

Penerapan PAM Clustering untuk Analisis Pola dan Optimasi Pemesanan Tiket Angkutan Umum

Syaffina Amalia Ash'ari¹, Liza Fitria², Rizalul Akram³

^{1,2,3} Program Studi Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Samudra, Indonesia
syaffinaamalia13@gmail.com, lizafitria@unsam.ac.id, rizalulakram@unsam.ac.id

Info Artikel

Riwayat Artikel:

Received 2025-12-26

Revised 2026-06-23

Accepted 2026-07-01

Abstract – This study aims to analyze bus and minibus (Hiace) ticket booking patterns using the Partitioning Around Medoids (PAM) clustering method to support the optimization of public transportation operations. Managing fleet allocation and departure schedules is crucial for maintaining operational efficiency due to varying passenger mobility. This research applies the Knowledge Discovery in Databases (KDD) framework to analyze historical booking data obtained from the Transportation Agency of Aceh Tamiang Regency. The systematic stages include data selection, preprocessing, data transformation, application of the PAM algorithm, and comprehensive evaluation of the clustering results. A total of 76 transaction data records covering 15 main travel routes were analyzed and grouped into three distinct clusters based on booking frequency: stable-demand, high-demand, and very high-demand clusters. The evaluation results demonstrate that the PAM algorithm successfully identifies specific demand patterns across different routes with a Total Cost value of 2.0, indicating a highly stable and well-structured clustering outcome. Furthermore, this model is integrated into a desktop-based system to facilitate efficient data processing. Ultimately, the findings provide valuable insights into passenger demand characteristics for each route, which can actively support strategic decision-making in scheduling, effective fleet allocation, and overall service management improvement.

Keywords: Clustering; Data Mining; Knowledge Discovery In Databases (KDD); Partitioning Around Medoids (PAM); Public Transportation Optimization; Ticket Booking Patterns; Transportation Demand.

Corresponding Author:

Syaffina Amalia Ash'ari

Email:syaffinaamalia13@gmail.com



This is an open access article under the [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.

Abstrak – Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola pemesanan tiket bus dan minibus (Hiace) menggunakan metode clustering Partitioning Around Medoids (PAM) guna mendukung optimalisasi operasional transportasi umum. Pengelolaan alokasi armada dan jadwal keberangkatan sangat penting untuk menjaga efisiensi operasional akibat bervariasinya mobilitas penumpang. Penelitian ini menerapkan kerangka kerja Knowledge Discovery in Databases (KDD) untuk menganalisis data historis pemesanan tiket yang diperoleh dari Dinas Perhubungan Kabupaten Aceh Tamiang. Tahapan sistematis yang dilakukan meliputi seleksi data, preprocessing, transformasi data, penerapan algoritma PAM, serta evaluasi komprehensif terhadap hasil clustering. Sebanyak 76 data transaksi yang mencakup 15 rute perjalanan utama telah dianalisis dan dikelompokkan ke dalam tiga cluster berbeda berdasarkan frekuensi pemesanan, yaitu cluster dengan permintaan stabil, tinggi, dan sangat tinggi. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa algoritma PAM berhasil mengidentifikasi pola permintaan spesifik di berbagai rute dengan nilai Total Cost sebesar 2,0, yang mengindikasikan hasil clustering yang sangat stabil dan terstruktur dengan baik. Selanjutnya, model ini diintegrasikan ke dalam sistem berbasis desktop untuk memfasilitasi pemrosesan data yang efisien. Pada akhirnya, temuan ini memberikan wawasan berharga mengenai karakteristik permintaan penumpang untuk setiap rute, yang secara aktif dapat mendukung pengambilan keputusan strategis dalam penjadwalan, pengalokasian armada yang efektif, serta peningkatan manajemen layanan secara keseluruhan.

Kata Kunci: Clustering; Data Mining; Knowledge Discovery In Databases (KDD); Optimasi Transportasi; Partitioning Around Medoids (PAM); Pola Pemesanan Tiket.

I. PENDAHULUAN

Transportasi merupakan salah satu sektor penting yang berperan dalam mendukung mobilitas masyarakat serta aktivitas ekonomi suatu wilayah. Sistem transportasi umum yang efektif diperlukan untuk memastikan ketersediaan layanan yang sesuai dengan kebutuhan pengguna. Peningkatan mobilitas masyarakat menyebabkan adanya variasi tingkat permintaan pada setiap rute perjalanan, sehingga pengelolaan armada dan jadwal keberangkatan menjadi aspek penting dalam menjaga efisiensi operasional transportasi [1].

Dinas Perhubungan Kabupaten Aceh Tamiang sebagai instansi yang mengelola layanan transportasi umum memiliki peran dalam memastikan ketersediaan armada berdasarkan kebutuhan masyarakat. Namun, perbedaan pola pemesanan tiket pada setiap tujuan menyebabkan adanya rute dengan tingkat permintaan tinggi dan rute dengan permintaan yang lebih rendah. Kondisi tersebut dapat menyebabkan ketidakseimbangan dalam pengalokasian armada apabila tidak didukung oleh analisis data yang tepat [2].

Perkembangan teknologi informasi memungkinkan pemanfaatan data historis sebagai sumber informasi dalam mendukung pengambilan keputusan. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah data mining, yaitu proses untuk menemukan pola, hubungan, dan informasi tersembunyi dari kumpulan data dalam jumlah besar [3]. Melalui teknik data mining, data pemesanan tiket dapat dianalisis untuk memperoleh informasi yang mendukung proses perencanaan dan pengambilan keputusan.

Salah satu metode dalam data mining yang dapat digunakan untuk melakukan pengelompokan data adalah clustering. Metode clustering mampu mengelompokkan objek berdasarkan tingkat kemiripan karakteristik tertentu sehingga pola dalam data dapat lebih mudah dianalisis [4].

Partitioning Around Medoids (PAM) merupakan salah satu algoritma clustering berbasis partisi yang menggunakan objek aktual sebagai pusat cluster (medoid). Penggunaan medoid membuat PAM memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menangani noise dan data ekstrem dibandingkan metode yang menggunakan centroid sebagai pusat cluster [5].

Penelitian terkait penerapan PAM menunjukkan bahwa algoritma ini dapat digunakan untuk menghasilkan pengelompokan data yang representatif pada berbagai bidang. Penelitian Orisa dan Faisol menunjukkan bahwa metode PAM dapat diterapkan untuk proses klasterisasi data dengan menghasilkan kelompok berdasarkan karakteristik tertentu [6].

Pada bidang transportasi, metode clustering juga telah digunakan untuk menganalisis pola permintaan penumpang. Penelitian mengenai pengelompokan permintaan transportasi publik menunjukkan bahwa pendekatan clustering dapat membantu mengidentifikasi karakteristik perjalanan berdasarkan data historis sehingga mendukung proses perencanaan layanan transportasi [7].

Meskipun berbagai penelitian telah menerapkan metode clustering pada bidang pendidikan, penjualan, produksi, dan transportasi, penerapan metode *Partitioning Around Medoids* (PAM) untuk menganalisis pola pemesanan tiket angkutan umum pada tingkat daerah masih belum banyak dilakukan. Selain itu, sebagian penelitian sebelumnya masih berfokus pada proses pengelompokan data tanpa menghubungkan hasil cluster dengan rekomendasi operasional yang dapat diterapkan secara langsung.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode *Partitioning Around Medoids* (PAM) dalam menganalisis pola pemesanan tiket angkutan umum pada Dinas Perhubungan Kabupaten Aceh Tamiang. Hasil pengelompokan diharapkan dapat memberikan informasi mengenai karakteristik permintaan setiap rute serta menjadi dasar dalam mendukung pengambilan keputusan terkait penjadwalan keberangkatan dan pengalokasian armada transportasi secara lebih efektif.

II. METODE

A. Data Mining

Data mining merupakan proses analisis terhadap kumpulan data dalam jumlah besar untuk menemukan pola, hubungan, dan informasi yang memiliki nilai guna. Proses ini dilakukan dengan menerapkan berbagai metode analisis sehingga data yang sebelumnya hanya berupa informasi mentah dapat diolah menjadi pengetahuan yang dapat mendukung proses pengambilan keputusan. Pada penelitian ini, data mining digunakan untuk menganalisis pola pemesanan tiket angkutan umum berdasarkan data historis transaksi sehingga dapat diperoleh informasi yang mendukung pengelolaan operasional transportasi [8].

Proses pengolahan data pada penelitian ini menggunakan kerangka kerja Knowledge Discovery in Databases (KDD). KDD merupakan pendekatan sistematis yang digunakan untuk memperoleh pengetahuan dari data melalui beberapa tahapan, yaitu seleksi data, preprocessing, transformasi data, data mining, serta evaluasi dan interpretasi hasil. Tahapan KDD digunakan agar proses analisis data dapat dilakukan secara terstruktur dan menghasilkan informasi yang sesuai dengan tujuan penelitian [9].

B. Preprocessing dan Transformasi Data

Data mentah yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 76 transaksi pemesanan tiket angkutan umum yang diproses melalui beberapa tahap pengolahan data. Tahap pertama dilakukan melalui seleksi atribut, yaitu dengan mempertahankan atribut tujuan perjalanan dan frekuensi pemesanan sebagai variabel yang digunakan dalam proses analisis clustering. Selanjutnya, setiap tujuan perjalanan diinisialisasi menjadi kode unik untuk mempermudah proses pengolahan data, seperti BREN untuk Bireuen dan LGS untuk Langsa.

Tahap berikutnya adalah proses transformasi data, yaitu mengubah nilai frekuensi pemesanan ke dalam bentuk skala ordinal 1–5. Skala tersebut digunakan untuk merepresentasikan tingkat permintaan, di mana nilai 1 menunjukkan frekuensi pemesanan sangat rendah dan nilai 5 menunjukkan frekuensi pemesanan sangat tinggi. Tahap preprocessing dilakukan untuk memperbaiki kualitas data dengan menghilangkan data yang tidak lengkap, redundan, atau tidak relevan sehingga data dapat digunakan pada proses clustering [10].

C. Algoritma Partitioning Around Medoids (PAM)

Partitioning Around Medoids (PAM) merupakan metode clustering berbasis partisi yang diperkenalkan oleh Kaufman dan Rousseeuw. PAM termasuk ke dalam algoritma clustering yang bertujuan untuk mengelompokkan data ke dalam beberapa cluster berdasarkan tingkat kemiripan. Berbeda dengan K-Means yang menggunakan centroid (nilai rata-rata) sebagai pusat cluster, PAM menggunakan objek aktual dari data yang disebut medoid sebagai representasi pusat cluster. Penggunaan medoid membuat PAM lebih robust terhadap noise dan outlier karena pusat cluster tidak dipengaruhi oleh nilai ekstrem, melainkan dipilih langsung dari data yang paling representatif. Secara umum, algoritma PAM bekerja dengan meminimalkan total ketidaksamaan (Total Cost) antara setiap objek dengan medoid pada cluster-nya. Proses ini diawali dengan pemilihan medoid awal, kemudian setiap objek dialokasikan ke medoid terdekat menggunakan ukuran jarak tertentu. Selanjutnya dilakukan proses iterasi berupa pertukaran (swapping) antara medoid dan non-medoid untuk mencari konfigurasi cluster dengan nilai Total Cost minimum. Proses ini akan berhenti ketika tidak ditemukan lagi perubahan medoid yang dapat menurunkan nilai Total Cost, sehingga diperoleh hasil clustering yang optimal dan stabil. [11]

Proses clustering menggunakan algoritma PAM dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Penentuan Jumlah Cluster (K)

Jumlah cluster optimal ditentukan sebanyak 3 ($K = 3$) berdasarkan hasil analisis metode elbow serta pertimbangan kebutuhan operasional penelitian. Ketiga cluster tersebut merepresentasikan kategori permintaan rendah, sedang, dan tinggi. Penentuan jumlah cluster dilakukan dengan mengamati penurunan nilai Total Cost pada setiap variasi jumlah cluster. Hasil analisis menunjukkan bahwa penurunan nilai Total Cost mulai melandai pada $K = 3$, sehingga jumlah cluster tersebut dipilih sebagai konfigurasi yang paling optimal. [18]

2. Inisialisasi Medoid Awal

Medoid awal dipilih berdasarkan data penelitian yang dianggap dapat merepresentasikan variasi karakteristik data. Pada penelitian ini digunakan BREN (skala 3), LGS (skala 5), dan MDN (skala 4) sebagai medoid awal yang mewakili masing-masing cluster sebelum dilakukan proses iterasi.

3. Perhitungan jarak dan proses iterasi

Setiap objek atau tujuan perjalanan dikelompokkan berdasarkan jarak terdekat terhadap medoid. Pada penelitian ini, perhitungan jarak menggunakan Manhattan Distance yang disederhanakan untuk data univariat dengan persamaan: (1).

$$d(x,y) = |x - y|$$

dengan:

- $d(x,y)$ = jarak antara objek x dan y ;
- x = nilai skala frekuensi pemesanan pertama;
- y = nilai skala frekuensi pemesanan kedua.

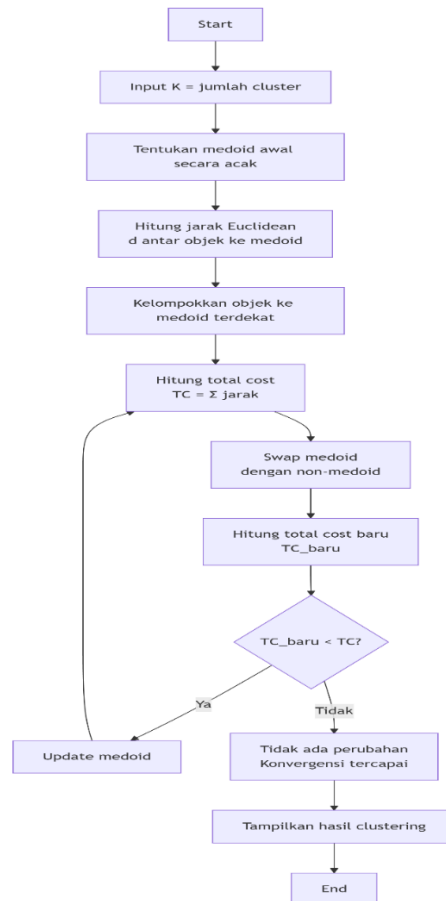
Objek kemudian ditempatkan ke dalam cluster berdasarkan nilai jarak terkecil terhadap medoid. Setelah proses pengelompokan awal dilakukan, algoritma PAM melakukan proses pertukaran (*swapping*) antara medoid dan non-medoid untuk memperoleh nilai Total Cost minimum [11].

4. Kriteria Berhenti

Proses iterasi dihentikan apabila tidak ditemukan lagi perubahan medoid yang mampu menurunkan nilai Total Cost. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa konfigurasi cluster yang terbentuk telah mencapai kondisi stabil dan dapat digunakan sebagai hasil akhir proses clustering [11].

D. Tahapan Metode PAM

Algoritma *Partitioning Around Medoids* (PAM) digunakan sebagai inti dalam sistem clustering data pemesanan tiket Bus dan Hiace. Algoritma ini dipilih karena kemampuannya dalam melakukan pengelompokan berdasarkan objek aktual sebagai pusat cluster (medoid) sehingga mampu menghasilkan kelompok data yang lebih representatif pada proses analisis clustering [3]. Alur proses algoritma PAM yang diterapkan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Sistem PAM

Penelitian ini merupakan penelitian terapan dengan pendekatan kuantitatif. Kerangka metodologi yang digunakan mengacu pada tahapan *Knowledge Discovery in Databases* (KDD), yaitu data selection, preprocessing, transformation, data mining, dan interpretation/evaluation. Tahapan KDD digunakan sebagai alur sistematis dalam proses pengolahan data mulai dari data awal hingga menghasilkan informasi berdasarkan hasil analisis [9].

Tahapan penelitian dimulai dengan proses pengumpulan data pemesanan tiket angkutan umum yang diperoleh dari Dinas Perhubungan Kabupaten Aceh Tamiang periode Januari hingga Juni 2024. Data yang diperoleh kemudian melalui proses seleksi dan preprocessing untuk memastikan kualitas data yang digunakan dalam penelitian. Selanjutnya dilakukan proses transformasi data ke dalam bentuk yang sesuai untuk kebutuhan proses clustering.

Pada tahap data mining, algoritma PAM diterapkan untuk mengelompokkan data berdasarkan pola frekuensi pemesanan tiket. Proses clustering dilakukan melalui penentuan medoid awal, perhitungan jarak menggunakan Manhattan Distance, proses pertukaran medoid (*swapping*), serta evaluasi nilai Total Cost hingga diperoleh konfigurasi *cluster* yang optimal [3]. Hasil clustering kemudian dianalisis pada tahap interpretasi untuk menghasilkan informasi yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan operasional.

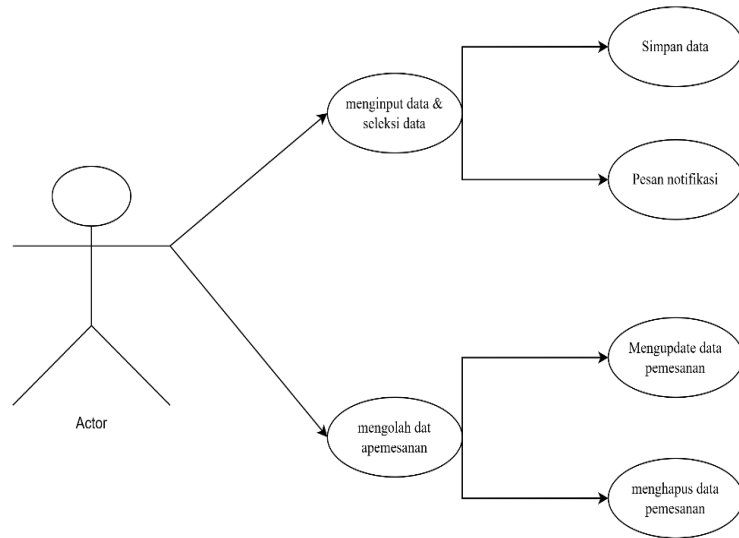
Implementasi sistem dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Visual Basic .NET dengan Microsoft Access sebagai basis data. Sistem yang dikembangkan mampu mengintegrasikan proses input data, pengolahan clustering, visualisasi hasil cluster, serta penyajian rekomendasi operasional berdasarkan hasil pengelompokan data.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perancangan Sistem

Model sistem yang dirancang dalam penelitian ini menggunakan pendekatan *Unified Modeling Language* (UML) sebagai alat bantu pemodelan untuk menggambarkan kebutuhan sistem, struktur, serta interaksi antara pengguna dengan sistem yang dikembangkan. UML merupakan standar pemodelan dalam pengembangan perangkat lunak berbasis objek yang digunakan untuk memberikan representasi visual terhadap proses, fungsi, dan hubungan antar komponen sistem sehingga mempermudah proses analisis dan perancangan sistem [12].

Sistem yang dikembangkan bertujuan untuk melakukan pengelompokan data pemesanan tiket bus dan Hiace berdasarkan pola frekuensi pemesanan menggunakan algoritma *Partitioning Around Medoids* (PAM). Hasil pengelompokan tersebut digunakan untuk membantu proses analisis pola permintaan penumpang serta memberikan informasi pendukung dalam pengambilan keputusan terkait pengelolaan layanan transportasi umum.



Gambar 2. Case Diagram Titik Awal Cluster

B. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Dinas Perhubungan Kabupaten Aceh Tamiang untuk periode Januari hingga Juni 2024. Data terdiri atas catatan harian angkutan Bus Besar dan Travel/Hiace yang tercatat di Terminal Tipe B Aceh Tamiang, yang meliputi informasi jenis angkutan, tanggal keberangkatan, nomor kendaraan, nama PO/Travel, asal, dan tujuan perjalanan. Total data yang terkumpul sebanyak 76 transaksi dari berbagai rute di wilayah Aceh dan Sumatera Utara.

Selanjutnya dilakukan proses seleksi atribut dengan mempertahankan atribut tujuan dan frekuensi pemesanan sebagai dasar analisis clustering. Data frekuensi pemesanan kemudian ditransformasikan ke dalam skala ordinal 1–5 untuk mempermudah proses pengelompokan data. Transformasi data merupakan salah satu tahapan penting dalam proses pengolahan data yang bertujuan mengubah data ke dalam bentuk yang sesuai agar dapat digunakan pada proses analisis dan menghasilkan pengelompokan yang lebih optimal [13]. Hasil transformasi data disajikan pada Tabel 1.

TABEL 1
DATA BUS DAN TRAVEL

No	Jenis Angkutan	Hari	Tanggal	Jam	Plat	Nama PO/Travel	Asal	Tujuan
1	Bus Besar	Senin	08/01/2024	07:00	BL 7388 JH	PO. Kurnia	Banda Aceh	Bireuen
2	Travel/Hiace	Senin	08/01/2024	06:30	BL 2345 AC	Travel Sejahtera	Banda Aceh	Bireuen
3	Bus Besar	Jumat	12/01/2024	14:30	BL 7524 AB	PO. PMTOH	M edan	Lhokseumawe
4	Travel/Hiace	Jumat	12/01/2024	08:15	BK 3456 BD	Travel Mulia	Medan	Lhokseumawe
5	Bus Besar	Selasa	16/01/2024	08:15	BL 7688 JH	PO. Beuna	Banda Aceh	Stabat
6	Travel/Hiace	Selasa	16/01/2024	07:45	BL 4567 CE	Travel Lancang	Banda Aceh	Stabat
7	Bus Besar	Senin	22/01/2024	13:00	E 7791 YC	PO. Geumpang Permai	Langsa	Meulaboh
8	Travel/Hiace	Senin	22/01/2024	12:30	BM 5678 DF	Travel Setia	Langsa	Meulaboh
9	Bus Besar	Rabu	07/02/2024	09:45	BL 7554 AA	PO. Kurnia	Banda Aceh	Sigli

10	Travel/Hiace	Rabu	07/02/2024	09:00	BL 6789 EG	Travel Pase	Banda Aceh	Sigli
11	Bus Besar	Jumat	16/02/2024	16:20	BL 7785 PB	PO. ALS	P. Brandan	Lhoksukon
12	Travel/Hiace	Jumat	16/02/2024	15:30	BL 7890 FH	Travel Utara	P. Brandan	Lhoksukon
13	Bus Besar	Sabtu	24/02/2024	10:10	BK 7463 LD	PO. PMTOH	Banda Aceh	Langsa
14	Travel/Hiace	Sabtu	24/02/2024	09:30	BL 8901 GI	Travel Langsa	Banda Aceh	Langsa
15	Bus Besar	Senin	04/03/2024	15:00	BM 7569 AZ	PO. Beuna	Kuala Simpang	Banda Aceh
16	Travel/Hiace	Senin	04/03/2024	14:15	BL 9012 HJ	Travel Bireuen Langsa	Kuala Simpang	Banda Aceh
17	Bus Besar	Kamis	14/03/2024	11:30	BK 7035 NE	PO. Kurnia	Sigli	Kuala Simpang
18	Travel/Hiace	Kamis	14/03/2024	10:45	BL 0123 IK	Travel Simpang	Sigli	Kuala Simpang
19	Bus Besar	Selasa	26/03/2024	12:45	BL 7658 CH	PO. PMTOH	Lambaro	Medan
20	Travel/Hiace	Selasa	26/03/2024	12:00	BL 1234 JL	Travel Srikandi	Lambaro	Medan
..	dst	...	..	..	...	...	...	...
76	Travel/Hiace	Minggu	22/12/2024	16:55	BL 9012 LN	Travel Bireuen	Sigli	Bireuen

Data frekuensi pemesanan per tujuan dihitung berdasarkan data transaksi selama periode Januari–Juni 2024 dan selanjutnya dikategorikan menggunakan skala 1–5 untuk mempermudah proses clustering. Hasil perhitungan frekuensi pemesanan menunjukkan adanya variasi tingkat permintaan pada masing-masing tujuan perjalanan, mulai dari kategori rendah hingga sangat tinggi. Perhitungan frekuensi pemesanan per tujuan dari data sampel adalah sebagai berikut:

- BREN: 8 kali → Skala 3 (sedang)
- LSM: 6 kali → Skala 3 (sedang)
- STBT: 8 kali → Skala 3 (sedang)
- MLBO: 6 kali → Skala 3 (sedang)
- SGL: 8 kali → Skala 3 (sedang)
- LHKN: 6 kali → Skala 3 (sedang)
- LGS: 12 kali → Skala 5 (sangat tinggi)
- BDA: 8 kali → Skala 3 (sedang)
- KLSP: 6 kali → Skala 3 (sedang)
- MDN: 10 kali → Skala 4 (tinggi)
- PIJAY: 6 kali → Skala 3 (sedang)
- JENIB: 4 kali → Skala 2 (rendah)
- IRY: 6 kali → Skala 3 (sedang)
- UG: 4 kali → Skala 2 (rendah)
- LBRO: 6 kali → Skala 3 (sedang)

Untuk mempermudah proses pengelompokan, data frekuensi pemesanan ditransformasikan ke dalam skala ordinal. Skala tersebut digunakan untuk mengklasifikasikan tingkat frekuensi pemesanan dari kategori sangat rendah hingga sangat tinggi sehingga pola permintaan dapat dianalisis secara lebih terstruktur sebelum dilakukan proses clustering menggunakan algoritma PAM [13]. Kriteria skala transformasi frekuensi yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 2.

TABEL 2
KRITERIA SKALA TRANSFORMASI FREKUENSI

Skala	Rentang Frekuensi	Kategori	Jumlah Tujuan
1	0-3	Sangat Rendah	0
2	4-5	Rendah	2
3	6-8	Sedang	10
4	9-11	Tinggi	1
5	≥12	Sangat Tinggi	1

Berdasarkan Tabel 2, setiap rentang frekuensi pemesanan dikategorikan ke dalam skala tertentu untuk menyederhanakan proses analisis. Pengelompokan tersebut membantu dalam mengidentifikasi pola permintaan penumpang secara lebih sistematis sehingga proses clustering dapat menghasilkan kelompok data yang lebih representatif.

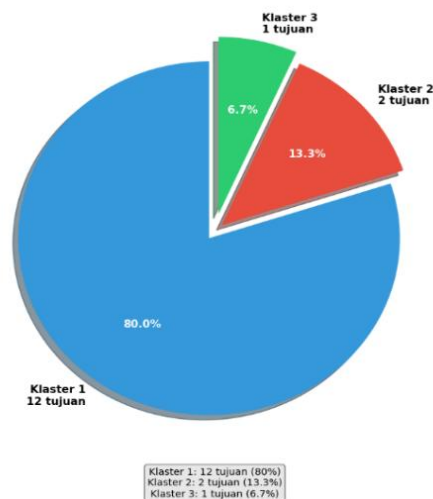
C. Hasil Clusterisasi

Penerapan algoritma *Partitioning Around Medoids* (PAM) pada data frekuensi pemesanan 15 tujuan menghasilkan pengelompokan yang optimal setelah proses iterasi mencapai kondisi konvergen. Proses clustering dilakukan dengan meminimalkan nilai Total Cost (TC), yaitu total jarak antara setiap objek dengan medoid terdekatnya. Nilai Total Cost digunakan sebagai indikator kualitas cluster, di mana semakin kecil nilai yang diperoleh maka semakin baik tingkat homogenitas data dalam setiap cluster [11].

Hasil clustering menunjukkan bahwa data terbagi menjadi tiga cluster dengan nilai Total Cost (TC) sebesar 2.0. Nilai tersebut menunjukkan bahwa anggota dalam masing-masing cluster memiliki tingkat kemiripan yang relatif tinggi terhadap medoid yang mewakili cluster tersebut. Semakin kecil nilai Total Cost, semakin baik kualitas pengelompokan yang dihasilkan karena jarak antar objek dalam cluster menjadi lebih homogen dan stabil [11]. Distribusi dan karakteristik masing-masing cluster disajikan pada Tabel 3.

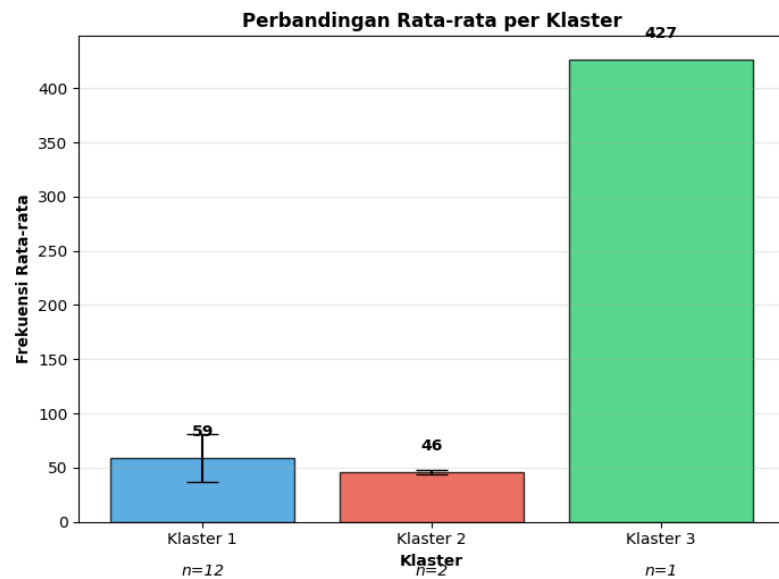
TABEL 3
HASIL KLASIFIKASI PAM PADA DATA PENELITIAN

Cluster	Medoid	Jumlah Anggota	Persentase	Rentang Skala Frekuensi	Karakteristik Umum
C1	BREN (Bireuen)	12	80%	2 - 3	Frekuensi sedang-stabil. Berisi rute domestik utama dalam Provinsi Aceh seperti Kuala Simpang, Meulaboh, dan Sigli.
C2	LGS (Langsa)	2	13.3%	3 - 5	Frekuensi tinggi hingga sangat tinggi. Berisi dua kota strategis: Langsa (kota otonom) dan Banda Aceh (ibu kota provinsi).
C3	MDN (Medan)	1	6.7%	4	Frekuensi sangat tinggi. Hanya berisi satu rute, yaitu tujuan antar-provinsi ke Medan.



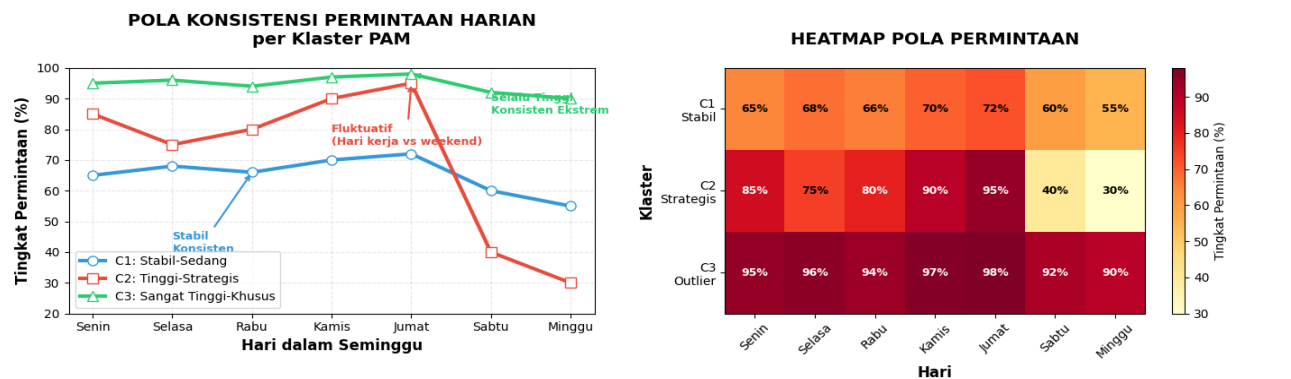
Gambar 9. Diagram Distribusi Persentase Anggota Cluster

Berdasarkan Gambar 9, Cluster 1 (C1) mendominasi hasil pengelompokan dengan mencakup sekitar 80% dari total tujuan perjalanan. Sementara itu, Cluster 2 (C2) mencakup 13,3% dan Cluster 3 (C3) mencakup 6,7% dari keseluruhan data. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar tujuan perjalanan memiliki tingkat frekuensi pemesanan yang relatif seragam dan berada pada kategori permintaan sedang hingga stabil.

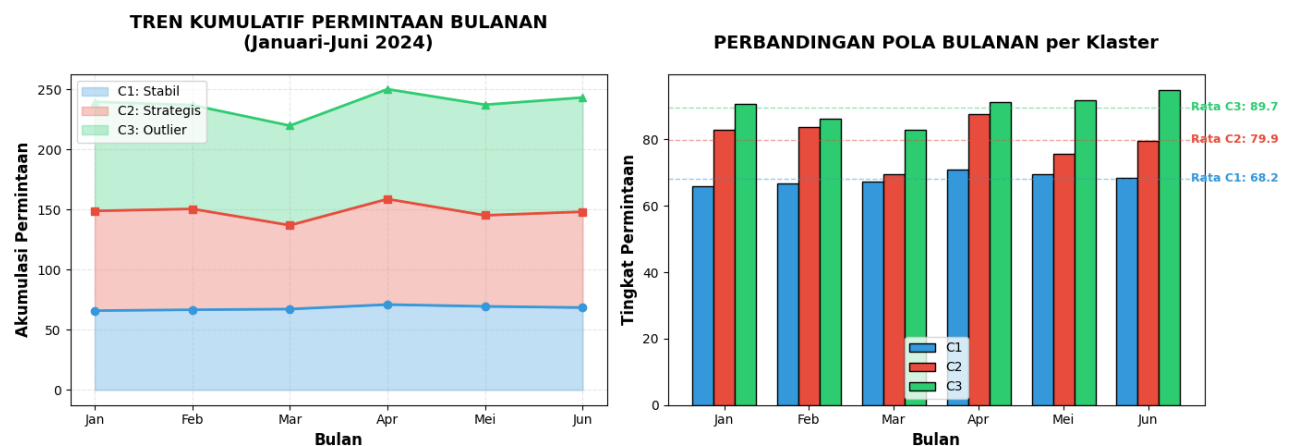


Gambar 10. Grafik Batang Frekuensi per cluster

ANALISIS POLA PERMINTAAN TIKET BERDASARKAN HASIL PAM CLUSTERING



Gambar 11. Grafik Pola Konsistensi Harian



Gambar 12. Grafik Pola Tren Bulanan

Gambar 10 hingga Gambar 12 memberikan visualisasi mengenai distribusi frekuensi pemesanan, pola konsistensi harian, serta tren bulanan pada masing-masing cluster. Hasil visualisasi menunjukkan adanya perbedaan karakteristik permintaan antar cluster, terutama pada tujuan yang memiliki frekuensi pemesanan lebih tinggi dibandingkan tujuan lainnya. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa proses clustering berhasil mengelompokkan tujuan perjalanan berdasarkan tingkat kemiripan frekuensi pemesanan sehingga pola permintaan dapat diidentifikasi dengan lebih jelas.

Nilai Total Cost (TC) sebesar 2.0 menunjukkan bahwa proses clustering menggunakan algoritma PAM mampu menghasilkan pengelompokan yang relatif stabil dan homogen. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa jarak antara anggota cluster dengan medoid relatif kecil sehingga objek dalam cluster yang sama memiliki karakteristik frekuensi pemesanan yang serupa. Nilai Total Cost yang rendah juga menunjukkan bahwa konfigurasi medoid yang dipilih telah mendekati kondisi optimal sehingga proses iterasi tidak lagi menghasilkan penurunan biaya yang signifikan [11].

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Wiyajanto yang menunjukkan bahwa metode PAM mampu menghasilkan kualitas cluster yang baik pada data dengan variasi karakteristik cukup tinggi [3]. Dibandingkan metode K-Means yang menggunakan centroid sebagai pusat cluster, PAM memiliki keunggulan karena menggunakan objek aktual sebagai medoid sehingga lebih tahan terhadap keberadaan noise dan outlier. Pada penelitian ini, tujuan dengan frekuensi pemesanan tinggi seperti Langsa dan Medan tetap dapat dipisahkan ke dalam cluster yang sesuai tanpa memengaruhi stabilitas cluster lainnya.

Keberhasilan model dalam penelitian ini dipengaruhi oleh proses seleksi data dan transformasi frekuensi yang dilakukan sebelum tahap clustering. Penggunaan medoid sebagai pusat cluster memungkinkan pengelompokan dilakukan berdasarkan data aktual sehingga hasil yang diperoleh lebih representatif. Selain itu, distribusi anggota cluster menunjukkan bahwa sebagian besar tujuan perjalanan berada pada kategori frekuensi sedang, sedangkan hanya beberapa tujuan yang memiliki frekuensi tinggi dan sangat tinggi. Kondisi ini mengindikasikan adanya konsentrasi permintaan pada rute-rute tertentu yang berpotensi menjadi prioritas dalam penyediaan layanan transportasi umum.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Data yang digunakan hanya mencakup 76 transaksi pemesanan tiket selama periode Januari hingga Juni 2024 sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan pola permintaan transportasi dalam jangka panjang. Selain itu, proses clustering hanya menggunakan atribut frekuensi pemesanan sebagai variabel utama tanpa mempertimbangkan faktor lain seperti jumlah penumpang, waktu keberangkatan, kondisi musim, maupun faktor sosial ekonomi yang dapat memengaruhi tingkat permintaan. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan jumlah data dan variabel yang lebih beragam.

Hasil clustering yang diperoleh dapat dimanfaatkan oleh Dinas Perhubungan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan operasional. Rute yang berada pada Cluster 2 dan Cluster 3 menunjukkan tingkat permintaan yang relatif tinggi sehingga dapat diprioritaskan dalam penambahan armada maupun pengaturan jadwal keberangkatan. Sebaliknya, rute yang berada pada Cluster 1 dapat dipertahankan dengan pola pelayanan yang lebih stabil sesuai tingkat permintaannya. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat membantu meningkatkan efisiensi pemanfaatan armada, mengurangi ketidakseimbangan kapasitas layanan, serta mendukung pengelolaan transportasi umum berbasis data.

D. Pembahasan Hasil Cluster

Hasil pada Tabel 3 menunjukkan bahwa Cluster 1 (C1) merupakan kelompok terbesar dengan jumlah anggota sebanyak 12 tujuan atau sekitar 80% dari keseluruhan data. Cluster ini merepresentasikan tujuan perjalanan dengan tingkat frekuensi pemesanan yang relatif stabil dan berada pada kategori sedang. Dominasi jumlah anggota pada cluster ini menunjukkan bahwa sebagian besar rute memiliki pola permintaan yang tidak terlalu fluktuatif sehingga dapat dijadikan dasar dalam penyusunan jadwal operasional yang lebih konsisten. Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa hasil pengelompokan berdasarkan pola permintaan dapat membantu proses identifikasi kelompok rute dengan tingkat kebutuhan layanan yang relatif beragam sehingga pengelolaan transportasi dapat dilakukan secara lebih efektif [14].

Cluster 2 (C2) terdiri atas dua tujuan perjalanan yang memiliki tingkat frekuensi pemesanan lebih tinggi dibandingkan mayoritas anggota Cluster 1. Keberadaan Langsa dan Banda Aceh dalam cluster yang sama menunjukkan adanya kesamaan karakteristik permintaan pada kedua wilayah tersebut. Sebagai pusat aktivitas pemerintahan, perdagangan, dan layanan publik, kedua wilayah ini memiliki mobilitas penumpang yang relatif lebih tinggi sehingga memerlukan perhatian khusus dalam perencanaan layanan transportasi. Oleh karena itu, rute yang termasuk dalam cluster ini berpotensi membutuhkan frekuensi keberangkatan yang lebih besar dibandingkan rute pada Cluster 1 agar kualitas layanan dan kebutuhan pengguna transportasi tetap terpenuhi [14].

Cluster 3 (C3) hanya terdiri atas satu tujuan perjalanan, yaitu Medan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa Medan memiliki karakteristik permintaan yang berbeda secara signifikan dibandingkan tujuan lainnya. Frekuensi pemesanan yang lebih tinggi menyebabkan tujuan ini terpisah ke dalam cluster tersendiri. Kondisi tersebut menunjukkan adanya pola permintaan khusus pada rute antarprovinsi sehingga diperlukan strategi pengelolaan operasional yang lebih spesifik, baik dari sisi penjadwalan keberangkatan maupun penyediaan armada. Pengelolaan

rute dengan tingkat permintaan tinggi secara terpisah dapat membantu meningkatkan efisiensi operasional serta mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya transportasi [14].

E. Implementasi Sistem Berbasis PAM

Sebagai bentuk implementasi dari hasil analisis clustering, dikembangkan sebuah sistem pendukung keputusan berbasis desktop yang mengintegrasikan algoritma *Partitioning Around Medoids* (PAM). Sistem ini bertujuan untuk membantu proses analisis pola pemesanan tiket serta menghasilkan informasi pendukung yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam pengelolaan transportasi umum.

Sistem dibangun menggunakan bahasa pemrograman Visual Basic .NET dengan antarmuka berbasis Windows Forms serta menggunakan Microsoft Access sebagai basis data. Implementasi sistem dirancang untuk mempermudah proses pengolahan data, mulai dari input data, proses clustering, hingga penyajian hasil analisis secara terintegrasi dalam satu sistem. Pengembangan sistem berbasis aplikasi dapat meningkatkan efektivitas pengolahan data karena proses analisis dilakukan secara terstruktur dan terkomputerisasi [15].

Inisial	Nama Bus (Asli)	Jenis / Tipe Bus	M1	M2
BDA	BANDA ACEH	Bus Besar	18	14
BREN	BIREUEN	Minibus	7	28
IRY	IDIE RAYEUK	Bus Besar	12	14
JENIB	JEUNIB	Minibus	34	17
KLSP	KUALA SIMPANG	Bus Besar	9	16
LBRO	LAMBARO	Minibus	13	26
LGS	LANGSA	Bus Besar	12	20
LHKN	LHOKSEUMAWE	Minibus	11	18
LSM	MEULABOH	Bus Besar	8	71
MDN	MEDAN	Minibus	116	155
MLBO	MEULABOH	BUS REGULER	20	17
PUAY	PIDIE JAYA	MINIBUS	20	23
SGL	SIGU	MINIBUS	19	25
STBT	STABAT	BUS REGULER	18	27
UG	ULEE GLEE	BUS REGULER	26	13

Gambar 13. Tampilan Form Input Data pada Sistem

Gambar 13 menampilkan form input data pada sistem yang digunakan untuk memasukkan informasi terkait armada bus dan data frekuensi tujuan perjalanan. Pada halaman ini tersedia beberapa komponen input yang digunakan untuk mengelola data, antara lain nama bus, jenis bus, nomor polisi kendaraan, kapasitas angkutan, serta frekuensi tujuan pada periode tertentu.

Selain itu, sistem menyediakan fungsi pengelolaan data melalui tombol Tambah, Edit, Hapus, Bersih, dan Keluar yang memungkinkan pengguna melakukan manipulasi data secara interaktif. Fitur tersebut bertujuan untuk mempermudah proses pengolahan data sebelum dilakukan analisis menggunakan algoritma PAM.

Inisial	Nama Bus (Asli)	M1	M2	M3
BDA	BANDA ACEH	5	4	2
BREN	BIREUEN	2	5	2
IRY	IDIE RAYEUK	3	3	5
JENIB	JEUNIB	5	4	5
KLSP	KUALA SIMPANG	5	5	5

Gambar 14. Tampilan Proses Clusterisasi PAM dalam Sistem

Gambar 14 memperlihatkan antarmuka proses clusterisasi menggunakan algoritma *Partitioning Around Medoids* (PAM) yang telah diimplementasikan pada sistem. Pada halaman ini ditampilkan beberapa komponen utama yang mendukung proses pengelompokan data, yaitu:

1. Data atribut bus, yang disajikan dalam bentuk tabel dan memuat kode (initial), nama bus, serta nilai atribut yang digunakan dalam proses clustering.
2. Titik medoid awal, yang berfungsi sebagai pusat cluster pada iterasi pertama algoritma PAM. Medoid dipilih dari data aktual sehingga dapat merepresentasikan karakteristik cluster secara lebih akurat.
3. Hasil perhitungan jarak dan pengelompokan sementara, yang menunjukkan kedekatan setiap objek terhadap medoid terdekat serta distribusi anggota cluster pada setiap iterasi.

Tombol Proses digunakan untuk menjalankan algoritma PAM secara bertahap hingga mencapai kondisi konvergen, yaitu ketika tidak terdapat perubahan medoid yang dapat menurunkan nilai Total Cost. Tampilan ini memberikan transparansi terhadap proses pengelompokan sehingga pengguna dapat memahami tahapan analisis sebelum memperoleh hasil akhir [11].

Initial	Nama Bus (All)	M1	M2	M3
BDA	BANDA ACEH	5	4	2
BREN	BIREUEN	2	5	2
IRY	IDIE RAYEUK	3	3	5
JENIB	JENIB	5	4	5

Centroid	Initial	Nama Bus (All)	M1	M2	M3
1	BDA	BANDA ACEH	5	4	2
2	LBRO	LAMBARO	4	4,4	4,8
3	MLBO	MEULABOH	1,75	3,25	2,25

Initial	Nama Bus (All)	M1	M2	M3
BDA	BANDA ACEH	0	3	3,34

Initial	Nama Bus (All)	M1	M2	M3
IRY	IDIE RAYEUK	3,74	1,73	3,03
JENIB	JENIB	3	1,1	4,32
LBRO	LAMBARO	3,61	1,1	3,11

Initial	Nama Bus (All)	M1	M2	M3
BREN	BIREUEN	3,16	3,49	1,79
KLSP	KUALA SIMPANG	4,47	4,75	1,48
LHKN	LHOKSUKON	3,16	2,72	1,09
MLBO	MEULABOH	3,61	4,2	1,3

WCV	BCV	Besar Rasio
24,24	10,06	0,42

Gambar 15. Tampilan Hasil Clusterisasi dan Perhitungan Jarak dalam Sistem PAM

Gambar 15 menunjukkan tampilan hasil akhir proses clusterisasi yang dihasilkan oleh sistem setelah seluruh tahapan algoritma PAM selesai dijalankan. Pada halaman ini ditampilkan beberapa informasi penting, yaitu:

1. Hasil pembentukan tiga cluster, yang terdiri atas Cluster 1 (Yang Diminati), Cluster 2 (Yang Cukup Diminati), dan Cluster 3 (Yang Kurang Diminati).
2. Daftar anggota pada masing-masing cluster, yang menunjukkan hasil pengelompokan data berdasarkan tingkat kemiripan karakteristik frekuensi pemesanan.
3. Nilai jarak terhadap medoid, yang digunakan untuk menentukan kedekatan setiap objek dengan pusat cluster yang terbentuk.
4. Informasi jumlah anggota pada setiap cluster, yang menggambarkan distribusi data pada masing-masing kelompok hasil clustering.

Hasil yang ditampilkan pada sistem menunjukkan bahwa algoritma PAM mampu mengelompokkan data pemesanan tiket berdasarkan tingkat frekuensi permintaan. Informasi hasil pengelompokan tersebut dapat dimanfaatkan sebagai dasar dalam penyusunan rekomendasi penjadwalan keberangkatan, evaluasi pola permintaan penumpang, serta pengalokasian armada transportasi yang lebih optimal guna meningkatkan efisiensi pelayanan transportasi umum [14].

F. Implikasi dan Rekomendasi

Berdasarkan hasil pengelompokan menggunakan algoritma *Partitioning Around Medoids* (PAM), diperoleh informasi mengenai karakteristik permintaan pada setiap kelompok rute yang dapat dimanfaatkan sebagai dasar pengambilan keputusan operasional. Hasil clusterisasi menunjukkan bahwa setiap cluster memiliki pola permintaan yang berbeda sehingga diperlukan strategi pengelolaan yang disesuaikan dengan karakteristik masing-masing kelompok. Pemanfaatan hasil analisis berbasis data dapat membantu meningkatkan efektivitas perencanaan transportasi serta mendukung pengambilan keputusan yang lebih akurat dan terukur [16].

Pada aspek pengalokasian armada, rute yang berada pada cluster dengan tingkat permintaan tinggi dapat diprioritaskan untuk memperoleh kapasitas layanan yang lebih besar dibandingkan rute dengan tingkat permintaan sedang maupun rendah. Pendekatan ini memungkinkan pemanfaatan armada yang lebih efisien karena penyedia layanan dapat menyesuaikan kapasitas transportasi dengan kebutuhan aktual pengguna pada setiap rute perjalanan [2].

Selain pengalokasian armada, hasil clusterisasi dapat dimanfaatkan dalam penyusunan jadwal keberangkatan yang lebih adaptif. Rute dengan frekuensi pemesanan tinggi dapat diberikan frekuensi layanan yang lebih sering, sedangkan rute dengan tingkat permintaan yang relatif stabil dapat mempertahankan jadwal operasional reguler.

Penyesuaian layanan berdasarkan pola permintaan dapat meningkatkan kualitas pelayanan sekaligus mendukung efisiensi operasional transportasi umum {Formatting Citation}.

Visualisasi hasil pengelompokan yang dihasilkan sistem memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai distribusi permintaan pada setiap tujuan perjalanan. Informasi tersebut dapat digunakan oleh Dinas Perhubungan sebagai dasar dalam melakukan evaluasi layanan, menyusun kebijakan operasional, serta merencanakan pengembangan transportasi yang lebih tepat sasaran. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi akademis tetapi juga memiliki manfaat praktis dalam mendukung pengelolaan transportasi umum berbasis data [1].

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa algoritma *Partitioning Around Medoids* (PAM) berhasil diterapkan untuk menganalisis pola pemesanan tiket angkutan umum pada Dinas Perhubungan Kabupaten Aceh Tamiang. Tujuan penelitian untuk mengelompokkan rute berdasarkan tingkat frekuensi pemesanan telah tercapai melalui pembentukan tiga cluster yang merepresentasikan karakteristik permintaan yang berbeda, yaitu Cluster 1 (C1) dengan tingkat permintaan stabil dan sedang, Cluster 2 (C2) dengan tingkat permintaan tinggi, serta Cluster 3 (C3) dengan tingkat permintaan sangat tinggi dan bersifat khusus. Hasil pengelompokan menghasilkan nilai Total Cost sebesar 2,0 yang menunjukkan bahwa cluster yang terbentuk memiliki tingkat homogenitas dan stabilitas yang baik. Implementasi algoritma PAM ke dalam sistem berbasis desktop berhasil mendukung proses pengolahan data, visualisasi hasil clusterisasi, serta penyajian informasi yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan operasional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan clustering mampu memberikan gambaran mengenai karakteristik permintaan pada setiap kelompok rute sehingga dapat dimanfaatkan dalam penyusunan jadwal keberangkatan, pengalokasian armada, serta perencanaan layanan transportasi yang lebih efektif dan sesuai dengan kebutuhan pengguna. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan jumlah data yang lebih besar dengan periode pengamatan yang lebih panjang, menambahkan variabel lain seperti jumlah penumpang, waktu keberangkatan, faktor musiman, dan hari libur, serta melakukan perbandingan dengan metode clustering lainnya atau mengembangkan model prediksi berbasis hasil clusterisasi guna meningkatkan akurasi analisis dan kebermanfaatan sistem dalam mendukung pengelolaan transportasi umum berbasis data.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dinas Perhubungan Kabupaten Aceh Tamiang atas dukungan dan penyediaan data yang digunakan dalam penelitian ini. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada seluruh pihak yang telah memberikan bantuan, masukan, serta dukungan selama proses penelitian hingga penyusunan artikel ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. R. A. E. S. Mariñas-Collado, J. L. G. Fernández, "Clustering and Forecasting Urban Bus Passenger Demand with a Combination of Time Series Models," *Mathematics*, vol. 10, no. 15, 2022.
- [2] S. A. H. R. Shafiq, M. A. Khan, "A Clustering Approach for Analyzing Access to Public Transportation and Destinations," *Sustainability*, vol. 16, no. 16, 2024.
- [3] M. O. and A. Faisol, "Analisis Algoritma Partitioning Around Medoid untuk Penentuan Klusterisasi," *J. Teknol. Inf. dan Terap.*, vol. 8, no. 2, 2021.
- [4] I. M. K. W. N. Fadillah, Y. M. Rangkuti, "Implementasi *Partitioning Around Medoids* Pada Visualisasi Penyebaran Penyakit DBD di Sumatera Utara," *J. Math. Comput. Stat.*, vol. 6, no. 2, 2023.
- [5] A. K. Wiyajanto, "Evaluasi Metode Ward, K-Means, DIANA, dan PAM dalam Karakterisasi Kemiskinan di Indonesia dengan Pendekatan PCA," *J. Komputika*, vol. 13, no. 1, 2024.
- [6] R. N. A. Saputra, B. Prasetyo, "Penerapan Metode K-Means Clustering untuk Segmentasi Data Pelanggan," *J. Inform. J. Pengemb. IT*, vol. 8, no. 2, hal. 123–130, 2023.
- [7] H. L. J. Kim, S. Park, "Public Transportation Demand Analysis Using Clustering Methods Based on Passenger Travel Data," *Transp. Res. Procedia*, 2023.
- [8] T. A. A. S. M. Al-Sarem, F. Saeed, A. Al-Hadhrani, W. Boulila, "Data Mining Techniques and Their Applications: A Review," *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 15, 2022.
- [9] A. K. Jain, "Data Mining and Knowledge Discovery: An Overview of Current Trends and Applications," *J. Big Data*, vol. 10, 2023.
- [10] M. A. I. A. A. Mohammed, R. A. Mostafa, "Data Preprocessing Techniques for Improving Data Quality in Data Mining and Machine Learning Applications," *J. Big Data*, vol. 10, 2023.
- [11] L. K. and P. J. Rousseeuw, *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*. New York: John Wiley & Sons, 1990.
- [12] M. Fowler, *UML Distilled: A Brief Guide to the Standard Object Modeling Language*, 3rd editio. Boston: Addison-Wesley Professional, 2004.
- [13] R. A. K. M. H. A. Hijazi, A. H. Abdullah, "Data Preprocessing Techniques for Data Mining and Machine Learning Applications: A Review," *J. Big Data*, vol. 10, 2023.
- [14] J. P. J. Han, M. Kamber, *Data Mining: Concepts and Techniques*, 4th editio. Cambridge: Morgan Kaufmann, 2022.
- [15] R. S. P. and B. R. Maxim, *Software Engineering: A Practitioner's Approach*, 9th editio. New York: McGraw-Hill Education, 2020.
- [16] S. D. A. Alkharabsheh, S. Moslem, "Analyzing Public Travel Demand by a Fuzzy Analytic Hierarchy Process Model for Supporting

- Transport Planning,” *Transport*, vol. 37, no. 2, hal. 110–120, 2022.
- [17] P. Tan, M. Steinbach, and V. Kumar, *Introduction to Data Mining*. Boston, MA, USA: Pearson, 2018.
- [18] J. MacQueen, “Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations,” in *Proc. 5th Berkeley Symp. Math. Stat. Prob.*, 1967, pp. 281–297.
- [19] A. Likas, N. Vlassis, and J. J. Verbeek, “The Global k-Means Clustering Algorithm,” *Pattern Recognition*, vol. 36, no. 2, pp. 451–461, 2003.
- [20] M. Ester, H. Kriegel, J. Sander, and X. Xu, “A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise,” in *KDD*, 1996, pp. 226–231.
- [21] R. Xu and D. Wunsch, *Clustering Algorithms in Biomedical Signal Processing*. IEEE Press, 2008.