

SISTEM PEMETAAN DAN KLASTERISASI TPS DI KOTA MALANG DENGAN ALGORITMA K-MEANS++

Ardhea Dwi Cahyani¹⁾, Ahmad Faisol²⁾, Deddy Rudhistiar³⁾

^{1,2,3)} Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang
JL. Raya Karanglo KM. 2, Tasikmadu, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65153
Email: ¹2118114@scholar.itn.ac.id, ²mzfais@lecturer.itn.ac.id, ³rudhistiar@lecturer.itn.ac.id

Abstract

Waste is one of the important problems that continues to increase along with population growth. Malang City as a densely populated area and a center of education faces challenges in waste management. The Malang City Environmental Service (DLH) only has 45 garbage trucks serving 64 Temporary Waste Shelters (TPS). This study aims to create a TPS mapping and clustering system using the K-Means++ algorithm with three parameters, namely, waste volume, distance to (Final Processing Site) TPA, and average distance to see the proximity between TPS. K-Means++ is a solution to the weakness of K-Means which depends on random centroid selection. Based on the results of blackbox testing, it shows that the system can run according to the scenario and the application function operates well. Testing using the Silhouette score produces a value of 0.31 which indicates that clustering is quite good although there is still potential to increase separation between clusters. The mapping produced based on the clustering results has also been well represented and displays detailed information related to data for each TPS according to the location of its coordinate points.

Keywords: Waste Management, Clustering, K-Means++, Mapping, Silhouette Score

Abstrak

Sampah merupakan salah satu permasalahan penting yang terus meningkat seiring bertambahnya penduduk. Kota Malang sebagai wilayah yang padat penduduk dan menjadi pusat pendidikan menghadapi tantangan dalam pengelolaan sampah. Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Malang hanya memiliki 45 truk pengangkut sampah yang melayani 64 Tempat Penampungan Sampah Sementara (TPS). Penelitian ini bertujuan untuk membuat sistem pemetaan dan klasterisasi TPS menggunakan algoritma K-Means++ dengan tiga parameter yaitu, volume sampah, jarak ke (Tempat Pemrosesan Akhir) TPA, dan rata-rata jarak untuk melihat kedekatan antar TPS. K-Means++ menjadi solusi dari kelemahan K-Means yang memiliki ketergantungan pada pemilihan centroid secara acak. Berdasarkan hasil pengujian blackbox menunjukkan bahwa sistem dapat berjalan sesuai skenario dan fungsi aplikasi beroperasi dengan baik. Pengujian menggunakan Silhouette score menghasilkan nilai 0,31 yang menunjukkan bahwa clustering cukup baik meskipun masih ada potensi untuk meningkatkan pemisahan antar cluster. Pemetaan yang dihasilkan berdasarkan hasil clustering juga sudah direpresentasikan dengan baik serta menampilkan informasi detail terkait data untuk masing-masing TPS sesuai dengan letak titik koordinatnya.

Kata Kunci: Pengelolaan Sampah, Clustering, K-Means++, Pemetaan, Silhouette Score

1. Pendahuluan

Sampah merupakan salah satu permasalahan penting di Indonesia yang terus mengalami peningkatan seiring bertambahnya penduduk. Berdasarkan data dari SIPSN (Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional) pada tahun 2023, sebanyak 341 kabupaten/kota di Indonesia menghasilkan sekitar 37,8 juta ton sampah setiap harinya. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 mengatakan bahwa pengelolaan sampah dapat berupa penyediaan TPS sebagai tempat penghubung antara kegiatan pengumpulan sampah dengan pengangkutan sampah. TPS juga berfungsi sebagai *transfer station* atau stasiun antara yang dapat meningkatkan kinerja sistem dan mengurangi biaya penanganan sampah jika direncanakan dengan tepat [1].

Kota Malang sebagai wilayah yang padat penduduk dan menjadi pusat pendidikan menghadapi tantangan dalam pengelolaan sampah. DLH (Dinas Lingkungan Hidup) Kota Malang hanya memiliki 45 truk pengangkut sampah yang melayani 64 TPS, sehingga memerlukan pengelompokan TPS yang optimal. Akan tetapi, pengelompokan yang dilakukan saat ini hanya didasarkan pada volume sampah, tanpa mempertimbangkan faktor lain seperti jarak TPS ke TPA yang dapat mengakibatkan rute pengangkutan sampah yang tidak efisien.



Metode clustering seperti *K-Medoids*, *K-Means*, dan DBSCAN telah banyak digunakan dalam penelitian pengelompokan [2]. *K-Medoids* unggul dalam mengurangi *noise*, tetapi sulit dalam komputasi [3]. DBSCAN efektif untuk data dengan kepadatan tinggi, namun validitas *cluster*-nya lemah [4]. *K-Means* lebih sederhana tetapi memiliki kelemahan pada penentuan *centroid* awal, yang dapat diatasi dengan *K-Means++* [5].

Penelitian ini mengusulkan sistem pemetaan dan klasterisasi TPS menggunakan algoritma *K-Means++* dengan parameter volume sampah, jarak TPS ke TPA, dan rata-rata jarak antar TPS. Hasil *clustering* divisualisasikan menggunakan sistem informasi geografis untuk mempermudah pemahaman sebaran TPS. Sistem ini diharapkan dapat membantu DLH Kota Malang dalam menentukan prioritas TPS dan mendukung strategi pengelolaan sampah yang lebih efisien.

Pada penelitian yang berjudul “Penggunaan Metode K-Means dan K-Means++ Sebagai Clustering Data Covid-19 di Pulau Jawa” bertujuan untuk menghasilkan *cluster* data penyebaran Covid-19 di setiap kabupaten di Pulau Jawa sehingga menghasilkan klaster zona. Hasil pengujian menggunakan *Silhouette Coefficient* menunjukkan bahwa *K-Means++* lebih unggul dalam memberikan informasi sejauh mana penyebaran virus Covid-19 [6].

2. Metode

2.1. Data Mining

Data Mining merupakan ilmu komputer yang telah banyak digunakan dalam berbagai penelitian. *Data mining* menggunakan algoritma seperti *K-Medoids*, *K-Means*, DBSCAN, dan lainnya. Dalam *data mining* ada beberapa *pattern recognition*, yang mengacu pada kemampuan pengolahan data untuk mengenali pola tersembunyi pada banyak. Selain itu juga ada istilah *knowledge discovery* yang mengacu pada proses penemuan informasi atau pengetahuan yang tersembunyi di dalam data. Nyatanya data mining berguna untuk mendapatkan wawasan yang mendalam dari data yang dianalisis [7].

2.2. Algoritma K-Means++

K-Means adalah algoritma yang digunakan untuk clustering dengan melakukan iterasi. Algoritma *K-Means* diawali dengan memilih nilai *K* secara acak, *K* adalah jumlah dari *cluster* yang ingin dibuat dan nilainya ditentukan dengan acak yang kemudian nilainya menjadi pusat dari *cluster* atau disebut *centroid*. Selanjutnya adalah menghitung jarak untuk tiap data pada masing-masing *centroid* sampai ditemukan jarak yang terdekat dengan *centroid* menggunakan rumus *Euclidean Distance*. Semua data dikelompokkan berdasarkan kedekatan jarak dengan *centroid*. Perhitungan tersebut diulang sampai nilai *centroid* tidak mengalami perubahan [8].

Sedangkan *K-Means++* merupakan pengembangan dari algoritma *K-Means*. Perbedaannya ialah pada penentuan nilai awal. *K-Means++* digunakan untuk meminimalisir dampak buruk dari algoritma *K-Means* yang bergantung pada nilai awal [9].

Adapun algoritma *K-Means++* adalah sebagai berikut :

1. Menentukan jumlah *cluster*.
2. Memilih satu titik data secara acak sebagai pusat *cluster* pertama.
3. Menghitung jarak semua data dengan *centroid* 1 menggunakan persamaan berikut [6].

$$D(x, y) = \sqrt{\sum_{i=0}^n (x_i - y_i)^2} \quad (1)$$

Penjelasan :

$D(x, y)$ = Nilai euclidean distance antara titik x dan y

x = Titik data objek

y = Titik data *centroid*

i = Jumlah atribut data

n = Banyaknya observasi

4. Menentukan *centroid* berikutnya dengan memilih nilai maksimum dari jarak terdekat pada *centroid* sebelumnya dengan persamaan berikut [6].

$$K = \frac{D(x)^2}{\sum_{x \in X} D(x)^2} \quad (2)$$

Penjelasan :

$D(x)^2$ = Kuadrat jarak terdekat dari titik x pusat *cluster* terdekat

$\sum_{x \in X} D(x)^2$ = Total dari semua kuadrat jarak terdekat untuk setiap titik x

5. Setelah semua nilai *centroid* ditentukan, lanjutkan proses iterasi dengan algoritma *K-Means*. Hitung kembali jarak setiap data ke-sebanyak jumlah *centroid* dengan persamaan (1).

6. Data dikelompokkan berdasarkan jarak terdekat antara centroid dengan data.
7. Memperbarui nilai *centroid*. Nilai *centroid* baru diperoleh dari rata-rata *cluster* yang bersangkutan dengan menggunakan persamaan berikut [5]

$$C_k = \left(\frac{1}{n_k}\right) \sum d_i \quad (3)$$

Penjelasan :

C_k = Centroid cluster k

n_k = Jumlah data dalam cluster k

d_i = Jumlah dari nilai jarak yang masuk ke dalam masing-masing cluster

Ulangi langkah nomor 5-7, apabila posisi *centroid* baru tidak sama. Namun jika posisi *centroid* sudah sama maka proses iterasi telah selesai.

2.3. Normalisasi Data

$$X^i = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (4)$$

X^i = Data i atribut yang dinormalisasikan

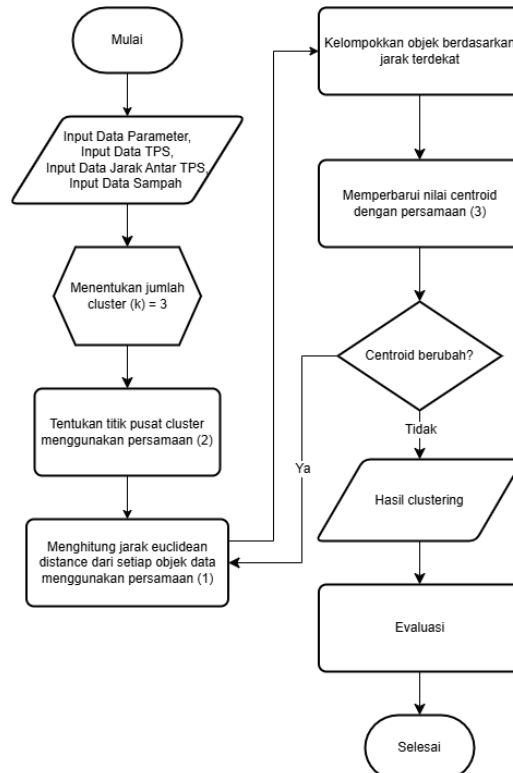
X_{min} = Nilai i atribut terkecil

X_{max} = Nilai atribut terbesar

2.4. Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah sistem yang mengumpulkan, memeriksa, memandu dan menganalisis data tentang permukaan bumi menggunakan teknik tertentu. Komponen SIG terdiri dari 5 bagian: orang, prosedur, data, software, dan hardware SIG. Orang adalah yang mengoperasikan, menjalankan, mengembangkan, dan mendapat manfaat dari sistem. Metode yang digunakan untuk mengubah data menjadi informasi dikenal sebagai prosedur. Data grafis dan data atribut merupakan dua kategori data yang tersedia dalam SIG. *Software* SIG ialah program dari komputer yang memungkinkan pengelolaan, pemrosesan, penyimpanan, analisis, dan penayangan data spasial. *Hardware* SIG ialah perangkat keras atau komputer yang memungkinkan operasi dari perangkat [10].

2.5. Flowchart Algoritma K-Means++

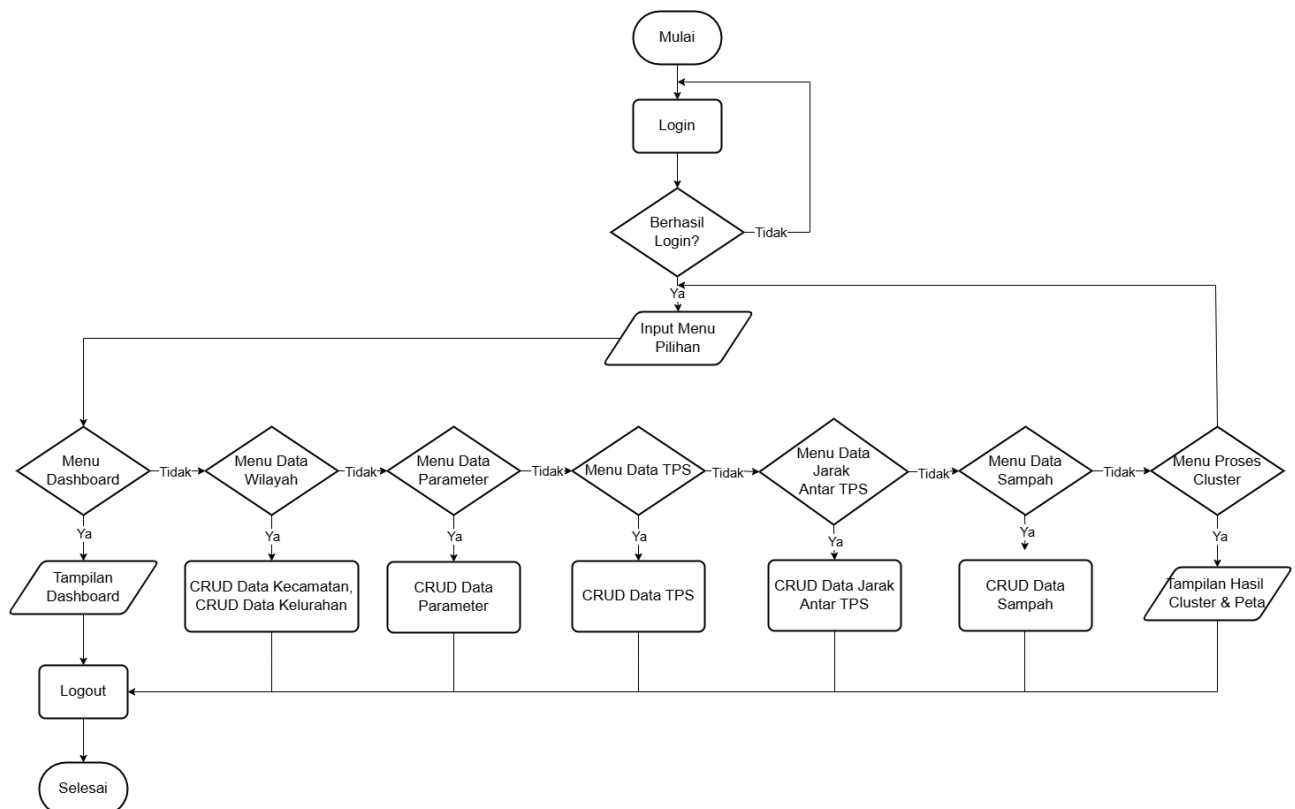


Gambar 1. Flowchart Algoritma K-Means++

Alur dari algoritma *K-Means++* untuk klasterisasi TPS dimulai dengan memasukkan data parameter, data TPS, data jarak antar TPS, dan data sampah. Kemudian menentukan jumlah *cluster* (k) = 3. Setelah itu, titik pusat *cluster* (*centroid*) awal dihitung dengan memilih titik yang optimal. *Euclidean distance* digunakan untuk mengukur jarak setiap objek data dari *centroid*. Objek-objek ini kemudian dikelompokkan berdasarkan jarak terdekat. *Centroid* diperbarui secara *iterative* hingga tidak ada perubahan. Setelah hasil klustering stabil, evaluasi dilakukan untuk menilai kualitas klustering sebelum memberikan hasil akhir yang dapat digunakan untuk pemetaan. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

2.6. Flowchart Sistem

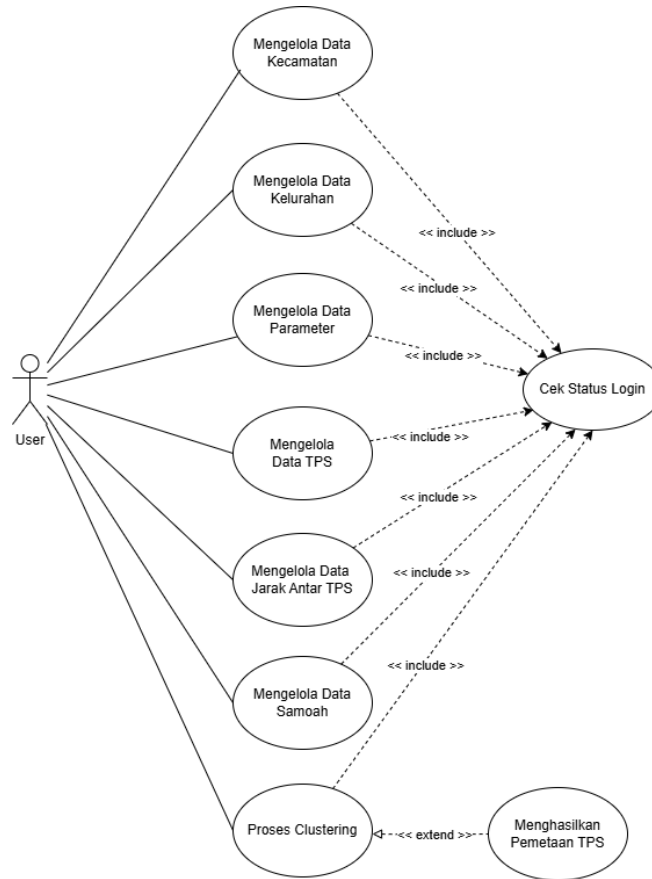
Alur dari sistem pemetaan dan klasterisasi dimulai dengan proses *login*, jika berhasil *login* maka *user* akan diberikan beberapa menu diantaranya *dashboard*, data wilayah yang terdiri dari data kecamatan dan kelurahan, data parameter, data TPS, data jarak antar TPS, data sampah, dan juga proses *clustering* untuk menampilkan hasil pengelompokan TPS berdasarkan parameter yang ditentukan dan menampilkan pemetaan berdasarkan hasil *clustering*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Sistem

2.7. Use Case Diagram

Pada penelitian ini, *use case* diagram digambarkan pada Gambar 1 yang dapat diakses oleh satu pengguna. Aktor user berinteraksi dengan sistem melalui beberapa fitur, seperti mengelola data kecamatan, kelurahan, parameter, TPS, data jarak antar TPS, data sampah, dan perhitungan. Fungsi utama sistem adalah menghasilkan pemetaan TPS berdasarkan perhitungan *clustering*. Sebelum mengakses fitur-fitur tersebut, sistem melakukan cek status *login* untuk memastikan *user* terautentikasi. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Use Case Diagram

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Datasets

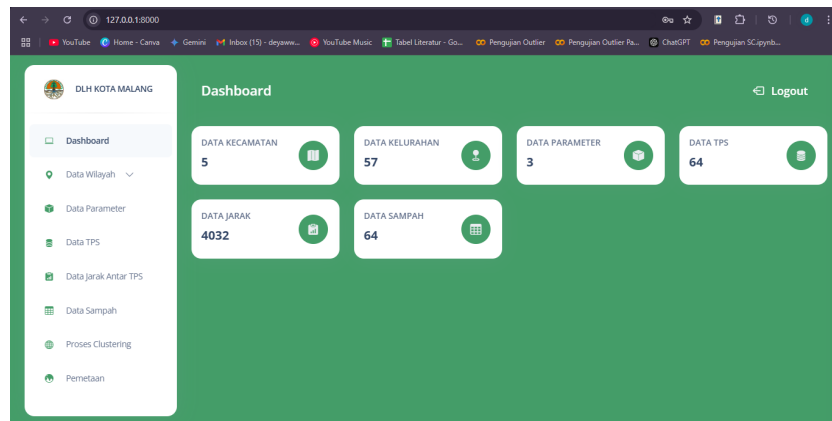
Dataset yang menjadi sumber dari penelitian ini adalah data pada tahun 2023. Pengolahan *dataset* TPS sebanyak 64 TPS yang didasarkan pada 3 parameter yang terdiri dari, volume sampah, jarak ke TPA dan rata-rata jarak untuk melihat kedekatan antar TPS. Data terlebih dahulu dinormalisasikan dengan tujuan agar skala nilai antar parameter tidak terpaut jarak yang jauh. Pada Tabel 1 menunjukkan nilai dari dataset yang sudah dinormalisasi.

Tabel 1. Dataset TPS dan Nilai Parameter

No	TPS	VOLUME SAMPAH (TON)	JARAK (KM)	RATA-RATA JARAK (KM)
1	TPS RERUM PIVERSIDE	0.09	0.84	0.33
2	TPS & PKD POLOWIJEN	0.50	0.84	0.33
3	TPS & PKD TELUK PACITAN	0.45	0.92	0.52
4	TPS TERMINAL ARJOSARI	0.05	1.00	0.18
5	TPS ARAYA	0.38	0.93	0.54
6	RS.PERSADA HOSPITAL ARAYA	0.05	0.81	0.32
7	TPS & PKD PANDANWANGI	0.68	0.77	0.04
8	TPS GREDEL	0.36	0.69	0.19
9	TPS & PKD STADION BLIMBING	0.32	0.74	0.15
10	TPS & PKD ASAHAN (PENJARA)	1.00	0.60	0.03
...	...	...	...	...
64	TPS & PKD TERMINAL MULYOREJO	0.87	0.00	0.58

3.2. Implementasi Sistem

Pada Gambar 4 merupakan tampilan dari halaman *dashboard* yang berisi tentang apa saja yang dapat dikelola oleh *user*, yaitu data kecamatan, data kelurahan, data parameter, data TPS, data jarak antar TPS, dan data sampah.



Gambar 4. Halaman *Dashboard*

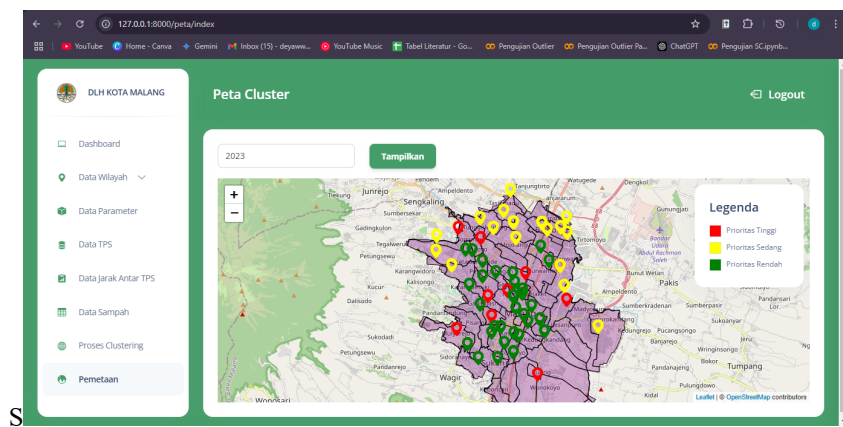
Pada Gambar 5 merupakan tampilan dari halaman data sampah. Data TPS yang ditampilkan didasarkan pada tahun. Jadi nilai untuk parameter volume sampah yang dapat berubah-ubah setiap tahun dibedakan pada pendataan sampah.

No	Nama TPS	Tahun	Volume Sampah (Ton)	Jarak Ke TPA (Km)	Rata-Rata Jarak (Km)	Action
1	TPS Rerum Piverside	2023	931.47	13.90	6.99	
2	TPS dan Pkd Polowijen	2023	4492.97	13.90	6.98	
3	TPS dan Pkd Teluk Pacitan	2023	4010.79	15.00	8.17	
4	TPS Terminal Arjosari	2023	613.67	16.00	6.04	
5	TPS Araya	2023	3408.08	15.10	8.26	

Gambar 5. Halaman Data Sampah

No	Nama TPS	Volume Sampah (Ton)	Jarak Ke TPA (Km)	Rata-Rata Jarak (Km)	Cluster	Prioritas
1	TPS dan Pkd Pandanwangi	6027.15	13.00	5.15	1	Tinggi
2	TPS dan Pkd Asahan (Penjara)	8766.76	10.70	5.10	1	Tinggi
3	TPS dan Pkd Jatimulyo (Menjing)	6695.62	11.00	6.73	1	Tinggi
4	TPS dan Pkd Tlogomas	6629.86	11.70	8.12	1	Tinggi

Gambar 6. Halaman Proses *Clustering*



Gambar 7. Halaman Pemetaan

Bagian selanjutnya pada Gambar 6 yaitu proses perhitungan clustering menggunakan algoritma *K-Means++* dan kemudian menampilkan hasil persebaran TPS dengan pemetaan berdasarkan *clustering* yang didapatkan. Gambar 6 menampilkan daftar-daftar TPS yang masuk ke beberapa *cluster* yaitu, *cluster* 1 yang bernilai prioritas tinggi, *cluster* 2 yang bernilai prioritas sedang, dan *cluster* 3 yang bernilai prioritas rendah.

3.3. Hasil Clustering

Berdasarkan hasil perhitungan *clustering* menggunakan algoritma *K-Means++* dihasilkan jumlah anggota sebanyak 10 TPS untuk *Cluster* 1, 20 TPS untuk *Cluster* 2 dan 34 TPS untuk *Cluster* 3. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Clustering

No	TPS	Cluster
1	TPS & PKD PANDANWANGI	1
2	TPS & PKD ASAHAN (PENJARA)	1
3	TPS & PKD JATIMULYO / MENJING	1
4	TPS & PKD TLOGOMAS	1
...	...	...
64	TPS KLABANG / BAKALANKRAJAN	3

3.4. Pengujian Blackbox

Pengujian *blackbox* tertuju pada kegunaan fungsional perangkat lunak untuk melakukan pengecekan apakah program aplikasi memberikan *output* yang sesuai berdasarkan fungsi dari program aplikasi yang telah dibuat. Pengujian *blackbox* pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa hasil dari pengujian berjalan dengan lancar dan sesuai dengan skenario yang telah direncanakan.

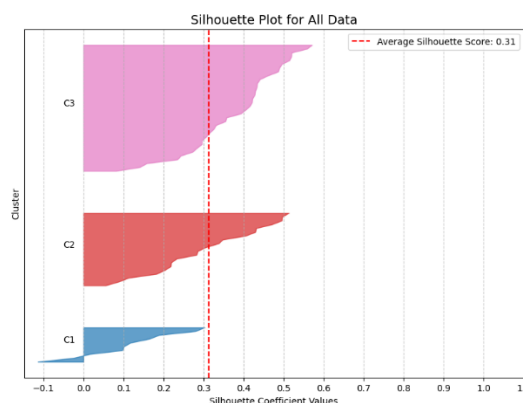
Tabel 3. Pengujian Blackbox

No	Menu	Skenario Pengujian	Hasil Diharapkan	Hasil Pengujian	Kesimpulan
1	Login	Memasukkan email dan password dengan benar	Email = user@gmail.com Password = "12345678"	Sistem menerima akses	Berhasil
2	Data Kecamatan	Memasukkan Kecamatan	Kecamatan = "Lowokwaru"	Sistem mengarahkan ke halaman data kecamatan	Berhasil
3	Data Kelurahan	Memasukkan Kelurahan	Kelurahan = "Tasikmadu"	Sistem mengarahkan ke halaman data kelurahan	Berhasil

4	Data Parameter	Memasukkan Parameter	Parameter = "Volume Sampah"	Sistem mengarahkan ke halaman data parameter	Berhasil
5	Data TPS	Memasukkan Data TPS	Nama TPS = "TPS Terminal Arjosari"	Sistem mengarahkan ke halaman data TPS	Berhasil
6	Data Jarak Antar TPS	Memasukkan Jarak Antar TPS	Kelurahan = "Arjosari" Jarak ke TPA (Km) = 16 TPS Asal = "TPS Terminal Arjosari" TPS Tujuan = "TPS Araya" Jarak (Km) = 1.6 Nama TPS = "TPS Terminal Arjosari"	Sistem mengarahkan ke halaman data jarak antar TPS	Berhasil
7	Data Sampah	Memasukkan Data Sampah	Tahun = 2023 Volume Sampah(Ton) = 613.67 Jarak ke TPA (Km) = 16 Rata-Rata Jarak (Km) = 6.04 Nama TPS = "TPS Terminal Arjosari"	Sistem mengarahkan ke halaman data sampah	Berhasil
8	Proses Clustering	Memilih Tahun	Tahun = 2023 Volume Sampah(Ton) = 613.67 Jarak ke TPA (Km) = 16 Rata-Rata Jarak (Km) = 6.04 Cluster = "Cluster 2" Prioritas = "Sedang"	Sistem dapat menampilkan hasil clustering	Berhasil
9	Pemetaan	Memilih Tahun dan Memproses Clustering	Menampilkan setiap titik lokasi TPS sesuai dengan titik koordinatnya, dengan Cluster 1 warna merah, Cluster 2 kuning dan Cluster 3 hijau	Sistem dapat menampilkan pemetaan berdasarkan hasil clustering	Berhasil
10	Logout	Melakukan logout	Melakukan Logout	Sistem mengarahkan ke halaman logout	Berhasil

3.5. Pengujian Algoritma K-Means++

Untuk menguji hasil dari *clustering* dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Silhouette Score*. Pada pengujian ini peneliti menggunakan 64 data TPS pada tahun 2023. Berdasarkan hasil dari pengujian *Silhouette Score* pada Gambar 8 didapatkan nilai 0,31 yang mengindikasikan bahwa kualitas *clustering* berada pada kategori yang cukup baik, meskipun masih ada potensi untuk perbaikan dalam pemisahan antar *cluster*.



Gambar 8. Pengujian *Sillhouette Score*

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan *blackbox* menunjukkan bahwa sistem telah berjalan sesuai dengan skenario yang dirancang, serta memastikan fungsi aplikasi berjalan sesuai dengan skenario yang telah dirancang dan fungsi aplikasi bekerja dengan baik. Program ini dapat menghasilkan *cluster* yang cukup representatif, seperti yang sudah dilakukan pada pengujian menggunakan *Silhouette Score* yang memberikan nilai 0,31. Nilai ini menunjukkan bahwa *clustering* berada dalam kategori yang cukup baik, meskipun masih ada potensi untuk meningkatkan pemisahan antar *cluster* yang lebih jelas dan akurat. Pemetaan yang dihasilkan berdasarkan hasil *clustering* juga sudah direpresentasikan dengan baik serta menampilkan informasi detail terkait data untuk masing-masing TPS sesuai dengan letak titik koordinatnya. Saran untuk pengembangan aplikasi ini, peneliti menyarankan untuk meningkatkan kualitas sistem dengan melakukan *fine-tuning* seperti penyempurnaan inisialisasi *centroid* dan *preprocessing* data yang lebih baik. Sistem ini juga dapat dikembangkan dengan membuat aplikasi berbasis android untuk memudahkan akses bagi petugas DLH Kota Malang.

Daftar Pustaka

- [1] S. N. Indrayanti and N. Halomoan, "Evaluasi Tempat Penampungan Sementara (TPS) Sampah (Studi Kasus: Kota Bandung)," 2023. [Online]. Available: <http://jurnalsaintek.uinsby.ac.id/index.php/alard/index>
- [2] R. W. Sembiring Brahmana, F. A. Mohammed, and K. Chairuang, "Customer Segmentation Based on RFM Model Using K-Means, K-Medoids, and DBSCAN Methods," *Lontar Komputer : Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, vol. 11, no. 1, p. 32, Apr. 2020, doi: 10.24843/lkjiti.2020.v11.i01.p04.
- [3] M. Herviany, S. Putri Delima, and T. Nurhidayah, "MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science Comparison of K-Means and K-Medoids Algorithms for Grouping Landslide Prone Areas in West Java Province Perbandingan Algoritma K-Means dan K-Medoids untuk Pengelompokan Daerah Rawan Tanah Longsor di Provinsi Jawa Barat," vol. 1, pp. 34–40, 2021.
- [4] R. Adha, N. Nurhaliza, and U. Soleha, "Perbandingan Algoritma DBSCAN dan K-Means Clustering untuk Pengelompokan Kasus Covid-19 di Dunia," *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, vol. 18, no. 2, pp. 206–211, 2021, [Online]. Available: <https://covid19.who.int>.
- [5] M. Ferdiansyah and U. Chotijah, "Implementasi Algoritme K-Means++ Untuk Clustering Penjualan Bahan Bangunan," *Jurnal Ilmiah Teknik Informatika dan Komunikasi*, vol. 4, no. 1, pp. 181–193, Jan. 2024, doi: 10.55606/juitik.v4i1.767.
- [6] N. Nugroho and F. D. Adhinata, "Penggunaan Metode K-Means dan K-Means++ Sebagai Clustering Data Covid-19 di Pulau Jawa," *Teknika*, vol. 11, no. 3, pp. 170–179, Oct. 2022, doi: 10.34148/teknika.v11i3.502.
- [7] A. Putri Riani, A. Voutama, and T. Ridwan, "Penerapan K-Means Clustering Dalam Pengelompokan Hasil Belajar Peserta Didik Dengan Metode Elbow," *Januari*, pp. 164–172, 2023, [Online]. Available: <https://ojs.trigunadharma.ac.id/index.php/jsk/index>
- [8] M. Orisa, "Optimasi Cluster pada Algoritma K-Means," pp. 430–437, 2022.
- [9] U. Fauziyah Laili, C. Umatin, M. U. Ridwanulloh, and R. Artikel, "ANALISIS POTENSIAL DROP OUT MAHASISWA DENGAN K-MEANS++ CLUSTERING DALAM UPAYA PENINGKATAN KUALITAS IAIN KEDIRI INFO ARTIKEL ABSTRAK," vol. 14, no. 2, pp. 145–153, 2023, doi: 10.31764.
- [10] S. Bahri, D. Marisa Midyanti, R. Hidayati, R. Sistem Komputer Universitas Tanjungpura, and J. H. Hadari Nawawi, "PEMANFAATAN QGIS UNTUK PEMETAAN FASILITAS LAYANAN MASYARAKAT DI KOTA PONTIANAK," 2020. [Online]. Available: <http://tanahair.indonesia.go.id/>,