

Pengelompokan Ritel Menggunakan *K-Means Clustering* untuk Mengoptimalkan Lokasi Gudang Antara Distribusi LPG 3 kg Berbasis Kapasitas Transportasi

Retail Clustering Using K-Means to Optimize Intermediate Warehouse Locations for 3-kg LPG Distribution Based on Transportation Capacity

Ryry Rizky Asri^{1*}, Muhammad Nurman Helmi², Bram Andryanto³, Ibnu Habib⁴, Putri Zsa Zsa Leani Leuser⁵, Putri Mety Zalynda⁶, Yogi Yogaswara⁷

^{1,2,3,5,6,7}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan, Bandung, Indonesia

⁴Program Studi Manajemen Logistik, Fakultas Logistik, Teknologi dan Bisnis, Universitas Logistik dan Bisnis Internasional, Bandung, Indonesia

*Penulis korespondensi, email: ryryrizki@unpas.ac.id

Abstrak

Distribusi LPG 3 kg di Bandung Raya menghadapi kendala efisiensi dalam penempatan fasilitas dan pembagian wilayah layanan distribusi. Penelitian ini bertujuan menentukan lokasi gudang antara menggunakan metode *K-Means Clustering* dan mengalokasikan permintaan berdasarkan kapasitas kendaraan. Proses clustering dilakukan berdasarkan data koordinat lokasi pelanggan, permintaan setiap pelanggan, serta kapasitas kendaraan yang tersedia. Metode ini digunakan untuk mengelompokkan 72 agen ke dalam cluster yang seimbang berdasarkan kedekatan geografis dan batas kapasitas kendaraan, sehingga setiap cluster dapat dilayani oleh satu kendaraan tanpa melebihi kapasitas maksimum. Berdasarkan total permintaan sebesar 5.570 unit dan kapasitas kendaraan sebesar 560 unit, penelitian ini menghasilkan 10 cluster dengan rata-rata permintaan sebesar 557 unit per cluster. Titik pusat setiap cluster diusulkan sebagai kandidat lokasi gudang antara. Proses alokasi ulang permintaan menghasilkan distribusi yang lebih merata, ditunjukkan dengan penurunan varians permintaan antar cluster dari 41,9 menjadi 3. Hasil ini menunjukkan bahwa integrasi *K-Means Clustering* dan alokasi permintaan berbasis kapasitas kendaraan dapat digunakan sebagai pendekatan awal dalam perancangan jaringan distribusi LPG 3 kg yang lebih seimbang dan terstruktur.

Kata kunci: demand allocation, intermediate warehouse, *K-Means Clustering*, LPG distribution, transportation capacity

Abstract

The distribution of 3-kg LPG in the Greater Bandung area faces efficiency challenges in facility placement and service area allocation. This study aims to determine intermediate warehouse locations using the *K-Means Clustering* method and to allocate demand based on vehicle capacity. The clustering process was conducted using customer location coordinates, individual customer demand, and available vehicle capacity. This method was used to group 72 agents into balanced clusters based on geographical proximity and vehicle capacity constraints, ensuring that each cluster can be served by one vehicle without exceeding its maximum capacity. Based on a total demand of 5,570 units and a vehicle capacity of 560 units, this study produced 10 clusters with an average demand of 557 units per cluster. The centroid of each cluster is proposed as a candidate location for an intermediate warehouse. The demand reallocation process resulted in a more balanced distribution, as indicated by a reduction in inter-cluster demand variance from 41.9 to 3. These results indicate that the integration of *K-Means Clustering* and capacity-based demand allocation can be used as an initial approach in designing a more balanced and structured 3-kg LPG distribution network.

Keywords: demand allocation, intermediate warehouse, *K-Means Clustering*, LPG distribution, transportation capacity

How to Cite:

Asri, R.R. *et al.* (2026) 'Pengelompokan ritel menggunakan k-means clustering untuk mengoptimalkan lokasi gudang antara distribusi LPG 3 kg berbasis kapasitas transportasi', *Journal of Integrated System*, 9(1), pp. 33–47. Available at: <https://doi.org/10.28932/jis.v9i1.13507>.

1. Pendahuluan

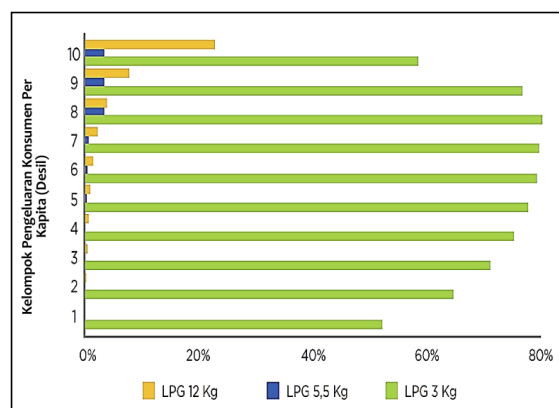
Clustering merupakan metode analisis data yang digunakan untuk mengelompokkan objek berdasarkan kesamaan karakteristik tertentu. Objek dalam satu *cluster* memiliki tingkat kemiripan yang tinggi, sedangkan objek antar *cluster* memiliki perbedaan karakteristik yang lebih besar (Xu and Tian, 2015; Shukran *et al.*, 2022; Chiang, Che and Hung, 2023; Boonyo, 2025). Dalam bidang logistik dan rantai pasok, *clustering* banyak digunakan untuk menyederhanakan jaringan distribusi, membagi wilayah pelayanan, serta mendukung penentuan fasilitas distribusi dan rute transportasi (Kronova *et al.*, 2024; Nadhila, Ariyanto and Syaifudin, 2024).

Salah satu metode *clustering* yang banyak digunakan adalah *K-Means Clustering*. Metode ini memiliki kompleksitas komputasi yang relatif rendah, mampu mengolah data dalam jumlah besar, dan menghasilkan partisi *cluster* yang stabil apabila jumlah *cluster* ditentukan dengan tepat (Ahmed, Seraj and Islam, 2020; Tabianan, Velu and Ravi, 2022). Dalam sistem logistik, *K-Means* telah digunakan untuk segmentasi pelanggan, zonasi distribusi, dan penentuan lokasi fasilitas distribusi (Terlunen, Barreto and Hellingrath, 2015; Gaon, Gabay and Weiss Cohen, 2025).

Dalam konteks distribusi energi di Indonesia, LPG 3 kg memiliki peran penting sebagai sumber energi rumah tangga. Sejak program konversi minyak tanah diberlakukan pada tahun 2007, konsumsi LPG 3 kg meningkat dan menjadi lebih dominan dibandingkan LPG non-subsidi (Lestari, Azmi and Arizky, 2022). Grafik proporsi penggunaan LPG tabung 3 kg, 5 kg, dan 12 kg dapat dilihat pada Gambar 1. Tingginya ketergantungan masyarakat terhadap komoditas ini menuntut sistem distribusi yang mampu menjamin ketersediaan, pemerataan, dan efisiensi penyaluran. Namun, lonjakan permintaan dan pola distribusi yang belum optimal masih berpotensi menimbulkan kelangkaan di lapangan (Arifin *et al.*, 2021; Aldi, 2025).

Sistem distribusi LPG 3 kg pada awalnya dirancang secara terbuka, di mana setiap SPBE memiliki wilayah pemasaran tertentu. Dalam praktiknya, agen atau ritel dapat memperoleh pasokan dari SPBE lain yang lokasinya lebih dekat (Subakdo and Nugroho, 2016). Kondisi tersebut dapat menimbulkan ketidakefisienan distribusi, peningkatan biaya transportasi, serta berkurangnya kontrol terhadap penyaluran LPG bersubsidi (Masudin, 2016; Nurbani, 2019).

Selain masalah efisiensi, distribusi LPG bersubsidi juga menghadapi persoalan ketidaktepatan sasaran. Beberapa studi menunjukkan bahwa penyalahgunaan dan ketidaktepatan distribusi LPG bersubsidi dapat merugikan negara maupun masyarakat sebagai konsumen (Siahaan, Chandra and Ismed, 2023; Montolalu, Arie Mokorimban and Sepang, 2024). Kerugian negara akibat permasalahan ini diperkirakan mencapai sekitar Rp13 triliun per tahun (Lahadalia, 2025). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan ilmiah yang dapat membantu merancang sistem distribusi LPG 3 kg yang lebih efisien, terstruktur, dan tepat sasaran.



Sumber: Susenas 2018 BPS dalam TNP2K, 2019

Gambar 1. Grafik proporsi penggunaan LPG tabung 3 kg, 5 kg, dan 12 kg

Salah satu strategi yang dapat digunakan adalah perancangan ulang jaringan distribusi berbasis *clustering*. Pengelompokan agen atau ritel berdasarkan kedekatan geografis dan permintaan harian dapat membantu membentuk zona distribusi yang lebih terstruktur (Cheng and Zheng, 2024; Utari *et al.*, 2024; Hidayatullah, Prihartono and Rohman, 2025). Zona tersebut dapat digunakan sebagai dasar penentuan lokasi gudang antara yang lebih representatif terhadap sebaran permintaan. Selain itu, pendekatan *cluster-first, route-second* juga terbukti dapat mengurangi jarak tempuh, meningkatkan utilisasi kendaraan, dan menurunkan biaya operasional distribusi (Le *et al.*, 2022; Villalba and La Rotta, 2022; Sunardhi *et al.*, 2025).

Distribusi LPG 3 kg di wilayah Bandung Raya merupakan salah satu kasus yang relevan untuk dikaji. Pola distribusi yang masih terpusat dapat menyebabkan jarak pengiriman menjadi panjang, utilisasi kendaraan rendah, dan biaya distribusi tinggi (Santoso *et al.*, 2024). Selain itu, sistem distribusi yang bersifat terbuka dapat menyebabkan suplai LPG 3 kg tidak merata antar wilayah. Kondisi ini menunjukkan perlunya pembentukan wilayah distribusi yang lebih terstruktur melalui pendekatan *clustering*.

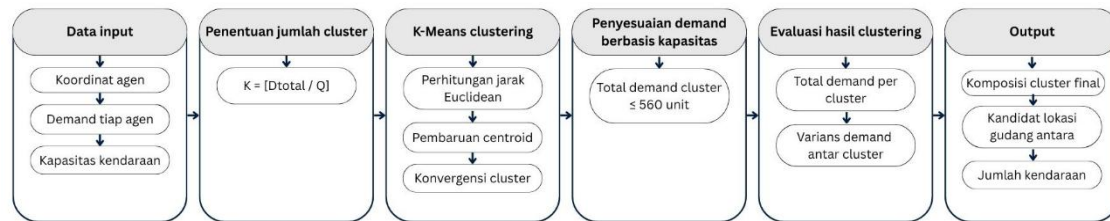
Beberapa penelitian terdahulu telah menerapkan pendekatan *cluster-first, route-second* dalam perancangan jaringan distribusi. Model *milk run* berbasis *clustering* dapat menekan biaya operasional, meningkatkan efisiensi waktu pengiriman, dan mengurangi konsumsi bahan bakar kendaraan angkut (Alanasry *et al.*, 2024). *Clustering* yang tidak mempertimbangkan permintaan dan kapasitas kendaraan dapat menghasilkan *cluster* yang tidak seimbang (Le *et al.*, 2022). Studi lain juga membandingkan *local-based clustering* dan *K-Means Clustering* dalam penjadwalan logistik darurat berbasis *continuous approximation*, dengan hasil bahwa *K-Means* mampu memberikan keseimbangan yang baik antara efisiensi waktu dan akurasi rute (Yin and Lu, 2022).

Dalam konteks LPG 3 kg, model *Cluster Generalized Vehicle Routing Problem* dengan algoritma Dijkstra dan Genetika pernah di terapkan pada studi kasus di Kota Bandung. Penelitian tersebut berhasil menurunkan total jarak tempuh dari 118,85 km menjadi 112 km, atau menghasilkan efisiensi sebesar 5,76% (Oktaviani, Dalnis and Wirdianto, 2025). Meskipun demikian, proses pembentukan *cluster* pada penelitian tersebut belum secara eksplisit mempertimbangkan kapasitas kendaraan dan variasi permintaan pelanggan. Hal ini menunjukkan bahwa masih terdapat peluang untuk mengembangkan pendekatan pengelompokan yang tidak hanya mempertimbangkan kedekatan geografis, tetapi juga keseimbangan beban permintaan dan batas kapasitas kendaraan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini menggunakan *K-Means Clustering* untuk mengelompokkan agen LPG 3 kg di wilayah Bandung Raya berdasarkan kedekatan geografis, kemudian melakukan penyesuaian alokasi permintaan dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan. Pendekatan ini diarahkan untuk menghasilkan *cluster* yang lebih seimbang dan dapat digunakan sebagai dasar penentuan kandidat lokasi gudang antara. Dengan demikian, kontribusi utama penelitian ini adalah pengembangan model *clustering* berbasis kapasitas kendaraan pada distribusi LPG bersubsidi, khususnya untuk studi kasus agen LPG 3 kg di wilayah Bandung Raya. Selain itu, penelitian ini juga memberikan rekomendasi kandidat lokasi gudang antara sebagai dasar perancangan sistem distribusi yang lebih efisien dan merata.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis *clustering* untuk menentukan kandidat lokasi gudang antara pada distribusi LPG 3 kg di wilayah Bandung Raya. Metode yang digunakan adalah *K-Means Clustering* yang dikombinasikan dengan penyesuaian alokasi permintaan berdasarkan kapasitas kendaraan. Pendekatan ini bertujuan membentuk kelompok agen yang tidak hanya berdekatan secara geografis, tetapi juga memiliki total permintaan yang sesuai dengan batas kapasitas kendaraan. Kerangka model pemecahan masalah ditunjukkan pada Gambar 2. Tahapan penelitian diawali dengan pengumpulan data input berupa koordinat agen, permintaan tiap agen, dan kapasitas kendaraan.



Gambar 2. Kerangka metode pengelompokan agen berbasis kapasitas kendaraan

Selanjutnya, jumlah *cluster* ditentukan berdasarkan perbandingan antara total permintaan dan kapasitas kendaraan. Proses pengelompokan dilakukan menggunakan *K-Means Clustering* melalui perhitungan jarak *Euclidean*, pembaruan *centroid*, dan iterasi hingga mencapai kondisi konvergen. Setelah *cluster* awal terbentuk, dilakukan penyesuaian *demand* untuk memastikan total permintaan pada setiap *cluster* tidak melebihi kapasitas kendaraan. Hasil *clustering* kemudian dievaluasi berdasarkan total *demand* per *cluster* dan varians *demand* antar *cluster*. *Output* akhir dari metode ini berupa komposisi *cluster* final, kandidat lokasi gudang antara, dan jumlah kendaraan yang dibutuhkan.

2.1 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data koordinat lokasi agen, data permintaan harian LPG 3 kg, dan data kapasitas kendaraan distribusi. Jumlah agen yang dianalisis sebanyak 72 agen yang tersebar di wilayah Bandung Raya. Koordinat lokasi agen diperoleh melalui pemetaan menggunakan *Google Maps*, kemudian dikonversi ke dalam koordinat kartesius menggunakan perangkat lunak *GeoGebra* agar dapat digunakan dalam perhitungan jarak *Euclidean*. Data permintaan menunjukkan jumlah LPG 3 kg yang harus didistribusikan kepada setiap agen. Total permintaan seluruh agen adalah 5.570 unit. Kapasitas kendaraan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 560 unit per kendaraan. Data tersebut menjadi dasar dalam menentukan jumlah *cluster* dan melakukan penyesuaian alokasi permintaan agar setiap *cluster* tidak melebihi kapasitas kendaraan.

2.2 Penentuan Jumlah Cluster

Jumlah *cluster* ditentukan berdasarkan perbandingan antara total permintaan seluruh agen dan kapasitas maksimum kendaraan. Penentuan ini dilakukan agar setiap *cluster* yang terbentuk dapat merepresentasikan satu wilayah layanan yang secara teoritis dapat dilayani oleh satu kendaraan. Jumlah *cluster* dihitung menggunakan persamaan (1) dengan K adalah jumlah *cluster*, D_{total} adalah total permintaan seluruh agen, dan Q adalah kapasitas maksimum kendaraan. Berdasarkan total permintaan sebesar 5.570-unit dan kapasitas kendaraan sebesar 560 unit, diperoleh jumlah *cluster* sebanyak 10 *cluster*. Oleh karena itu, nilai K pada penelitian ini ditetapkan sebesar 10.

$$K = \left\lceil \frac{D_{total}}{Q} \right\rceil \quad (1)$$

2.3 Algoritma *K-Means Clustering*

K-Means merupakan algoritma non-hierarki yang digunakan untuk mengelompokkan data ke dalam sejumlah *cluster* berdasarkan kedekatan jarak terhadap pusat *cluster* (*centroid*). Proses dimulai dengan pemilihan *centroid* awal secara acak, kemudian setiap data akan diklasifikasikan ke *cluster* terdekat berdasarkan jarak minimum. *Centroid* kemudian diperbarui hingga terjadi konvergensi, yaitu ketika tidak ada lagi perubahan signifikan dalam pembentukan *cluster*. Dalam pengembangannya, metode ini dapat disesuaikan melalui pemilihan jenis pengukuran jarak, mekanisme alokasi ulang data, serta fungsi objektif yang digunakan. Algoritma ini dapat melakukan pengelompokan dengan baik dan banyak digunakan karena kemampuannya dalam mengelompokkan data secara efektif dengan cara meminimalkan variansi dalam tiap *cluster* (Alfiyatin, Mahmudy and Anggodo, 2018).

Beberapa alternatif penerapan *K-Means* dengan beberapa pengembangan teori-teori penghitungan terkait telah diusulkan. Hal ini termasuk pemilihan: 1) *Distance space* untuk menghitung jarak di antara

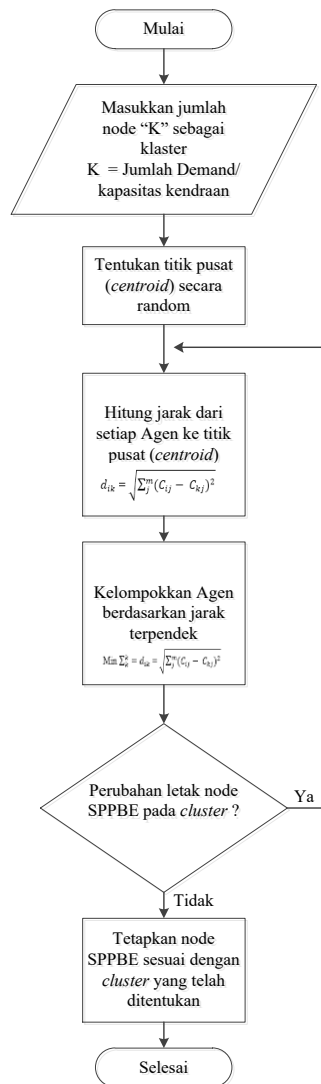
suatu data dan *centroid*; 2) Metode pengalokasian data kembali ke dalam setiap *cluster*; dan 3) *Objective function* yang digunakan. Algoritma *K-Means* bekerja melalui dua tahapan utama, yaitu penentuan pusat *cluster* dan pengelompokan data ke dalam *cluster* yang sesuai (lihat Gambar 3).

Tahap *clustering* diawali dengan penetapan himpunan data yang akan dianalisis, dinotasikan sebagai X_{ij} dengan $i=1, \dots, n$ menunjukkan jumlah data dan $j=1, \dots, m$ merepresentasikan jumlah variabel. Pada iterasi awal, titik pusat masing-masing *cluster* ditentukan secara acak dan dinyatakan sebagai C_{kj} dengan $k=1, \dots, k$ dan $j=1, \dots, m$. Selanjutnya, dilakukan perhitungan jarak antara setiap data dan seluruh pusat *cluster*. Jarak antara data ke- i dan pusat *cluster* ke- k , yang dianotasikan sebagai d_{ik} , umumnya dihitung menggunakan perhitungan jarak *Euclidean*. Setiap data kemudian dialokasikan ke dalam *cluster* yang memiliki jarak terdekat terhadap pusat *cluster* dibandingkan dengan pusat *cluster* lainnya.

Tahapan operasional algoritma *K-Means* dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Menentukan jumlah *cluster* yang akan dibentuk dan menetapkan pusat *cluster* k .
2. Menghitung jarak antara setiap data dan seluruh pusat *cluster* menggunakan perhitungan jarak *Euclidean*:

$$d_{ik} = \sqrt{\sum_j^m (C_{ij} - C_{kj})^2} \quad (2)$$



Gambar 3. Algoritma *K-Means Clustering*

3. Berdasarkan nilai jarak tersebut, setiap data dikelompokkan ke dalam *cluster* dengan jarak yang paling pendek dengan persamaan berikut:

$$\text{Min } \sum_k^k = d_{ik} = \sqrt{\sum_j^m (C_{ij} - C_{kj})^2} \quad (3)$$

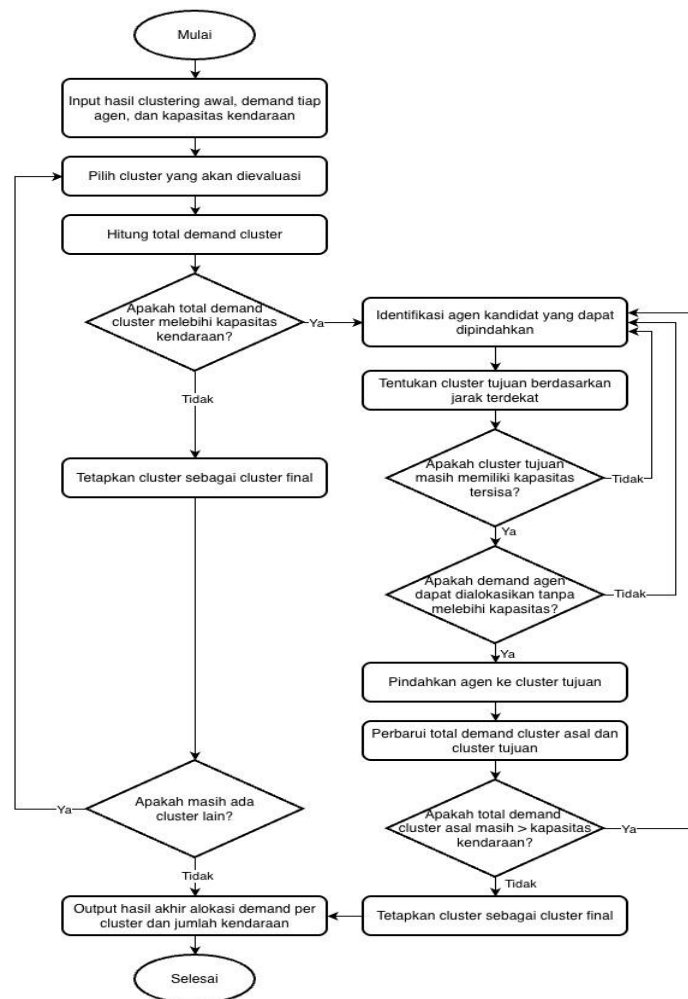
4. Pusat *cluster* diperbarui dengan menghitung nilai rata-rata dari seluruh data yang berada dalam *cluster* tersebut menggunakan persamaan:

$$C_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^p x_{ij}}{p} \quad (4)$$

5. Proses perhitungan jarak, pengelompokan data dan pembaruan pusat *cluster* diulangi secara iteratif hingga tidak terjadi perubahan pada keanggotaan *cluster*.

2.4 Penyesuaian Kapasitas Kendaraan

Setelah *cluster* awal terbentuk, penyesuaian alokasi permintaan diterapkan untuk memastikan total *demand* pada setiap *cluster* tidak melebihi kapasitas kendaraan sebesar 560 unit. Tahap ini diperlukan karena *K-Means Clustering* pada tahap awal hanya mempertimbangkan kedekatan geografis, sehingga beberapa *cluster* dapat menghasilkan total permintaan yang melampaui batas kapasitas kendaraan. Mekanisme penyesuaian dilakukan melalui relokasi agen dari *cluster* yang melebihi kapasitas ke *cluster* tujuan yang masih memiliki kapasitas tersisa. Pemilihan agen dan *cluster* tujuan mempertimbangkan dua kriteria utama, yaitu jarak agen terhadap *centroid cluster* tujuan dan total *demand* kumulatif setelah relokasi. Agen hanya direlokasi apabila penambahan *demand* agen tersebut tidak menyebabkan *cluster* tujuan melebihi kapasitas. Alur penyesuaian kapasitas kendaraan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Flowchart penyesuaian alokasi demand berdasarkan kapasitas kendaraan

Tahap pertama adalah menghitung total *demand* pada setiap *cluster* hasil *K-Means* awal. Selanjutnya, *cluster* dengan total *demand* melebihi kapasitas kendaraan diidentifikasi sebagai *cluster* yang memerlukan penyesuaian. Agen kandidat kemudian ditentukan berdasarkan kedekatannya terhadap *centroid cluster* lain. *Cluster* tujuan dipilih dengan mempertimbangkan jarak terdekat dan kapasitas yang masih tersedia. Jika *demand* agen dapat ditambahkan tanpa melampaui batas kapasitas, agen tersebut direlokasi ke *cluster* tujuan. Setelah relokasi, total *demand* pada *cluster* asal dan *cluster* tujuan diperbarui. Proses ini diulang hingga seluruh *cluster* memenuhi batas kapasitas kendaraan.

2.5 Evaluasi Hasil Clustering

Evaluasi hasil *clustering* dilakukan untuk menilai keseimbangan permintaan antar *cluster* setelah proses alokasi berbasis kapasitas kendaraan. Indikator yang digunakan adalah total *demand* per *cluster* dan varians *demand* antar *cluster*. Semakin kecil nilai varians, semakin merata distribusi *demand* antar *cluster*. Varians *demand* dihitung menggunakan persamaan berikut, dengan σ^2 adalah varians *demand* antar *cluster*, D_k adalah total *demand* pada *cluster* ke-k, \underline{D} adalah rata-rata *demand* per *cluster*, dan K adalah jumlah *cluster*. Hasil *clustering* dinilai *valid* apabila seluruh *cluster* memiliki total *demand* yang tidak melebihi kapasitas kendaraan dan nilai varians *demand* menurun setelah proses penyesuaian.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{k=1}^K (D_k - \underline{D})^2}{K} \quad (5)$$

3. Hasil dan Pembahasan

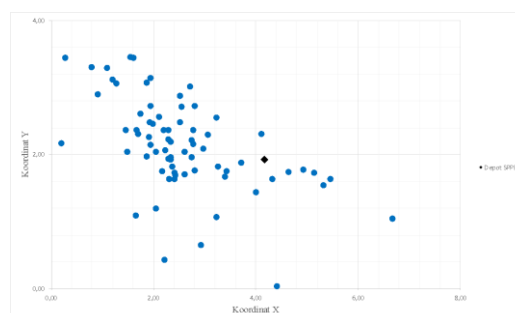
Bagian ini menyajikan hasil dari penerapan metode *K-Means Clustering* dalam konteks penentuan lokasi gudang antara pada jaringan distribusi LPG 3 kg di wilayah Bandung Raya. Proses analisis dilakukan secara bertahap, dimulai dari pemetaan kondisi awal distribusi, karakteristik permintaan, hingga implementasi algoritma clusterisasi untuk memperoleh pembagian wilayah yang lebih baik.

3.1 Analisis Kondisi Awal

Dalam kegiatan pendistribusian LPG 3 kg kepada agen-agen di bawah naungan perusahaan, pola distribusi yang diterapkan bersifat acak, di mana pengiriman dilakukan berdasarkan permintaan masing-masing agen tanpa menggunakan rute distribusi yang terstruktur dan optimal. Perusahaan melayani 72 agen yang tersebar di wilayah Bandung Raya, dengan titik awal pengiriman berada di Stasiun Pengisian dan Pengangkutan Bulk Elpiji (SPPBE). Setiap pengiriman dilaksanakan menggunakan kendaraan distribusi dengan kapasitas muat 6 ton, yang digunakan untuk memenuhi permintaan dari satu atau beberapa agen dalam satu perjalanan, tergantung pada ketersediaan muatan dan permintaan.

3.2 Sebaran Lokasi Agen

Sebanyak 72 agen LPG 3 kg tersebar di wilayah administrasi Kota Bandung, Kabupaten Bandung, dan Kabupaten Bandung Barat. Lokasi agen diperoleh melalui pemetaan menggunakan *Google Maps*, yang kemudian ditransformasi ke dalam sistem koordinat kartesius menggunakan perangkat lunak *GeoGebra*. Konversi ini dilakukan untuk memfasilitasi proses komputasi spasial dalam algoritma *clustering*. Data peta lokasi pusat distribusi (SPPBE) dan setiap agen disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Titik koordinat sebaran agen berdasarkan *GeoGebra*

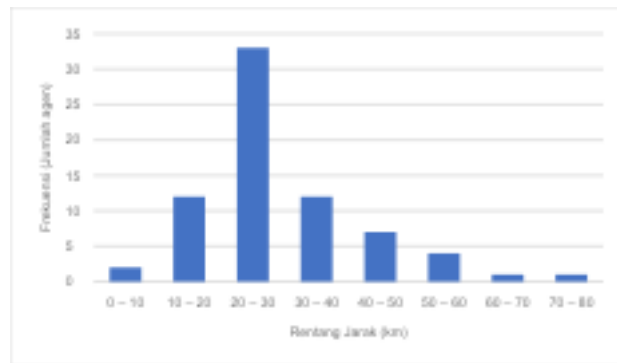
Data ini diperoleh melalui bantuan *Google Maps* dan selanjutnya dimodifikasi menggunakan perangkat lunak *GeoGebra* untuk menentukan koordinat kartesius pusat distribusi dan seluruh agen. Penggunaan *GeoGebra* bertujuan untuk memetakan posisi relatif setiap titik secara geometris dan akurat, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam perhitungan jarak *Euclidean* dan pemodelan rute distribusi yang lebih efisien. Selanjutnya, Tabel 1 menunjukkan daftar data permintaan dari total keseluruhan 72 agen.

Tabel 1. Data koordinat dan permintaan seluruh agen

Agen	Koordinat		Demand	Agen	Koordinat		Demand
	X	Y			X	Y	
1	0.19	2.17	74	37	2.10	2.56	79
2	2.52	2.48	68	38	2.78	2.36	80
3	1.74	2.61	76	39	1.20	3.12	80
4	2.41	1.73	77	40	1.87	3.07	70
5	4.92	1.77	100	41	1.45	2.36	50
6	2.71	3.01	60	42	1.94	2.15	75
7	1.65	1.09	75	43	2.80	1.76	79
8	3.22	1.07	92	44	3.25	1.82	96
9	2.74	1.96	65	45	1.48	2.04	64
10	1.60	3.44	50	46	4.32	1.63	107
11	1.27	3.06	70	47	3.43	1.75	88
12	5.32	1.54	100	48	1.55	3.46	75
13	1.87	1.97	50	49	3.40	1.67	106
14	4.10	2.31	76	50	2.74	2.22	67
15	1.91	2.26	66	51	2.92	0.65	96
16	2.81	2.72	102	52	6.66	1.04	103
17	0.91	2.90	60	53	1.94	2.73	78
18	2.23	2.06	72	54	0.27	3.44	73
19	2.33	1.93	60	55	5.13	1.73	101
20	1.94	3.14	50	56	1.67	2.36	79
21	4.00	1.44	150	57	1.98	2.46	98
22	2.21	0.43	70	58	2.55	2.71	70
23	3.06	2.30	90	59	2.17	1.75	55
24	1.09	3.29	80	60	3.22	2.55	90
25	2.34	2.19	64	61	2.29	1.94	80
26	0.78	3.30	70	62	2.30	1.64	56
27	1.69	2.31	56	63	2.97	2.09	70
28	2.61	2.04	71	64	2.29	2.36	77
29	2.20	2.36	55	65	2.37	1.82	60
30	1.92	2.48	69	66	2.43	1.69	90
31	3.71	1.88	100	67	2.41	1.63	78
32	5.46	1.63	80	68	2.51	2.88	74
33	4.63	1.74	125	69	2.05	2.04	90
34	2.77	2.16	72	70	2.29	2.23	73
35	2.33	1.96	68	71	2.61	1.71	74
36	4.41	0.03	70	72	2.04	1.19	56

3.3 Jarak Tempuh Distribusi

Distribusi LPG 3 kg pada kondisi awal masih dilakukan dari satu depot utama, yaitu SPPBE, ke masing-masing agen tanpa pembagian wilayah layanan. Analisis jarak tempuh dilakukan untuk menggambarkan sebaran lokasi agen terhadap depot dan mengidentifikasi potensi perbaikan melalui pengelompokan wilayah distribusi. Jarak dari depot ke setiap agen dihitung menggunakan pendekatan *Euclidean distance* berdasarkan koordinat spasial hasil pemetaan melalui *GeoGebra*. Berdasarkan hasil perhitungan jarak *Euclidean*, diperoleh jarak terpendek sebesar 6,2 km, jarak terjauh sebesar 77,6 km, dan rata-rata jarak sekitar 29,2 km. Distribusi frekuensi jarak tersebut ditampilkan pada Gambar 6. Gambar tersebut menunjukkan sebagian besar agen berada pada rentang jarak 20-30 km dari depot, dan beberapa agen berada pada jarak lebih jauh hingga 70-80 km. Pola sebaran ini menunjukkan bahwa lokasi agen cukup menyebar dan belum dikelompokkan ke dalam wilayah layanan yang terstruktur. Oleh karena itu, penerapan *clustering* diperlukan untuk membentuk kelompok agen berdasarkan kedekatan geografis dan kapasitas permintaan, sehingga distribusi dapat dirancang secara lebih terarah.



Gambar 6. Distribusi frekuensi jarak tempuh agen ke depot

3.4 Proses Clustering dengan Metode K-Means

Proses pengelompokan (*clustering*) dilakukan untuk mengidentifikasi wilayah layanan yang efisien sebagai dasar penentuan lokasi fasilitas distribusi antara. Metode *K-Means* digunakan untuk membagi agen ke dalam kelompok berdasarkan kedekatan geografis, dengan mempertimbangkan kapasitas maksimum kendaraan yang tersedia. Penentuan jumlah *cluster* pada penelitian ini mempertimbangkan batasan kapasitas kendaraan dalam satu kali pengantaran, yaitu sebesar 560 unit. Dengan total permintaan harian sebesar 5.570 unit, maka dapat dihitung jumlah *cluster* dengan membagi total *demand* dengan kapasitas kendaraan yang tersedia, sehingga diperoleh jumlah *cluster* sebanyak 10 *cluster*. Oleh karena itu, nilai *K* ditetapkan sebesar 10. Untuk memulai proses *K-Means*, *centroid* awal dipilih secara acak dari koordinat lokasi agen yang ada. Pemilihan awal ini akan menentukan proses iterasi selanjutnya dalam mencari pusat *cluster* yang paling optimal. Berikut merupakan penentuan titik pusat *cluster* secara acak berdasarkan data titik koordinat agen, maka didapatkan 10 titik pusat *cluster* yang didapat pada iterasi ke-1 (lihat Tabel 2).

Langkah selanjutnya adalah menghitung jarak antara setiap agen ke titik pusat (*centroid*) dari masing-masing *cluster*. Jarak ini dihitung menggunakan rumus *Euclidean distance*, yang mempertimbangkan posisi koordinat X dan Y dari agen dan pusat *cluster*. Sebagai ilustrasi, agen ke-1 yang memiliki koordinat (X: 0,19; Y: 2,17) akan dihitung jaraknya terhadap setiap pusat *cluster*. Misalnya, terhadap pusat *cluster* ke-1 dengan koordinat (X: 1,65; Y: 1,09), jarak yang diperoleh adalah 1,82 km. Jarak ke pusat *cluster* ke-2 dan ke-3 masing-masing adalah 3,91 km dan 3,88 km. Sehingga agen ke-1 akan di masukkan ke dalam *cluster* 1 berdasarkan jarak yang lebih dekat. Setelah seluruh jarak agen ke setiap pusat *cluster* dihitung, masing-masing agen kemudian diklasifikasikan ke dalam *cluster* berdasarkan jarak terdekat. Artinya, agen akan menjadi anggota dari *cluster* yang pusatnya memiliki jarak paling minimum terhadap agen tersebut. Proses ini dilakukan untuk seluruh agen dalam dataset dan menghasilkan pengelompokan awal yang menjadi dasar untuk pembaruan pusat *cluster* pada iterasi selanjutnya.

Tabel 2. Pusat *cluster K-Means* iterasi ke-1

Agen	Pusat Cluster (Random)		
	Pusat Cluster	Koordinat	
		X	Y
7	C1	1.65	1.09
14	C2	4.10	2.31
21	C3	4.00	1.44
28	C4	2.61	2.04
35	C5	2.33	1.96
42	C6	1.94	2.15
49	C7	3.40	1.67
56	C8	1.67	2.36
63	C9	2.97	2.09
70	C10	2.29	2.23

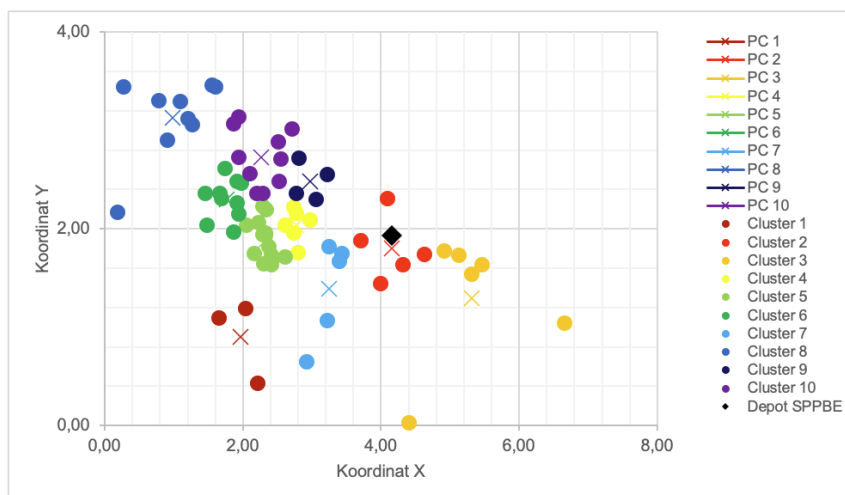
Setelah agen-agen dikelompokkan ke dalam *cluster* berdasarkan jarak terdekat ke titik pusat (*centroid*), proses selanjutnya adalah menghitung ulang posisi *centroid* berdasarkan komposisi data terbaru dalam masing-masing *cluster*. Nilai *centroid* diperoleh dengan menghitung rata-rata dari koordinat X dan Y seluruh agen yang tergabung dalam setiap *cluster*. Sebagai ilustrasi, pada *cluster* ke-3 dilakukan perhitungan rata-rata terhadap semua koordinat agen di dalamnya, dan diperoleh hasil bahwa posisi pusat *cluster* bergeser menjadi (X: 5,22; Y: 1,35) pada iterasi ke-3.

Perubahan posisi *centroid* ini dapat menyebabkan sejumlah agen berpindah ke *cluster* yang berbeda. Oleh karena itu, dilakukan evaluasi lanjutan untuk menentukan apakah perlu dilakukan iterasi tambahan. Jika hasil perhitungan menunjukkan adanya perpindahan agen antar *cluster*, maka proses harus diulang, yaitu perhitungan jarak agen ke *centroid* terbaru, pengelompokan ulang, dan perhitungan ulang rata-rata posisi *centroid*. Proses ini terus diulang hingga tidak lagi terjadi perubahan komposisi anggota dalam setiap *cluster*. Dalam penelitian ini, proses *clustering* mencapai konvergensi pada iterasi ke-7, di mana posisi *centroid* tidak lagi mengalami perubahan, yang menandakan bahwa hasil pengelompokan telah stabil dan optimal, yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Hasil akhir dari proses *clustering* ini disajikan pada Gambar 7. Gambar tersebut memetakan sebaran agen yang telah diklasifikasikan ke dalam 10 *cluster* berbeda sesuai data yang ada di Tabel 3. Masing-masing *cluster* direpresentasikan oleh warna unik misalnya warna merah tua untuk *cluster* 1. Titik pusat (*centroid*) dari setiap *cluster*, yang merupakan posisi geografis rata-rata dari seluruh anggotanya, ditandai dengan simbol silang (X) yang sesuai dengan legenda (PC1 hingga PC10). Selain itu, lokasi Depot SPPBE juga diidentifikasi sebagai titik referensi utama dalam pemetaan.

Tabel 3. Pusat *cluster K-Means* iterasi ke-7

Pusat <i>Cluster</i>	Pusat <i>Cluster</i> (Baru)	
	Koordinat	
	X	Y
C1	1.97	0.90
C2	4.15	1.80
C3	5.32	1.29
C4	2.77	2.04
C5	2.33	1.88
C6	1.77	2.30
C7	3.24	1.39
C8	0.98	3.13
C9	2.97	2.48
C10	2.26	2.73



Gambar 7. Hasil akhir *clustering* pada iterasi ke-7 *K-Means Clustering*

3.5 Pengalokasian Demand Berdasarkan Kapasitas Kendaraan

Setelah dilakukan proses *clustering* terhadap 72 agen menggunakan metode *K-Means*, tahap selanjutnya adalah melakukan alokasi permintaan (*demand*) dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan. Tahapan ini bertujuan untuk memastikan setiap kendaraan yang akan digunakan dalam proses distribusi dapat dimanfaatkan secara optimal tanpa melebihi kapasitas muatnya. Selain itu, pendekatan ini juga menjadi jembatan menuju tahap *routing* pada penelitian selanjutnya.

Alokasi permintaan dilakukan dengan memanfaatkan informasi jumlah agen dan total *demand* yang terbentuk dari hasil *clustering* awal. Tabel 4 berikut menunjukkan distribusi awal *demand* per *cluster* hasil dari proses *clustering*. Terlihat bahwa terdapat ketimpangan distribusi permintaan antar *cluster*. Beberapa *cluster*, seperti C5 dan C6, memiliki permintaan yang sangat tinggi, melebihi kapasitas maksimum kendaraan. Hal ini menimbulkan potensi ketidakefisienan dalam proses distribusi. Oleh karena itu, dilakukan proses alokasi ulang permintaan dengan mendistribusikan agen ke *cluster* yang lebih sesuai berdasarkan jarak terdekat ke pusat *cluster* dan batas kapasitas kendaraan.

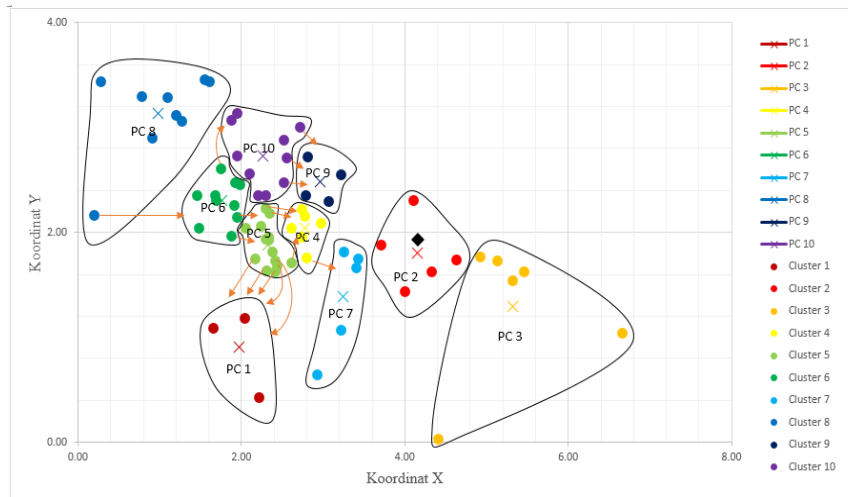
Sebagai contoh, *Cluster 1* yang semula hanya terdiri dari 3 agen yaitu {7-22-72} dengan total permintaan 201 tabung, dialokasikan tambahan agen dari *cluster* terdekat (yaitu *cluster 5*) berdasarkan jarak prioritas kedua terhadap pusat *cluster 1* yang dapat dilihat pada Tabel 5 berikut. Agen-agen seperti 62, 66, 67, 59, dan 4 dipilih karena memiliki jarak dekat dan *demand* yang masih bisa diakomodasi oleh kendaraan pada *cluster* tersebut. Penambahan jumlah agen ke dalam *cluster 1* mengakibatkan jumlah permintaan berubah, yang awalnya hanya 201 tabung sekarang menjadi 557 tabung. Artinya *cluster* ini sudah mendekati kapasitas maksimum dari kendaraan yang digunakan, maka tidak memungkinkan untuk dialokasikan penambahan agen lainnya dan perhitungan alokasi *demand* untuk *cluster 1* sudah selesai. Hasil akhir untuk *cluster 1* yaitu, agen {4-7-22-59-62-66-67-72} dengan total *demand* sebesar 557 unit. Proses ini dilakukan iteratif untuk seluruh *cluster* dengan memperhatikan dua kriteria utama: 1) Jarak terdekat ke pusat *cluster*, berdasarkan hasil iterasi ke-7; 2) Total *demand* kumulatif tidak melebihi kapasitas kendaraan. Visualisasi perpindahan agen dalam alokasi *demand* antar *cluster* dapat dilihat pada Gambar 8.

Tabel 4. Alokasi *demand* berdasarkan hasil *clustering*

Cluster	Agen	Demand
C1	7-22-72	201
C2	14-21-31-33-46	558
C3	5-12-32-36-52-55	554
C4	9-28-34-43-50-63	424
C5	4-18-19-25-35-59-61-62-65-66-67-69-70-71	997
C6	3-13-15-27-30-41-42-45-56-57	683
C7	8-44-47-49-51	478
C8	1-10-11-17-24-26-39-48-54	632
C9	16-23-38-60	362
C10	2-6-20-29-37-40-53-58-64-68	681
Total demand		5570

Tabel 5. Kandidat agen tambahan *cluster* ke-1

Agen	Jarak Prioritas Ke-2 Pada Cluster Ke-1	Demand
4	0,94	77
13	1,07	50
51	0,99	96
59	0,87	55
62	0,81	56
66	0,91	90
67	0,85	78
71	1,03	74

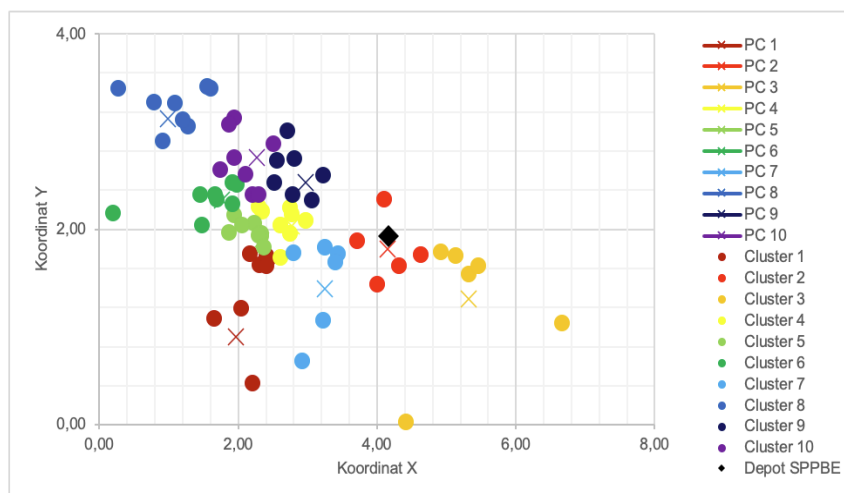


Gambar 8. Visualisasi perpindahan agen dalam alokasi *demand* antar *cluster*

Setelah proses alokasi ulang selesai, didapatkan distribusi baru permintaan per *cluster* seperti ditunjukkan pada Tabel 6. Dapat dilihat bahwa hasil alokasi telah menghasilkan distribusi permintaan yang merata, setiap *cluster* memiliki total *demand* yang tidak melebihi batas maksimum kapasitas kendaraan yaitu 560 unit. Dengan kondisi ini, distribusi LPG 3 kg dapat dilakukan secara lebih efisien, dan jumlah kendaraan yang diperlukan pun dapat diketahui secara pasti, yaitu 10-unit kendaraan, masing-masing untuk satu *cluster*.

Tabel 6. Alokasi *demand* berdasarkan kapasitas kendaraan

Cluster	Agen	Demand
C1	4-7-22-59-62-66-67-72	557
C2	14-21-31-33-46	558
C3	5-12-32-36-52-55	554
C4	9-25-28-34-50-63-70-71	556
C5	13-18-19-35-42-61-65-69	555
C6	1-15-27-30-41-45-56-57	556
C7	8-43-44-47-49-51	557
C8	10-11-17-24-26-39-48-54	558
C9	2-6-16-23-38-58-60	560
C10	3-20-29-37-40-53-64-68	559
Total demand		5570



Gambar 9. Hasil *clustering* berbasis kapasitas kendaraan

Berdasarkan hasil *clustering* tersebut, disimpulkan bahwa proses pengelompokan agen dengan metode *K-Means Clustering* telah berhasil mengidentifikasi lokasi strategis calon gudang antara yang berada di titik tengah masing-masing *cluster* (lihat Gambar 9). Penambahan proses alokasi permintaan berdasarkan kapasitas kendaraan memperkuat validitas dari pembagian *cluster*, sekaligus memastikan bahwa beban distribusi pada masing-masing gudang antara tetap dalam batas kemampuan kendaraan pengangkut.

3.6 Analisis Pemerataan Demand berdasarkan Hasil Clustering

Pemerataan *demand* antar *cluster* dianalisis dengan membandingkan total *demand* setiap *cluster* terhadap rata-rata ideal. Rata-rata ideal diperoleh dari total *demand* sebesar 5.570 unit yang dibagi ke dalam 10 *cluster*, sehingga diperoleh nilai sebesar 557 unit per *cluster*. Hasil *clustering* awal pada Tabel 4 menunjukkan adanya ketimpangan *demand* antar *cluster*. Sebagai contoh, C1 memiliki *demand* sebesar 201 unit, sedangkan C5 mencapai 997 unit. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengelompokan awal berbasis kedekatan geografis belum menghasilkan distribusi permintaan yang seimbang.

Ketimpangan tersebut diperkuat oleh nilai varians *demand* antar *cluster* sebesar 41,9. Setelah dilakukan penyesuaian alokasi berdasarkan kapasitas kendaraan, nilai varians menurun menjadi 3, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6. Penurunan varians ini menunjukkan bahwa proses penyesuaian berhasil meningkatkan pemerataan *demand* antar *cluster*. Selain itu, seluruh *cluster* hasil penyesuaian memiliki total *demand* yang berada di bawah atau sama dengan kapasitas kendaraan sebesar 560 unit.

Hasil ini menunjukkan bahwa integrasi antara kedekatan geografis dan batas kapasitas kendaraan mampu menghasilkan pembagian wilayah distribusi yang lebih seimbang secara operasional. *Cluster* dengan *demand* yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kebutuhan pengiriman tambahan, sedangkan *cluster* dengan *demand* yang terlalu rendah berpotensi menurunkan utilisasi kendaraan. Dengan demikian, pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini dapat mendukung pembentukan *cluster* distribusi yang lebih proporsional dan sesuai dengan kapasitas armada.

4. Simpulan

Penelitian ini mengembangkan pendekatan pengelompokan agen LPG 3 kg berbasis *K-Means Clustering* dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan sebagai batasan operasional. Berdasarkan data 72 agen di wilayah Bandung Raya, total permintaan sebesar 5.570 unit, dan kapasitas kendaraan sebesar 560 unit, diperoleh 10 *cluster* distribusi. Setiap *cluster* direpresentasikan oleh *centroid* yang dapat digunakan sebagai kandidat lokasi gudang antara karena menggambarkan posisi pusat dari sebaran agen dalam wilayah layanan tersebut.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan *K-Means Clustering* yang dilanjutkan dengan penyesuaian alokasi *demand* mampu menghasilkan pembagian wilayah distribusi yang lebih seimbang. Setelah proses penyesuaian kapasitas, total *demand* setiap *cluster* berada pada rentang 554-560 unit, dengan rata-rata 557 unit per *cluster*. Selain itu, varians *demand* antar *cluster* menurun dari 41,9 menjadi 3. Penurunan ini menunjukkan bahwa integrasi antara kedekatan geografis dan batas kapasitas kendaraan dapat meningkatkan keseimbangan beban distribusi antar *cluster*.

Secara praktis, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar awal dalam penentuan kandidat lokasi gudang antara dan pembagian wilayah layanan distribusi LPG 3 kg. Meskipun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Perhitungan jarak masih menggunakan pendekatan *Euclidean distance*, sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi jaringan jalan aktual. Selain itu, penelitian ini berfokus pada pembentukan *cluster* dan alokasi *demand* berbasis kapasitas, sehingga belum mencakup optimasi rute distribusi secara langsung. Faktor operasional lain, seperti waktu tempuh, kemacetan, waktu pelayanan, dan biaya bahan bakar juga belum dipertimbangkan dalam model. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat mengintegrasikan hasil *clustering* ini dengan model optimasi rute berbasis jaringan jalan aktual untuk memperoleh rancangan distribusi yang lebih komprehensif.

Daftar Pustaka

- Ahmed, M., Seraj, R. and Islam, S.M.S. (2020) 'The k-means algorithm: a comprehensive survey and performance evaluation', *Electronics (Switzerland)*, 9(8), pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/10.3390/electronics9081295>.
- Alanasry, S.H. *et al.* (2024) 'Analisis rute distribusi parfume di PT Maju Jaya menggunakan model milk run', *INNOVATIVE: Journal of Social Science Research*, 4(4), pp. 8190–8198.
- Aldi, A. (2025) *Kecurangan distribusi gas LPG 3 kg rugikan negara hingga Rp13 triliun*. Available at: <https://insight.energika.id/amp/77961/kecurangan-distribusi-gas-lpg-3-kg-rugikan-negara-hingga-rp13-triliun>.
- Alfiyatin, A.N., Mahmudy, W.F. and Anggodo, Y.P. (2018) 'K-means clustering and genetic algorithm to solve vehicle routing problem with time windows problem', *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 11(2), pp. 462–468. Available at: <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v11.i2.pp462-468>.
- Arifin, M.Z. *et al.* (2021) 'Konfigurasi jaringan supply chain pada distribusi gas LPG 3 kg di Indonesia', *Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri*, 4(1). Available at: <https://doi.org/10.32493/jitmi.v4i1.y2021.p1-9>.
- Boonyo, Y. (2025) 'Thai text clustering with k-means and TF-IDF in Python for educational applications', *Journal of Research Methodology*, 38(1).
- Cheng, X. and Zheng, F. (2024) 'Research on the application of weighted distance k-means clustering algorithm with capacity constraint in express service location', in *2024 12th International Conference on Information Systems and Computing Technology (ISCTech)*, pp. 1–5. Available at: <https://doi.org/10.1109/ISCTech63666.2024.10845541>.
- Chiang, T.A., Che, Z.H. and Hung, C.W. (2023) 'A k-means clustering and the Prim's minimum spanning tree-based optimal picking-list consolidation and assignment methodology for achieving the sustainable warehouse operations', *Sustainability (Switzerland)*, 15(4). Available at: <https://doi.org/10.3390/su15043544>.
- Gaon, T., Gabay, Y. and Weiss Cohen, M. (2025) 'Optimizing electric vehicle routing efficiency using k-means clustering and genetic algorithms', *Future Internet*, 17(3). Available at: <https://doi.org/10.3390/fi17030097>.
- Hidayatullah, N.A., Prihartono, W. and Rohman, F. (2025) 'Clustering penerima bantuan pangan berbasis algoritma k-means untuk meningkatkan efektivitas program sosial di Kota/Kabupaten Cirebon', *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 13(1). Available at: <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i1.5692>.
- Kronova, J. *et al.* (2024) 'Application cluster analysis as a support form modelling and digitalizing the logistics processes in warehousing', *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(11). Available at: <https://doi.org/10.3390/app14114343>.
- Le, T.D.C. *et al.* (2022) 'Clustering algorithm for a vehicle routing problem with time windows', *Transport*, 37(1), pp. 17–27. Available at: <https://doi.org/10.3846/transport.2022.16850>.
- Lestari, V., Azmi, N. and Arizky, S. (2022) *Permasalahan dan tantangan transformasi kebijakan subsidi LPG 3 kilogram*. Available at: <https://repositori.dpr.go.id/id/eprint/263/>
- Masudin, I. (2016) *Location-allocation modelling for Indonesian multi-echelon LPG supply chain*. Available at: <https://doi.org/10.25439/rmt.27581604>.
- Montolalu, G., Arie Mokorimban, M.T. and Sepang, M. (2024) 'Penegakan hukum terhadap pelaku penyalahgunaan tabung liquefied petroleum gas 3 kg menurut Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2001', *Lex Crimen, Jurnal Fakultas Hukum, UNSRAT*, 12(5).
- Nadhila, A.A., Ariyanto, Y. and Syaifudin, Y.W. (2024) 'Clusterization of MSME and warehouse locations for efficiency of courier placement', *Journal of Evrimata: Engineering and Physics*, pp. 144–149. Available at: <https://doi.org/10.70822/journalofevrmata.v2i02.66>.
- Nurbani, S. (2019) 'Rancangan distribusi LPG 3 kg berdasarkan kebijakan distribusi sistem tertutup di wilayah pemasaran Kota Bandung', *Jurnal Teknik Industri*, 14(3), pp. 149–162. Available at: <https://doi.org/10.14710/jati.14.3.149-162>.

- Oktaviani, P., Dalnis, I.P. and Wirdianto, E. (2025) 'Usulan rute pendistribusian gas LPG menggunakan algoritma Dijkstra dan algoritma genetika pada model CGVRP', *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 14(1), pp. 131–145. Available at: <https://doi.org/10.26593/jrsi.v14i1.8491.131-145>.
- Santoso, M. *et al.* (2024) 'Penentuan rute distribusi LPG menggunakan teknik simulated annealing pada PT XYZ', *Jurnal Penelitian Rumpun Ilmu Teknik*, 3(4), pp. 68–76. Available at: <https://doi.org/10.55606/juprit.v3i4.4341>.
- Shukran, M.A.M. *et al.* (2022) 'Survey on clustering techniques for image categorization dataset', *Journal of Computer and Communications*, 10(06), pp. 177–185. Available at: <https://doi.org/10.4236/jcc.2022.106014>.
- Siahaan, P., Chandra, T.Y. and Ismed, M. (2023) 'Penegakan hukum terhadap pelaku tindak pidana penyalahgunaan gas LPG bersubsidi di DKI Jakarta', *Jurnal Global Ilmiah*, 1(2), pp. 122–129.
- Subakdo, W.A. and Nugroho, Y.A. (2016) 'In-bound dan out-bound logistic pada distribusi LPG 3 kg di Indonesia', in *Prosiding Semnastek*. Jakarta: Fakultas Teknik Univ. Muhammadiyah. Available at: jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek (Accessed: 23 July 2025).
- Sunardhi, Y. *et al.* (2025) 'Analisis kinerja jaringan distribusi LPG: studi kasus di Kecamatan Comprang', *Journal of Social Science Research*, 5(1), pp. 2090–2106. Available at: <https://doi.org/10.31004/innovative.v5i1.16819>.
- Tabianan, K., Velu, S. and Ravi, V. (2022) 'K-means clustering approach for intelligent customer segmentation using customer purchase behavior data', *Sustainability (Switzerland)*, 14(12). Available at: <https://doi.org/10.3390/su14127243>.
- Terlunen, S., Barreto, G. and Hellingrath, B. (2015) 'Application and evaluation of multi-criteria clustering algorithms for customer-oriented supply chain segmentation', in *Conference: LMI3 - Logistics Management*. Springer Science and Business Media B.V., pp. 121–133. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-13177-1_10.
- Utari, R.F. *et al.* (2024) 'Pengelompokan data pendistribusian listrik menggunakan algoritma mean shift', *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 4(3), pp. 1015–1023. Available at: <https://doi.org/10.57152/malcom.v4i3.1428>.
- Villalba, A.F.L. and La Rotta, E.C.G. (2022) 'Clustering and heuristics algorithm for the vehicle routing problem with time windows', *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 13(2), pp. 165–184. Available at: <https://doi.org/10.5267/J.IJIEC.2021.12.002>.
- Xu, D. and Tian, Y. (2015) 'A comprehensive survey of clustering algorithms', *Annals of Data Science*, 2(2), pp. 165–193. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40745-015-0040-1>.
- Yin, R. and Lu, P. (2022) 'A cluster-first route-second constructive heuristic method for emergency logistics scheduling in urban transport networks', *Sustainability (Switzerland)*, 14(4). Available at: <https://doi.org/10.3390/su14042301>.