Jurnal Indonesia : Manajemen Informatika dan Komunikasi
https://journal.stmiki.ac.id

E-ISSN: 2723-7079 | P-ISSN: 2776-8074
Vol. 8 No. 1 (2027) | January

OPEN ACCESS

https://doi.org/10.63447/jimik.v8i1.2148

Penerapan Algoritma *K-Means* untuk Klasterisasi Wilayah Tujuan Pengiriman Kargo Udara pada PT Eka Cipta Mandiri

Nouval Fadillah [1], Devi Damayanti [2*]

[1,2*] Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pamulang, Kota Tangerang Selatan, Provinsi Banten, Indonesia.

Email: padilanouval@gmail.com [1], devidamayanti@unpam.ac.id [2*]

Article History:
Received: 29 September 2026; *Received in revised form*: 16 October 2026; *Accepted*: 1 November 2026; *Available online*: 20 November 2026; *Published*: 10 January 2027.

Abstract

PT Eka Cipta Mandiri grouped air cargo destinations manually based on subjective estimates, which led to suboptimal cargo space allocation and route pricing. This study applied K-Means clustering, optimized with the Elbow Method and validated with the Silhouette Coefficient, to profile 46 destinations from 2020 to 2025 based on total cargo volume (Kg) and average annual flight frequency. Of 276 annual transaction records, 36 inactive records (zero volume and frequency) were removed, leaving 240 valid records that were aggregated into 46 destinations and scaled with Min-Max normalization. The Within-Cluster Sum of Squares (WCSS) evaluated from K=1 to K=10 showed an elbow at K=3, with a WCSS of 0.8412 and a Silhouette Coefficient of 0.612. Initial centroids were selected from real data points: DJJ (C2), SUB (C1), and AAP (C0). Euclidean distance computations converged at the fourth iteration and divided the destinations into three clusters: Cluster 2 (high/main routes) with 6 destinations (AMQ, BDJ, BTH, DJJ, KNO, UPG), Cluster 1 (medium/growth routes) with 17 destinations, and Cluster 0 (low/niche routes) with 23 destinations. The model was implemented in a web application built with Python, Flask, and SQLite. Testing showed results identical to manual Excel calculations, all Black Box scenarios matching specifications, and successful execution of four independent paths in White Box testing.

Keyword: Data Mining; K-Means Clustering; Elbow Method; Silhouette Coefficient; Air Cargo; Flask; PT Eka Cipta Mandiri.

Abstrak

PT Eka Cipta Mandiri mengelompokkan wilayah tujuan pengiriman kargo udara secara manual dan berdasarkan estimasi subjektif, sehingga alokasi ruang muat dan penetapan tarif rute belum optimal. Penelitian ini menerapkan algoritma K-Means Clustering yang dioptimasi dengan Metode Elbow dan divalidasi dengan Silhouette Coefficient untuk memetakan 46 wilayah tujuan berdasarkan total volume muatan (Kg) dan rata-rata frekuensi pengiriman tahunan pada periode 2020–2025. Dari 276 baris data transaksi tahunan, 36 baris tidak aktif (volume dan frekuensi nol) dihapus sehingga tersisa 240 baris valid, yang diagregasi menjadi 46 destinasi dan dinormalisasi dengan Min-Max. Evaluasi Within-Cluster Sum of Squares (WCSS) pada K=1 sampai K=10 menunjukkan titik siku pada K=3 dengan WCSS 0,8412 dan Silhouette Coefficient 0,612. Centroid awal dipilih dari data riil, yaitu DJJ (C2), SUB (C1), dan AAP (C0). Jarak Euclidean konvergen pada iterasi ke-4 dan membagi destinasi menjadi tiga klaster: Klaster 2 (rute utama/tinggi) dengan 6 destinasi (AMQ, BDJ, BTH, DJJ, KNO, UPG), Klaster 1 (rute potensial/sedang) dengan 17 destinasi, dan Klaster 0 (rute terbatas/rendah) dengan 23 destinasi. Model diimplementasikan pada aplikasi web berbasis Python, Flask, dan SQLite. Pengujian menunjukkan hasil yang sama dengan perhitungan manual Excel, seluruh skenario Black Box sesuai spesifikasi, dan empat jalur independen pada White Box Testing berhasil dieksekusi.

Kata Kunci: Data Mining; K-Means Clustering; Metode Elbow; Silhouette Coefficient; Kargo Udara; Flask; PT Eka Cipta Mandiri.

© 2027 The Author(s). Published by the Institute for Research and Community Service (LPPM) of STMIK Indonesia Banda Aceh. This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Jurnal Indonesia : Manajemen Informatika dan Komunikasi
https://journal.stmiki.ac.id
E-ISSN: 2723-7079 | P-ISSN: 2776-8074
Vol. 8 No. 1 (2027) | January
OPEN ACCESS
https://doi.org/10.63447/jimik.v8i1.2148

1. Pendahuluan

Distribusi kargo udara adalah bagian penting dari rantai pasok logistik modern. Distribusi ini menuntut keandalan rute, ketepatan waktu, dan pemanfaatan kapasitas ruang pesawat yang optimal. Komoditas muatan udara umumnya bernilai ekonomi tinggi, mudah rusak, atau perlu dikirim darurat lintas kepulauan. Karena itu, perencanaannya harus jauh lebih ketat daripada logistik darat (Feng et al., 2020; Triwidianto & Musyaffa, 2021). PT Eka Cipta Mandiri adalah badan usaha jasa pengangkutan kargo udara yang mengelola data operasional pengiriman ke berbagai bandara di Indonesia. Rekapitulasi data tahun 2020 sampai 2025 mencatat 276 transaksi tahunan dengan akumulasi volume muatan lebih dari 7,5 juta kilogram. Data sebanyak itu belum dimanfaatkan secara terstruktur. Evaluasi kinerja rute dan pengelompokan wilayah tujuan masih dilakukan secara manual dan bertumpu pada perkiraan subjektif manajemen. Praktik ini menimbulkan masalah di lapangan. Alokasi ruang muat pesawat sewaan (*cargo space allotment*) menjadi kurang tepat. Rute berpermintaan tinggi kerap kekurangan kapasitas ruang kargo, sedangkan rute berpermintaan rendah mengalami kekosongan muatan yang membebani biaya sewa minimum maskapai. Perusahaan juga belum memiliki formulasi tarif kargo yang proporsional terhadap intensitas pengiriman aktual. Kondisi ini menunjukkan perlunya cara pengelompokan wilayah tujuan yang terukur dan bersumber langsung dari data transaksi perusahaan.

Penerapan *data mining* merupakan pendekatan yang tepat untuk mengekstraksi pola tersembunyi dari arsip data operasional logistik dan mendukung pengambilan keputusan yang proaktif (Febrian et al., 2022; Pratama & Purwanto, 2024). Sejumlah penelitian terdahulu telah menerapkan algoritma K-Means pada persoalan segmentasi distribusi barang. Febrian et al. (2022) membagi paket pengiriman pos darat ke dalam tiga klaster wilayah untuk penataan armada. Pratama dan Purwanto (2024) membangun K-Means berbasis *web* untuk segmentasi penjualan rute kurir Lion Parcel. Osadi et al. (2024) mengelompokkan paket berdasarkan zona operasional kurir darat. Meskipun demikian, K-Means peka terhadap inisialisasi pusat awal (*centroid*) dan mengharuskan nilai K ditetapkan di awal secara subjektif (Ahmed et al., 2020; Sinaga & Yang, 2020). Prasetya et al. (2023) serta Hasibuan dan Dur (2022) menunjukkan bahwa Metode *Elbow* yang mengevaluasi nilai *Within-Cluster Sum of Squares* (WCSS) dapat menentukan titik siku secara objektif untuk menghasilkan partisi data yang stabil. Mutu pemisahan klaster yang terbentuk dapat diukur dengan validasi internal seperti *Silhouette Coefficient*, yang menilai kerapatan (*cohesion*) di dalam klaster dan pemisahan (*separation*) antarklaster (Rousseeuw, 1987).

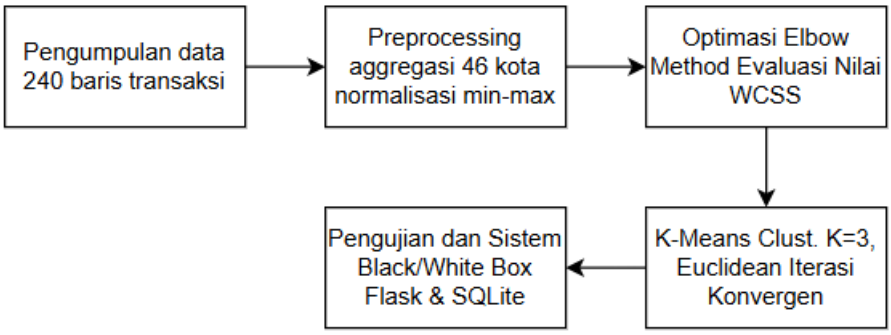
Sebagian besar penelitian logistik terdahulu berfokus pada kurir ekspedisi darat, segmentasi perilaku pelanggan ritel (RFM), atau pengelolaan inventaris barang statis. Kajian analitik yang meneliti karakteristik mikrotransaksi kargo udara berdasarkan frekuensi penerbangan dan tonase aktual pada rute bandara di Indonesia masih terbatas. Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan memakai dua variabel yang mudah dihitung dari data transaksi, yaitu total volume muatan dan rata-rata frekuensi pengiriman tahunan. Tujuan penelitian ini adalah menerapkan algoritma K-Means Clustering yang dioptimasi dengan Metode *Elbow* dan divalidasi dengan *Silhouette Coefficient* pada data transaksi kargo pesawat PT Eka Cipta Mandiri periode 2020–2025. Hasilnya diimplementasikan dalam sistem berbasis *web* yang menggunakan Python, Flask, dan basis data SQLite. Penelitian ini diharapkan menjadi dasar pengambilan keputusan yang terukur bagi manajemen dalam mengelola alokasi kapasitas kargo dan strategi penetapan tarif rute logistik udara.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam lima tahap: pengumpulan data, pra-pemrosesan data (*data preprocessing*), penentuan jumlah klaster optimal dengan Metode *Elbow* dan validasi *Silhouette Coefficient*, penerapan algoritma K-Means, serta perancangan dan pengujian sistem berbasis *web*. Alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

© 2027 The Author(s). Published by the Institute for Research and Community Service (LPPM) of STMIK Indonesia Banda Aceh. This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Jurnal Indonesia : Manajemen Informatika dan Komunikasi
https://journal.stmiki.ac.id
E-ISSN: 2723-7079 | P-ISSN: 2776-8074
Vol. 8 No. 1 (2027) | January
OPEN ACCESS
https://doi.org/10.63447/jimik.v8i1.2148



Gambar 1. Model Proses Penelitian

2.1 Pengumpulan Data

Dataset berupa data sekunder transaksi operasional kargo udara PT Eka Cipta Mandiri periode 2020 sampai 2025. Populasi awal terdiri atas 276 catatan transaksi tahunan dari rekaman rute pengiriman ke 46 bandara tujuan di Indonesia selama enam tahun. Variabel yang dihimpun meliputi kode bandara tujuan (IATA), nama kota tujuan, tahun transaksi, akumulasi volume muatan aktual (*chargeable weight*, dalam Kg), dan frekuensi penerbangan tahunan.

2.2 Pra-Pemrosesan Data

Pra-pemrosesan data terdiri atas tiga langkah, yaitu *data cleaning*, *data integration*, dan *data transformation*.

1) *Data cleaning*

Dari 276 baris data transaksi tahunan, dilakukan penyaringan integritas data. Sebanyak 36 baris memiliki volume 0,0 Kg dan frekuensi 0 kali. Kondisi ini disebabkan oleh terhentinya sementara operasional pengiriman pada rute perintis tertentu selama tahun kalender terkait, misalnya karena kendala teknis maskapai atau pembatasan rute. Ke-36 baris tersebut dihapus untuk mencegah bias akibat nilai nol semu, sehingga tersisa 240 baris data transaksi aktif dan valid.

2) *Data integration*

Sebanyak 240 baris data valid diagregasi ke dalam 46 titik wilayah tujuan unik. Pemilihan 46 destinasi sebagai unit analisis didasarkan pada kebutuhan perusahaan untuk menetapkan kebijakan kontrak alokasi ruang kargo tahunan berbasis bandara tujuan. Agregasi dilakukan pada dua variabel. Variabel pertama adalah total volume muatan (X_i), yaitu akumulasi seluruh bobot kargo (Kg) selama tahun aktif pengamatan, sebagaimana dinyatakan pada Persamaan (1). Variabel kedua adalah rata-rata frekuensi penerbangan tahunan (Y_i), yaitu total frekuensi penerbangan dibagi enam tahun periode penelitian (2020–2025) agar intensitas rute tercermin secara proporsional, sebagaimana dinyatakan pada Persamaan (2).

$$X_i = \sum_{t=1}^{T_i} V_{i,t} \quad (1)$$

$$Y_i = \frac{1}{6} \sum_{k=2020}^{2025} F_{i,k} \quad (2)$$

3) *Data transformation*

Data distandarisasi dengan normalisasi *Min-Max* ke rentang [0, 1] agar skala volume (1,0 sampai 1.043.372,0 Kg) tidak mendominasi frekuensi (1,00 sampai 177,00 kali). Normalisasi dihitung

© 2027 The Author(s). Published by the Institute for Research and Community Service (LPPM) of STMIK Indonesia Banda Aceh. This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Jurnal Indonesia : Manajemen Informatika dan Komunikasi
https://journal.stmiki.ac.id
E-ISSN: 2723-7079 | P-ISSN: 2776-8074
Vol. 8 No. 1 (2027) | January
OPEN ACCESS
https://doi.org/10.63447/jimik.v8i1.2148

dengan Persamaan (3), dengan parameter batas X_{min}= 1,0 Kg, X_{max}= 1.043.372,0 Kg, Y_{min}= 1,00 kali, dan Y_{max}= 177,00 kali. Persamaan yang sama berlaku untuk variabel Ydengan batas Y_{min}dan Y_{max}.

$$X' = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (3)$$

2.3 Optimasi Jumlah Klaster

Metode *Elbow* digunakan untuk menentukan nilai K terbaik dengan mengevaluasi penurunan nilai *Within-Cluster Sum of Squares* (WCSS) dari K=1 sampai K=10 menggunakan Persamaan (4). Titik siku (*elbow point*), yaitu titik ketika kurva WCSS mulai melandai secara signifikan, diidentifikasi sebagai jumlah klaster terbaik.

$$J = \sum_{j=1}^{K} \sum_{i=1}^{n_j} \|x_i - c_j\|^2 \quad (4)$$

Untuk memperkuat penilaian mutu klaster, digunakan juga *Silhouette Coefficient* (S_i) pada Persamaan (5). Nilai $a(i)$adalah rata-rata jarak intraklaster, yaitu jarak objek $i$ke seluruh objek lain dalam klaster yang sama, sedangkan $b(i)$adalah rata-rata jarak antarklaster terdekat, yaitu jarak objek $i$ke objek-objek pada klaster tetangga terdekat. Nilai koefisien berkisar dari -1 sampai 1, dan nilai yang mendekati 1 menunjukkan pemisahan klaster yang baik.

$$S_i = \frac{b(i) - a(i)}{\max(a,(i)\ b(i))} \quad (5)$$

2.4 Algoritma K-Means Clustering

Algoritma K-Means dijalankan melalui lima langkah berikut.

1) Inisialisasi pusat awal (*centroid*)
   Karena inisialisasi acak berpotensi menghasilkan konvergensi lokal yang kurang stabil, centroid awal pada K=3 ditentukan secara deterministik dengan memilih titik data riil yang mencerminkan profil muatan ekstrem dan median, yaitu Centroid 2 (C2, tinggi) pada titik Jayapura (DJJ) dengan koordinat (1,0000; 1,0000), Centroid 1 (C1, sedang) pada titik Surabaya (SUB) dengan koordinat (0,1217; 0,2330), dan Centroid 0 (C0, rendah) pada titik Samarinda (AAP) dengan koordinat (0,0007; 0,0170).
2) Penghitungan jarak
   Jarak antara titik data wilayah $x_i$dan setiap centroid $c_j$dihitung dengan jarak Euclidean pada Persamaan (6).

$$d(x_i, c_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^{n} (x_{ik} - c_{jk})^2} \quad (6)$$

3) Pengelompokan objek
   Setiap destinasi dimasukkan ke klaster dengan jarak terpendek.
4) Pembaruan centroid
   Titik pusat setiap klaster diperbarui menjadi nilai rata-rata (*mean*) seluruh anggota klaster tersebut menggunakan Persamaan (7).

$$c_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} x_i \quad (7)$$

5) Kondisi berhenti

© 2027 The Author(s). Published by the Institute for Research and Community Service (LPPM) of STMIK Indonesia Banda Aceh. This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Jurnal Indonesia : Manajemen Informatika dan Komunikasi
https://journal.stmiki.ac.id
E-ISSN: 2723-7079 | P-ISSN: 2776-8074
Vol. 8 No. 1 (2027) | January
OPEN ACCESS
https://doi.org/10.63447/jimik.v8i1.2148

Iterasi diulang hingga keanggotaan klaster tidak lagi berubah dan pergeseran koordinat centroid bernilai nol ($\Delta C = 0$).

2.5 Perancangan Arsitektur dan Pengujian Sistem

Sistem analitik dibangun dengan bahasa pemrograman Python 3.11, kerangka kerja Flask, dan basis data relasional SQLite. Desain sistem dimodelkan melalui diagram UML (*Use Case*, *Activity*, dan *Sequence Diagram*). Pengujian dilakukan melalui validasi numerik terhadap perhitungan manual Excel, uji fungsional *Black Box Testing*, dan uji struktural logika komputasi dengan *White Box Testing* (*Basis Path Testing*).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

Proses agregasi menghasilkan 46 wilayah destinasi kargo pesawat. Variabel total volume muatan memiliki X_{min} = 1,0 Kg dan X_{max} = 1.043.372,0 Kg. Variabel rata-rata frekuensi memiliki Y_{min} = 1,00 kali dan Y_{max} = 177,00 kali. Hasil agregasi dan normalisasi untuk seluruh destinasi disajikan pada Tabel 1. Sebagai contoh perhitungan, rata-rata frekuensi aktual destinasi Sorong (SOQ) adalah 77,33 kali per tahun. Nilai normalisasinya adalah Y = (77,33 − 1,00) / (177,00 − 1,00) = 0,4337, yang berada di bawah nilai maksimum data (Y_{max} = 177,00 kali).

Tabel 1. Hasil Pra-Pemrosesan dan Normalisasi Data

No	Kode Destinasi	Total Volume (Kg)	Rata-rata Frekuensi (kali)	X (Volume Normalisasi)	Y (Frekuensi Normalisasi)
1	AAP	707	4,00	0,0007	0,0170
2	AMQ	533468,5	140,83	0,5113	0,7945
3	BDJ	460317,5	102,00	0,4412	0,5739
4	BEJ	545,5	1,67	0,0005	0,0038
5	BIK	17413	8,80	0,0167	0,0443
6	BKS	21815	9,83	0,0209	0,0502
7	BPN	415062	73,83	0,3978	0,4138
8	BTH	628312	84,17	0,6022	0,4725
9	BTJ	164191,5	56,67	0,1574	0,3163
10	BWX	3710	8,33	0,0036	0,0417
11	DJB	48734,5	25,83	0,0467	0,1411
12	DJJ	1043372	177,00	1,0000	1,0000
13	DPS	171430	57,33	0,1643	0,3201
14	FLZ	574	4,00	0,0005	0,0170
15	GNS	180	1,50	0,0002	0,0028
16	GTO	32448,5	13,83	0,0311	0,0729
17	JOG	8029,5	17,00	0,0077	0,0909
18	KDI	211020,5	52,00	0,2022	0,2898
19	KNO	950966,5	73,33	0,9114	0,4110
20	KOE	213979,5	50,33	0,2051	0,2803
21	LBJ	6708,5	7,67	0,0064	0,0379
22	LOP	110782	40,83	0,1062	0,2263
23	MDC	389156	61,33	0,3730	0,3428
24	MJU	1	1,00	0,0000	0,0000
25	MKQ	148970	60,83	0,1428	0,3400
26	MLG	2205,5	7,40	0,0021	0,0364

© 2027 The Author(s). Published by the Institute for Research and Community Service (LPPM) of STMIK Indonesia Banda Aceh. This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Jurnal Indonesia : Manajemen Informatika dan Komunikasi
https://journal.stmiki.ac.id
E-ISSN: 2723-7079 | P-ISSN: 2776-8074
Vol. 8 No. 1 (2027) | January
OPEN ACCESS
https://doi.org/10.63447/jimik.v8i1.2148

27	NBX	2418	14,00	0,0023	0,0739
28	PDG	122436	40,17	0,1173	0,2225
29	PGK	39563,5	24,17	0,0379	0,1316
30	PKU	426134,5	72,67	0,4084	0,4072
31	PKY	106398	41,33	0,1020	0,2292
32	PLM	60364	29,00	0,0579	0,1591
33	PLW	229983	87,00	0,2204	0,4886
34	PNK	303218,4	121,33	0,2906	0,6837
35	SOC	7131	6,83	0,0068	0,0331
36	SOQ	227499,62	77,33	0,2180	0,4337
37	SRG	17013	19,33	0,0163	0,1042
38	SUB	126968,5	42,00	0,1217	0,2330
39	TIM	52294,5	25,33	0,0501	0,1383
40	TJQ	3420	5,67	0,0033	0,0265
41	TKG	7986,5	9,00	0,0077	0,0455
42	TNJ	184973	57,00	0,1773	0,3182
43	TRK	538	1,00	0,0005	0,0000
44	TTE	111589,5	49,50	0,1069	0,2756
45	UPG	581514,5	106,00	0,5573	0,5966
46	YIA	9164,5	5,17	0,0088	0,0237

Penentuan jumlah klaster dilakukan dengan mengevaluasi nilai *Within-Cluster Sum of Squares* (WCSS) dan rata-rata *Silhouette Score* untuk K=1 sampai K=10. Hasilnya disajikan pada Tabel 2. Nilai WCSS turun dari 6,5421 pada K=1 menjadi 2,1354 pada K=2 dan 0,8412 pada K=3. Selisih penurunan WCSS kemudian mengecil dari 1,2942 (K=2 ke K=3) menjadi 0,3091 (K=3 ke K=4) dan terus mengecil hingga 0,0263 pada K=10. Rata-rata *Silhouette Score* mencapai nilai tertinggi pada K=3, yaitu 0,612.

Tabel 2. Penentuan Nilai K Optimal Berbasis Metode Elbow dan Silhouette Coefficient

Nilai K	Nilai WCSS	Selisih Penurunan (Δ WCSS)	Persentase Penurunan	Rata-rata Silhouette Score
1	6,5421	-	-	-
2	2,1354	4,4067	67,36%	0,548
3	0,8412	1,2942	60,61%	0,612
4	0,5321	0,3091	36,75%	0,531
5	0,3815	0,1506	28,30%	0,495
6	0,2943	0,0872	22,86%	0,462
7	0,2311	0,0633	21,51%	0,441
8	0,1824	0,0486	21,04%	0,428
9	0,1478	0,0346	18,97%	0,415
10	0,1215	0,0263	17,79%	0,398

Dengan K=3 dan centroid awal pada koordinat C2 (1,0000; 1,0000), C1 (0,1217; 0,2330), dan C0 (0,0007; 0,0170), proses iterasi jarak Euclidean mencapai konvergensi pada iterasi ke-4. Perubahan posisi centroid dan jumlah anggota setiap klaster pada tiap iterasi disajikan pada Tabel 3. Pada iterasi ke-1, C2 beranggotakan 3 destinasi, C1 beranggotakan 23 destinasi, dan C0 beranggotakan 20 destinasi. Jumlah anggota C2 bertambah menjadi 5 pada iterasi ke-2 dan menjadi 6 pada iterasi ke-3, sedangkan C1 menjadi 18 lalu 17 destinasi dan C0 menjadi 23 destinasi. Pada iterasi ke-4, koordinat ketiga centroid tidak berubah (ΔC = 0) dan tidak ada destinasi yang berpindah klaster.

Tabel 3. Proses Komputasi Iterasi K-Means dan Dinamika Pergeseran Anggota

© 2027 The Author(s). Published by the Institute for Research and Community Service (LPPM) of STMIK Indonesia Banda Aceh. This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Jurnal Indonesia : Manajemen Informatika dan Komunikasi
https://journal.stmiki.ac.id
E-ISSN: 2723-7079 | P-ISSN: 2776-8074
Vol. 8 No. 1 (2027) | January
OPEN ACCESS
https://doi.org/10.63447/jimik.v8i1.2148

No	Tahap Perhitungan	Centroid C2 (Tinggi)	Centroid C1 (Sedang)	Centroid C0 (Rendah)	Anggota C2	Anggota C1	Anggota C0	Keterangan
1	Inisialisasi awal	(1,0000; 1,0000)	(0,1217; 0,2330)	(0,0007; 0,0170)	-	-	-	Penetapan titik DJJ, SUB, AAP
2	Iterasi ke-1	(0,8076; 0,7352)	(0,2290; 0,3436)	(0,0087; 0,0427)	3	23	20	Pembagian awal rute ekstrem
3	Iterasi ke-2	(0,7165; 0,6549)	(0,2196; 0,3553)	(0,0143; 0,0562)	5	18	23	BTH dan UPG bergeser ke C2
4	Iterasi ke-3	(0,6706; 0,6414)	(0,2066; 0,3424)	(0,0143; 0,0562)	6	17	23	BDJ bergeser ke C2
5	Iterasi ke-4 (konvergen)	(0,6706; 0,6414)	(0,2066; 0,3424)	(0,0143; 0,0562)	6	17	23	Posisi stabil (ΔC = 0)

Hasil akhir pengelompokan 46 destinasi disajikan pada Tabel 4. Klaster 2 (rute utama/tinggi) beranggotakan 6 destinasi, Klaster 1 (rute potensial/sedang) beranggotakan 17 destinasi, dan Klaster 0 (rute terbatas/rendah) beranggotakan 23 destinasi.

Tabel 4. Hasil Akhir Klasterisasi 46 Destinasi

Klaster	Kategori	Jumlah	Anggota Wilayah Destinasi (Kode IATA)
C2	Rute utama/tinggi	6	AMQ, BDJ, BTH, DJJ, KNO, UPG
C1	Rute potensial/sedang	17	BPN, BTJ, DPS, KDI, KOE, LOP, MDC, MKQ, PDG, PKU, PKY, PLW, PNK, SOQ, SUB, TNJ, TTE
C0	Rute terbatas/rendah	23	AAP, BEJ, BIK, BKS, BWX, DJB, FLZ, GNS, GTO, JOG, LBJ, MJU, MLG, NBX, PGK, PLM, SOC, SRG, TIM, TJQ, TKG, TRK, YIA

Karakteristik statistik masing-masing klaster dalam satuan aslinya (sebelum normalisasi) dirangkum pada Tabel 5. Rata-rata total volume muatan Klaster 2 adalah 699.658,1 Kg, jauh di atas Klaster 1 (224.717,1 Kg) dan Klaster 0 (15.195,5 Kg). Pola yang sama terlihat pada rata-rata frekuensi, yaitu 113,89 kali pada Klaster 2, 61,26 kali pada Klaster 1, dan 10,88 kali pada Klaster 0.

Tabel 5. Karakteristik Statistik Riil (Sebelum Normalisasi) pada Masing-Masing Klaster

Variabel	Ukuran Statistik	Klaster 2 (Utama/Tinggi)	Klaster 1 (Potensial/Sedang)	Klaster 0 (Terbatas/Rendah)
Total volume (Kg)	Rata-rata	699.658,1 Kg	224.717,1 Kg	15.195,5 Kg
	Standar deviasi	240.231,4 Kg	115.820,6 Kg	18.314,2 Kg
	Rentang (min–maks)	460.317,5–1.043.372,0 Kg	106.398,0–426.134,5 Kg	1,0–60.364,0 Kg
Rata-rata frekuensi	Rata-rata	113,89 kali	61,26 kali	10,88 kali
	Standar deviasi	38,72 kali	22,15 kali	8,46 kali

© 2027 The Author(s). Published by the Institute for Research and Community Service (LPPM) of STMIK Indonesia Banda Aceh. This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Jurnal Indonesia : Manajemen Informatika dan Komunikasi
https://journal.stmiki.ac.id
E-ISSN: 2723-7079 | P-ISSN: 2776-8074
Vol. 8 No. 1 (2027) | January
OPEN ACCESS
https://doi.org/10.63447/jimik.v8i1.2148

Rentang (min–maks)	73,33–177,00 kali	40,17–121,33 kali	1,00–29,00 kali

Sistem analitik berbasis *web* yang dikembangkan menyediakan fitur autentikasi, manajemen dataset transaksi, pengelompokan K-Means, visualisasi sebaran (*scatter plot*), dan ekspor laporan. Pengujian sistem terdiri atas tiga jenis. 1) Validasi komputasi menunjukkan bahwa koordinat centroid akhir pada sistem, yaitu Klaster 2 (0,6706; 0,6414), Klaster 1 (0,2066; 0,3424), dan Klaster 0 (0,0143; 0,0562), identik (100%) dengan simulasi perhitungan manual di Microsoft Excel. 2) Pengujian *Black Box* dilakukan pada 12 skenario yang mencakup alur *login*, unggah berkas valid dan tidak valid, proses K-Means, pemfilteran dinamis, serta ekspor berkas PDF dan CSV. Seluruh skenario menghasilkan luaran yang valid (100%) sesuai spesifikasi operasional. 3) Pengujian *White Box* (*Basis Path Testing*) pada kode utama K-Means menghasilkan *Control Flow Graph* (CFG) dengan 8 simpul (*nodes*), 10 relasi (*edges*), dan 3 simpul predikat (*predicate nodes*). Kompleksitas siklomatis yang diperoleh adalah $V(G) = 10 - 8 + 2 = 4$, dan seluruh 4 jalur independen berhasil dieksekusi tanpa kesalahan logika (*zero runtime defects*).

3.2 Pembahasan

Kurva WCSS pada Tabel 2 turun tajam dari K=1 ke K=2 dan K=3. Pada penambahan klaster dari K=4 sampai K=10, kurva melandai, dengan selisih penurunan yang menyusut dari 1,2942 menjadi 0,3091 pada K=4. Perubahan kemiringan ini membentuk titik siku (*elbow point*) pada K=3. Penentuan K=3 diperkuat oleh nilai *Silhouette Coefficient* yang mencapai puncak pada K=3 dengan skor 0,612, yang berada pada rentang struktur klaster yang baik. Hasil ini menunjukkan bahwa pembagian data menjadi tiga kelompok paling sesuai dibandingkan nilai K lainnya yang diuji. Dinamika iterasi pada Tabel 3 menunjukkan bagaimana keanggotaan klaster terbentuk. Pada iterasi ke-1, Klaster 2 hanya menarik 3 destinasi yang bernilai ekstrem dan dekat dengan titik awal (DJJ, AMQ, KNO). Ketika centroid C2 bergeser turun ke posisi (0,7165; 0,6549) pada iterasi ke-2, dua bandara berkapasitas besar, yaitu Batam (BTH) dan Makassar (UPG), yang sebelumnya berada di perbatasan C1 menjadi lebih dekat ke C2. Keanggotaan C2 pun bertambah menjadi 5 destinasi. Pada saat yang sama, 3 destinasi berfrekuensi rendah di C1 berpindah ke C0, sehingga C0 stabil pada 23 anggota. Pergeseran centroid C2 pada iterasi ke-3 menarik Banjarmasin (BDJ), dengan total volume 460.317,5 Kg, dari C1 ke C2. Dengan demikian C2 mencakup 6 destinasi dan C1 menjadi 17 destinasi. Pada iterasi ke-4, koordinat ketiga centroid tidak lagi bergeser ($\Delta C = 0$) dan tidak ada objek yang berpindah klaster, sehingga partisi telah mencapai kestabilan lokal optimum (*local convergence*).

Klaster 2 (rute utama/tinggi) didominasi oleh bandara *hub* logistik di luar Jawa dan ibu kota strategis, dengan rata-rata volume 699,6 ton dan rata-rata frekuensi 113,89 kali per tahun. Selain Jayapura (DJJ), Kualanamu (KNO), dan Makassar (UPG), klaster ini memuat Batam (BTH, 628 ton), Ambon (AMQ, 533 ton), dan Banjarmasin (BDJ, 460 ton). BTH menjadi simpul logistik industri manufaktur Kepulauan Riau, AMQ merupakan pusat distribusi komoditas maritim dan perikanan Indonesia Timur, sedangkan BDJ melayani jalur logistik pertambangan dan perdagangan Kalimantan Selatan. Bagi manajemen, karakteristik ini berimplikasi pada perlunya PT Eka Cipta Mandiri mengamankan kapasitas kargo pada rute-rute tersebut melalui kontrak *Block Space Agreement* (BSA) jangka panjang dengan maskapai untuk mencegah risiko gagal angkut (*offload*). Tarif khusus juga dapat diberlakukan bagi pelanggan korporat dengan volume rutin.

Klaster 1 (rute potensial/sedang) mencakup kota-kota dengan karakteristik yang stabil, yaitu rata-rata volume 224,7 ton dan rata-rata frekuensi 61,26 kali. Pontianak (PNK) dan Sorong (SOQ) memiliki keunikan operasional. PNK mencatat frekuensi yang sangat tinggi (121,33 kali) dengan volume sekitar 303 ton, sedangkan SOQ memiliki frekuensi 77,33 kali dengan volume 227 ton. Keduanya masuk ke Klaster 1 karena K-Means menyeimbangkan jarak pada dua dimensi ternormalisasi terhadap titik pusat C1 (0,2066; 0,3424), sehingga mencerminkan pola pengiriman bervolume menengah namun rutin. Manajemen dapat merancang skema tarif bertingkat (*weight-break rates*) untuk mendorong peningkatan tonase kargo per penerbangan pada klaster ini.

© 2027 The Author(s). Published by the Institute for Research and Community Service (LPPM) of STMIK Indonesia Banda Aceh. This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Jurnal Indonesia : Manajemen Informatika dan Komunikasi
https://journal.stmiki.ac.id
E-ISSN: 2723-7079 | P-ISSN: 2776-8074
Vol. 8 No. 1 (2027) | January
OPEN ACCESS
https://doi.org/10.63447/jimik.v8i1.2148

Klaster 0 (rute terbatas/rendah) mencakup 23 wilayah dengan rata-rata volume hanya 15,1 ton dan rata-rata frekuensi 10,88 kali. Tarakan (TRK) dengan volume 538 Kg dan frekuensi 1,00 kali (X normalisasi = 0,0005; Y normalisasi = 0,0000) masuk ke Klaster 0 karena jarak Euclidean-nya paling dekat ke centroid C0 (0,0579), dibandingkan dengan jarak ke C1 (0,4174) dan C2 (0,9276). Pada rute perintis seperti ini, pemesanan kuota kargo tetap kurang sesuai dengan intensitas pengirimannya. Penerapan sistem konsolidasi kargo (*cargo consolidation*) dan biaya penanganan tambahan (*handling surcharge*) lebih sesuai untuk menutup tarif batas minimum maskapai.

Hasil pengujian sistem menunjukkan bahwa implementasi pada aplikasi *web* konsisten dengan perhitungan manual. Kesamaan koordinat centroid akhir dengan simulasi Microsoft Excel memperlihatkan bahwa kode program menjalankan tahapan K-Means sesuai dengan rumus yang dipaparkan pada bagian metode. Seluruh skenario *Black Box* yang mencakup unggah data, proses klasterisasi, pemfilteran, dan ekspor laporan menghasilkan luaran yang sesuai spesifikasi. Pengujian *White Box* dengan V(G) = 4 menunjukkan bahwa seluruh jalur logika pada kode utama K-Means dapat dieksekusi. Hasil tersebut menjadi dasar bahwa sistem dapat dipakai manajemen untuk mengelompokkan wilayah tujuan pengiriman secara berulang.

4. Kesimpulan

Penerapan algoritma K-Means Clustering yang dipadukan dengan Metode *Elbow* mampu memetakan pola distribusi kargo udara PT Eka Cipta Mandiri berdasarkan total volume muatan dan rata-rata frekuensi pengiriman. Evaluasi *Within-Cluster Sum of Squares* (WCSS) menunjukkan titik siku pada K=3, dan hasil ini didukung oleh *Silhouette Coefficient* sebesar 0,612. Dengan *centroid* awal yang diambil dari data riil, perhitungan jarak Euclidean konvergen pada iterasi ke-4 dan membagi jaringan pengiriman menjadi Klaster 2 (6 destinasi rute utama), Klaster 1 (17 destinasi rute potensial), dan Klaster 0 (23 destinasi rute terbatas). Sistem berbasis *web* yang dibangun dengan Flask dan SQLite menghasilkan perhitungan yang identik dengan simulasi manual Excel. Seluruh skenario pengujian *Black Box* sesuai spesifikasi, dan 4 jalur logika pada pengujian *White Box* berhasil dieksekusi. Hasil segmentasi ini dapat menjadi dasar bagi manajemen dalam menetapkan kontrak alokasi ruang kargo (*Block Space Agreement*) pada rute utama, merancang promosi tarif pada rute potensial, dan menerapkan konsolidasi muatan pada rute perintis. Pengembangan selanjutnya dapat menambahkan variabel pendapatan (*revenue*) dan dimensi volume kemasan barang, serta mengintegrasikan API manifes maskapai penerbangan secara *real-time*.

5. Ucapan Terima Kasih

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan. Penulis menyampaikan terima kasih yang mendalam kepada Ibu Devi Damayanti selaku dosen pembimbing atas bimbingan, arahan, kesabaran, serta waktu dan tenaga yang diberikan sejak penyusunan awal hingga penelitian ini selesai. Terima kasih yang tulus penulis persembahkan kepada kedua orang tua dan keluarga atas doa, dorongan moral, motivasi, kasih sayang, dan dukungan materi yang menjadi sumber kekuatan selama penulis menempuh pendidikan sarjana. Penulis juga berterima kasih kepada pimpinan Universitas Pamulang serta jajaran dosen Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, atas ilmu dan fasilitas yang diberikan. Ucapan terima kasih disampaikan pula kepada manajemen operasional PT Eka Cipta Mandiri atas izin dan keterbukaan akses data kargo udara yang menjadi dasar penelitian ini, serta kepada rekan-rekan mahasiswa Teknik Informatika Universitas Pamulang, terutama teman sekelas, atas kebersamaan, bantuan, dan dukungan dalam penyelesaian karya ilmiah ini.

© 2027 The Author(s). Published by the Institute for Research and Community Service (LPPM) of STMIK Indonesia Banda Aceh. This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

E-ISSN: 2723-7079 | P-ISSN: 2776-8074
Vol. 8 No. 1 (2027) | January
OPEN ACCESS
https://doi.org/10.63447/jimik.v8i1.2148

6. Pernyataan Penulis

Sesuai dengan prinsip transparansi dan etika publikasi ilmiah, penulis menyampaikan pernyataan mengenai penggunaan kecerdasan buatan (AI), kontribusi penulis, pendanaan, dan konflik kepentingan sebagai berikut.

1) Pengungkapan Penggunaan AI
   Penulis menggunakan alat bantu kecerdasan buatan generatif hanya untuk membantu menyusun dan memperbaiki kalimat (penyuntingan bahasa). Alat tersebut tidak digunakan untuk menentukan kesimpulan, menganalisis data, menginterpretasi hasil, atau menghasilkan temuan penelitian. Penulis telah meninjau dan menyunting seluruh isi naskah serta bertanggung jawab penuh atas keakuratan dan keaslian naskah ini.
2) Kontribusi Penulis
   Seluruh penulis berkontribusi dalam perumusan gagasan penelitian, perancangan metode, pengembangan sistem, pengumpulan dan analisis data, validasi hasil, serta penulisan dan penyuntingan naskah. Seluruh penulis telah membaca dan menyetujui versi akhir naskah ini.
3) Pendanaan
   Penelitian ini tidak menerima pendanaan eksternal.
4) Konflik Kepentingan
   Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

7. Daftar Pustaka

Ahmed, M., Seraj, R., & Islam, S. M. S. (2020). The k-means algorithm: A comprehensive survey and performance evaluation. *Electronics*, *9*(8), Article 1295. https://doi.org/10.3390/electronics9081295

Budiyanto, I., Hermawan, A., & Avianto, D. (2025). Segmentasi nasabah kartu kredit berdasarkan pola transaksi untuk penentuan profil nasabah. *Jurnal Informatika dan Komputer (JIKO)*, *9*(3), 560–569. https://doi.org/10.26798/jiko.v9i3.1669

Febrian, F., Suarna, N., & Dwilestari, D. (2022). Penerapan algoritma K-Means untuk mengelompokkan data pengiriman paket di Kantor Pos Cirebon. *Jurnal Sistem Informasi dan Komputer Terapan*, *15*(1), 23–27.

Feng, B., Li, Y., & Shen, Z. J. M. (2020). Air cargo operations: Literature review and comparison with passenger transportation. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *140*, Article 102008. https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102008

Hanum, N., Prianto, C., Rahayu, W. I., & Kishendrian, H. D. (2023). Penerapan metode clustering dalam segmentasi pelanggan perusahaan logistik. *Sintech Journal*, *6*(3), 137–146. https://doi.org/10.31598/sintechjournal.v6i3.1465

Hasibuan, N. K., & Dur, S. (2022). Penentuan jumlah klaster optimal K-Means menggunakan metode Elbow pada pengelompokan daerah logistik. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, *6*(2), 295–305. https://doi.org/10.33379/gtech.v6i2.1554

Izzah, L., & Jananto, A. (2022). Penerapan algoritma K-Means clustering untuk perencanaan kebutuhan obat di Klinik Citra Medika. *Progresif: Jurnal Ilmiah Komputer*, *18*(1), 69–78. https://doi.org/10.35889/progresif.v18i1.769

© 2027 The Author(s). Published by the Institute for Research and Community Service (LPPM) of STMIK Indonesia Banda Aceh. This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

E-ISSN: 2723-7079 | P-ISSN: 2776-8074
Vol. 8 No. 1 (2027) | January
OPEN ACCESS
https://doi.org/10.63447/jimik.v8i1.2148

Li, T., Rong, Y., & Yan, H. (2021). Air cargo space allocation under demand uncertainty: A clustering and optimization framework. *Computers & Industrial Engineering*, *157*, Article 107328. https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107328

Muslimah, M., Subagio, R. T., & Kartika, V. D. (2024). Penerapan metode K-Means untuk klasterisasi minat dan bakat siswa terhadap ekstrakurikuler sekolah. *REMIK: Riset dan E-Jurnal Manajemen Informatika Komputer*, *8*(3), 882–897. https://doi.org/10.33395/remik.v8i3.14008

Osadi, Q. S., Wulan, R., & Pinahayu, E. A. R. (2024). Penerapan metode K-Means clustering untuk pengelompokan paket berdasarkan cover area pengiriman kurir. *Jurnal Rekayasa Komputasi Terapan*, *4*(3), 275–281. https://doi.org/10.30998/jrkt.v4i03.10174

Prasetya, A., Salkiawati, R., & Alexander, A. D. (2023). Analisis cluster K-Means dengan metode Elbow untuk menentukan pola penjualan produk Traffic Room Summarecon Mal Bekasi. *Journal of Students' Research in Computer Science*, *4*(1), 105–118. https://doi.org/10.31599/jsrcs.v4i1.2480

Pratama, F. R., & Purwanto, P. (2024). Implementasi K-Means clustering berbasis web untuk analisis data penjualan ekspedisi di Lion Parcel Ciledug Tangerang. *Prosiding Seminar Nasional Mahasiswa Fakultas Teknologi Informasi (SENAFTI)*, *3*(2), 547–557.

Rousseeuw, P. J. (1987). Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, *20*, 53–65. https://doi.org/10.1016/0377-0427(87)90125-7

Sinaga, K. P., & Yang, M. S. (2020). Unsupervised K-means clustering algorithm. *IEEE Access*, *8*, 80716–80727. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988796

Triwidianto, A., & Musyaffa, N. (2021). Perancangan aplikasi penanganan kargo udara berbasis Android menggunakan metode Waterfall. *Simpatik: Jurnal Sistem Informasi dan Informatika*, *1*(1), 26–35. https://doi.org/10.31294/simpatik.v1i1.125

Zhang, Y., Zhang, A., & Chen, X. (2023). Network connectivity and cluster analysis of air cargo logistics hubs: Empirical evidence from Asia-Pacific region. *Journal of Air Transport Management*, *108*, Article 102374. https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2023.102374.

© 2027 The Author(s). Published by the Institute for Research and Community Service (LPPM) of STMIK Indonesia Banda Aceh. This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).