimal sebesar 651057 ton per tahun. Meskipun *recycling rate* di klaster ini sebesar 11.82%, hal ini mencerminkan fokus pada pengelolaan sampah yang lebih terintegrasi melalui teknologi modern dan sistem daur ulang berbasis komunitas. Kota Surabaya menunjukkan keunggulan yang signifikan dalam pengelolaan sampah dibandingkan wilayah lain di Jawa Timur. Rata-rata tingkat pengelolaan sampah yang mencapai 99% dari total timbulan sampah tahunan mencerminkan efisiensi tinggi dalam sistem pengelolaan yang diterapkan. Menurut studi oleh Pandana & Nuryananda (2024), Surabaya yang mengadopsi teknologi modern dalam pengelolaan sampah, seperti pengolahan sampah menjadi energi, sistem 3R (*reduce, reuse, recycle*), dan metode *Takakura* telah memberikan manfaat dari aspek efisiensi waktu dan pengurangan sampah secara terukur.

*Recycling rate* sebesar 11.82% meskipun terbilang rendah dibandingkan klaster lain, dapat dijelaskan oleh fokus Surabaya yang lebih terarah pada pengolahan sampah organik melalui program pengelolaan terpadu, seperti bank sampah digital. Program ini memungkinkan masyarakat untuk menyetorkan sampah yang sudah dipilah, yang kemudian dikelola secara efisien oleh pihak berwenang atau komunitas lokal. Dukungan kebijakan yang kuat dari pemerintah daerah, termasuk kebijakan pengelolaan berbasis insentif dan pengembangan infrastruktur modern, menjadi salah satu faktor utama keberhasilan pengelolaan sampah di Surabaya. Kota ini juga menjadi contoh penerapan konsep *Green City* dalam pengelolaan sampah, sebagaimana didukung oleh temuan Pandana & Nuryananda (2024), yang menunjukkan bahwa integrasi teknologi digital dapat mempercepat pencapaian target pengelolaan sampah yang berkelanjutan.

Surabaya dapat dijadikan model bagi kabupaten/kota lain di Jawa Timur untuk menerapkan sistem pengelolaan sampah berbasis teknologi dan komunitas yang efisien. Namun, perlu adanya peningkatan pada *recycling rate* di kota ini. Rekomendasi untuk klaster ini mencakup peningkatan

fokus pada daur ulang sampah anorganik guna meningkatkan tingkat daur ulang, pengembangan program edukasi masyarakat untuk mendorong pemilahan sampah di sumber, serta perluasan implementasi teknologi digital agar lebih banyak komunitas terlibat dalam pengelolaan sampah.



**Gambar 7.** Distribusi Kabupaten/Kota pada Kluster 3

Kluster 3 yang terlihat pada Gambar 7 terdiri dari Kabupaten Tulungagung, Kabupaten Malang, Kabupaten Banyuwangi, Kabupaten Magetan, Kabupaten Tuban, serta Kota Malang. Wilayah-wilayah tersebut menunjukkan kinerja pengelolaan sampah yang sedang hingga tinggi, dengan rata-rata timbulan sampah tahunan sebesar 238752 ton. *Recycling rate* pada kluster ini adalah yang tertinggi di antara ketiga kluster, yakni 28.05%. Hal ini mencerminkan adanya upaya yang signifikan dalam pengurangan dan daur ulang sampah.

Kabupaten/kota dalam kluster ini menunjukkan tingkat pengelolaan sampah yang relatif baik dibandingkan kluster 1, namun masih memiliki ruang untuk peningkatan. *Recycling rate* sebesar 28.05% menunjukkan bahwa wilayah ini telah berhasil mengoptimalkan sebagian besar sampah untuk didaur ulang. Hal ini mencerminkan adanya kesadaran yang lebih baik di tingkat komunitas dan keterlibatan sektor swasta dalam mendukung inisiatif pengelolaan sampah. Menurut Muizuddin (2024), kemitraan antara komunitas dan sektor swasta dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah melalui pembagian peran yang jelas. Namun, meskipun tingkat daur ulang cukup tinggi, total sampah yang dikelola di kluster ini masih berada di bawah kapasitas optimal. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh keterbatasan infrastruktur atau teknologi yang tersedia. Sebagaimana diuraikan oleh Yasin & Pratiwi (2024), keberhasilan sistem pengelolaan sampah tidak hanya bergantung pada inisiatif lokal, tetapi juga dukungan infrastruktur yang memadai dan kebijakan yang mendukung. Untuk memaksimalkan potensi di kluster ini, diperlukan pengembangan infrastruktur pengelolaan sampah yang lebih baik, termasuk fasilitas daur ulang dan TPA modern. Selain itu, perluasan program pendidikan publik terkait pentingnya daur ulang dan pengurangan sampah di tingkat rumah tangga juga menjadi langkah yang krusial.

#### 4 KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil analisis *K-Means* menunjukkan bahwa pengelolaan sampah di kabupaten/kota di Jawa Timur dapat dikelompokkan menjadi tiga klaster dengan karakteristik yang berbeda. Klaster 1 terdiri dari wilayah dengan kapasitas pengelolaan sampah yang rendah, ditandai oleh keterbatasan infrastruktur dan rendahnya tingkat partisipasi masyarakat dalam pengurangan dan daur ulang sampah. Klaster 2, yang hanya mencakup Kota Surabaya, menunjukkan kinerja pengelolaan sampah yang hampir optimal, didukung oleh infrastruktur modern, kebijakan pemerintah yang kuat, dan penerapan teknologi berbasis komunitas. Klaster 3 mencakup wilayah dengan kinerja pengelolaan sampah sedang hingga tinggi, yang menonjol dalam hal *recycling rate* tetapi masih memerlukan pengembangan infrastruktur dan teknologi untuk mencapai potensi maksimalnya. Pengelompokan ini memberikan wawasan berharga bagi pemerintah daerah untuk merancang intervensi berbasis data yang sesuai dengan kebutuhan spesifik masing-masing klaster, sehingga dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi pengelolaan sampah di seluruh Jawa Timur.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam penelitian ini. Khususnya kepada Program Studi Statistika Universitas Terbuka, Badan Pusat Statistik Kabupaten Gresik, Program Studi Statistika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas PGRI Adi Buana Surabaya, serta Unit Pengembangan *Smart Eco Campus* Institut Teknologi Sepuluh Nopember, yang telah memberikan dukungan yang sangat berharga bagi penulis. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Dinas Lingkungan Hidup (DLH) yang telah menyediakan data dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN). Penulis menghargai bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak yang turut memberikan kontribusi dalam penyelesaian penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abdussamad, J., Tui, F. P., Mohamad, F., & Dunggio, S. (2022). IMPLEMENTASI KEBIJAKAN PENGELOLAAN SAMPAH MELALUI PROGRAM BANK SAMPAH DI DINAS LINGKUNGAN HIDUP KABUPATEN BONE BOLANGO. *Publik: Jurnal Manajemen Sumber Daya Manusia, Administrasi dan Pelayanan Publik*, 9(4), 850–868. <https://doi.org/10.37606/publik.v9i4.504>
- Al Azies, H., Rohmatullah, F. A., Rochmanto, H. B., & Isnarwaty, D. P. (2024). TOWARDS OPTIMIZATION: A DATA-DRIVEN APPROACH USING K-MEDOIDS CLUSTERING ALGORITHM FOR REGIONAL EDUCATION QUALITY ASSESSMENT. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3). <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3.4862>
- Azizah, K. N., Pawitra, A. S., Diyanah, K. C., & Istighfarrani, G. (2024). Pemanfaatan Timbulan Sampah Dalam Upaya Pengurangan Pada Fasilitas Bank Sampah di Jawa Timur Tahun 2022. *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, 4(3), 9353–9365. <https://doi.org/https://doi.org/10.31004/innovative.v4i3.11549>
- Dewi, S. P., Nurini, N., Dewi, D. I. K., & Wungo, G. L. (2022). Pengelolaan Sampah Berbasis Masyarakat sebagai Upaya Mewujudkan Kota Layak Huni di Kelurahan Bulusan Tembalang Semarang. *Warta LPM*, 25(2), 235–249. <https://doi.org/10.23917/warta.v25i2.648>

- Hambari, J. K., Sembel, A. S., & Rengkung, M. M. (2024). Tingkat Kepuasan Masyarakat Terhadap Kualitas Sistem Pengelolaan Persampahan di Kota Manado. *Sabua: Jurnal Lingkungan Binaan dan Arsitektur*, 13(1), 1–10. <https://doi.org/10.35793/sabua.v13i1.55983>
- Harani, N. H., Prianto, C., & Nugraha, F. A. (2020). Segmentasi Pelanggan Produk Digital Service Indihome Menggunakan Algoritma K-Means Berbasis Python. *Jurnal Manajemen Informatika (JAMIKA)*, 10(2), 133–146. <https://doi.org/10.34010/jamika.v10i2.2683>
- Heatubun, E. L., Wattimena, A. Z., & Batkunde, H. (2024). ANALISIS KLASSTER DAERAH SAMPAH MENGGUNAKAN METODE SOM, SINGLE LINKAGE DAN AVERAGE LINKAGE. *PARAMETER: Jurnal Matematika, Statistika dan Terapannya*, 3(01), 33–48. <https://doi.org/10.30598/parameterv3i01pp33-48>
- Hidayati, S. C., Bagus, P., Raharja, P. B. G. P., Wardhiana, I. N. G. A. M., & Klemm, S. (2023). Optimizing Segmentation and Purchase Forecasting in Credit Card Transactions: A PSO-enhanced K-means and ANN Approach. *Journal Information Engineering and Educational Technology*, 07, 59–65. <https://www.kaggle.com/datasets/arjunbhasin2013/c>
- Janah, F. M. (2021). Kajian Persepsi Masyarakat tentang Pengelolaan Sampah di Hilir Daerah Aliran Sungai Brantas. *Environmental Pollution Journal*, 1(2), 110–118. <https://doi.org/10.58954/epj.v1i2.13>
- Muizu, W. O. Z., Maharani, A. Y., Subana, F. A., Putri, P. A., Sylandra, R., & Triski, D. S. (2024). Pola Kemitraan dan Jejaring Usaha dalam Unit Usaha Pengelolaan Sampah. *Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat MEMBANGUN NEGERI*, 8(2), 180–187. <https://doi.org/10.35326/pkm.v8i2.6228>
- Pandana, Z. A., & Nuryananda, P. F. (2024). Kerjasama Sister City Antara Pemerintah Kota Surabaya dan Kota Kitakyushu Sebagai Upaya Pengelolaan Sampah Tahun 2012-2023. *Global Focus*, 4(1), 22–43. <https://globalfocus.ub.ac.id/index.php/globalfocus/article/view/148>
- Puspita, R. N. (2021). ANALISIS K-MEANS CLUSTER PADA KABUPATEN/KOTA DI PROVINSI BANTEN BERDASARKAN INDIKATOR INDEKS PEMBANGUNAN MANUSIA. *Lebesgue: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Matematika dan Statistika*, 2(3). <https://doi.org/10.46306/lb.v2i3>
- Saraswati, P. P., Suyeno, & Putra, L. R. (2023). IMPLEMENTASI KEBIJAKAN PENGELOLAAN SAMPAH MELALUI PERATURAN DAERAH NO 07 TAHUN 2021 TENTANG PENGELOLAAN SAMPAH DI KOTA MALANG (Studi Pada Dinas Lingkungan Hidup Kota Malang). *Jurnal Respon Publik*, 17(12), 55–65.
- Situmeang, T. L., Simanjuntak, L., Daulay, R. F., & Ivanna, J. (2023). Implementasi Kebijakan Pemerintah Daerah Terhadap Penanggulangan Sampah (Studi Kasus Jln Rs Haji Percut Sei Tuan, Desa Medan Estate). *Jurnal Multidisiplin Dehasen (MUDE)*, 2(3), 321–328. <https://doi.org/10.37676/mude.v2i3.4024>
- Supriyanto, H., Hafidz, M. Al, Puspitaningrum, A. C., Firmansyah, R. A. P., & Zuhdi, R. (2024). Klasterisasi Data Obat Farmasi Berdasarkan Jumlah Persediaan Dengan Menggunakan Metode K-Means. *Teknika*, 13(3), 361–369. <https://doi.org/10.34148/teknika.v13i3.987>

- Thomas, S. T., & Harode, U. (2015). A Comparative Study on KMeans and Hierarchical Clustering. *Int. J. Elect. Comput. Syst*, 4(2), 5–11.
- Utami, A. P., Pane, N. N. A., & Hasibuan, A. (2023). ANALISIS DAMPAK LIMBAH/SAMPAH RUMAH TANGGA TERHADAP PENCEMARAN LINGKUNGAN HIDUP. *Cross-border*, 6(2), 1107–1112.
- Yasin, A., & Pratiwi, D. I. (2024). PEMBERDAYAAN MASYARAKAT DALAM PENGELOLAAN SAMPAH BERKELANJUTAN: STUDI KASUS DI KAMPUNG SALO KENDARI. *Journal of Community Service*, 6(1), 1–8. <https://doi.org/10.56670/jcs.v6i1.186>