

PENGELOMPOKAN PERMINTAAN DARAH BERDASARKAN GOLONGAN DAN WAKTU DI KABUPATEN GROBOGAN DENGAN ALGORITMA K-MEANS

Andri Triyono¹⁾, Kartika Imam Santoso²⁾, Dhika Malita Puspita Arum³⁾,
Eko Supriyadi⁴⁾, Agus Susilo Nugroho⁵⁾

1), 2), 3), 4), 5) "Program Studi Ilmu Komputer" UNIVERSITAS AN NUUR

Email : andriyono1@gmail.com¹⁾, kartikaimams@gmail.com²⁾, dhika.malita11@gmail.com³⁾,
ekalaya56@gmail.com³⁾, nugro333@gmail.com³⁾

Abstract

The availability of adequate blood supplies continues to pose a significant challenge for blood transfusion services such as the Indonesian Red Cross (PMI), particularly due to the fluctuating and uneven nature of demand across various blood groups. Incorrectly estimating blood demand can result in either critical shortages that jeopardize patient safety or an excess of supplies that are wasted due to the limited shelf life of blood. The objective of this research is to examine historical blood demand data in Grobogan Regency by applying the K-Means clustering algorithm to identify trends related to time intervals and blood group classifications. The study draws on secondary data involving blood requests across multiple blood groups over a span of several years. By implementing the K-Means method, the research identifies unique trends in demand, highlighting critical periods between 2013–2016 and 2022–2024, during which nearly all blood types showed elevated levels of demand. These insights are crucial for improving blood stock management, refining donor mobilization strategies, and enhancing distribution planning based on empirical patterns. The K-Means algorithm proves effective in handling extensive and continuous numerical data, offering valuable guidance for strategic decision-making in healthcare logistics.

Keywords : Blood Demand, K-Means Clustering, Blood Type, Health Logistics, Grobogan Regency.

Abstrak

Ketersediaan pasokan darah yang memadai terus menjadi tantangan signifikan bagi layanan transfusi darah seperti Palang Merah Indonesia (PMI), terutama karena permintaan yang fluktuatif dan tidak merata di berbagai golongan darah. Perkiraan permintaan darah yang tidak tepat dapat mengakibatkan kekurangan kritis yang membahayakan keselamatan pasien atau kelebihan pasokan yang terbuang akibat masa simpan darah yang terbatas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis data permintaan darah historis di Kabupaten Grobogan dengan menerapkan algoritma K-Means clustering untuk mengidentifikasi tren yang terkait dengan interval waktu dan klasifikasi golongan darah. Penelitian ini menggunakan data sekunder yang melibatkan permintaan darah dari berbagai golongan darah selama beberapa tahun. Dengan menerapkan metode K-Means, penelitian ini mengidentifikasi tren permintaan yang unik, menyoroti periode kritis antara 2013–2016 dan 2022–2024, di mana hampir semua golongan darah menunjukkan tingkat permintaan yang tinggi. Wawasan ini sangat penting untuk meningkatkan manajemen stok darah, memperbaiki strategi mobilisasi pendonor, dan meningkatkan perencanaan distribusi berdasarkan pola empiris. Algoritma K-Means terbukti efektif dalam menangani data numerik yang luas dan berkelanjutan, memberikan panduan berharga untuk pengambilan keputusan strategis dalam logistik layanan kesehatan.

Kata kunci : Permintaan Darah, K-Means Clustering, Golongan Darah, Logistik Kesehatan, Kabupaten Grobogan.

1. Pendahuluan

Darah menjadi salah satu komponen vital dalam pelayanan kesehatan dan penyelamatan nyawa manusia. Ketersediaan kantong darah yang memadai menjadi tantangan utama bagi lembaga transfusi darah seperti Palang Merah Indonesia (PMI), terutama dalam merespons permintaan yang fluktuatif dan tidak merata untuk setiap golongan darah. Permintaan darah yang tidak dapat diprediksi secara akurat dapat menyebabkan kelangkaan yang membahayakan pasien atau kelebihan stok yang tidak efisien dan berpotensi menyebabkan pemborosan karena masa kedaluwarsa darah yang terbatas (Twumasi & Twumasi, 2022).

Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan analitis berbasis data yang dapat membantu PMI dalam mengelompokkan serta memahami pola permintaan darah berdasarkan waktu dan golongan darah. Salah

satu pendekatan yang relevan adalah klusterisasi, yang dapat mengelompokkan pola permintaan berdasarkan karakteristik serupa guna mendukung perencanaan distribusi dan stok darah yang lebih adaptif (K. A. Abdul Nazeer and M. P. Sebastian, 2001). Metode ini telah digunakan dalam berbagai konteks pengelolaan darah, baik untuk prediksi permintaan (Sarvestani et al., 2022) maupun optimalisasi penyimpanan (Singh et al., 2025).

Algoritma *K-Means Clustering* merupakan salah satu metode dalam *data mining* yang efektif untuk mengelompokkan data berdasarkan pola kemiripan. Metode ini mengelompokkan data ke dalam beberapa kluster dengan cara meminimalkan jarak antar data dalam satu kluster, sekaligus memaksimalkan perbedaan antar kluster. Dalam konteks analisis permintaan darah, K-Means dapat digunakan untuk mengkluster permintaan berdasarkan tren waktu (misalnya per tahun) dan golongan darah (A, B, AB, O), sehingga dapat diketahui periode dengan permintaan tinggi, sedang, dan rendah (Anggreani & Setiawan, 2024) (B.M. et al., 2021).

Hasil klusterisasi ini dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan strategis oleh PMI, seperti merancang jadwal kegiatan donor darah yang lebih efektif serta menentukan lokasi penyimpanan darah sementara yang paling sesuai, serta meningkatkan pengelolaan persediaan kantong darah secara keseluruhan (Wahyu Saputra & Harini, 2022). Selain itu, algoritma K-Means dikenal memiliki keunggulan dalam hal kecepatan pemrosesan dan efisiensi komputasi dibandingkan dengan metode lainnya, terutama ketika diterapkan pada dataset besar yang bersifat numerik dan kontinu (Venkateswarlu & G.S.V, 2013).

Berbagai studi sebelumnya juga telah membuktikan bahwa K-Means merupakan metode yang efektif dalam konteks analisis data di bidang kesehatan. Misalnya, penelitian oleh (Shaban & Al-, 2022) menunjukkan bahwa K-Means efektif digunakan dalam klasifikasi data medis dan pengambilan keputusan berbasis data. Selain itu, studi oleh (Bittencourt et al., 2024) mengimplementasikan K-Means untuk mengelompokkan kebutuhan logistik rumah sakit dan menunjukkan hasil yang akurat dalam perencanaan distribusi.

Ketersediaan pasokan darah yang memadai terus menjadi tantangan signifikan bagi layanan transfusi darah seperti Palang Merah Indonesia (PMI), terutama karena permintaan yang fluktuatif dan tidak merata di berbagai golongan darah. Perkiraan permintaan darah yang tidak tepat dapat mengakibatkan kekurangan kritis yang membahayakan keselamatan pasien atau kelebihan pasokan yang terbuang akibat masa simpan darah yang terbatas. Oleh karena itu diperlukan sebuah aplikasi yang bisa memprediksi data histori persediaan darah agar PMI tidak sampai kekurangan stok darah dan selain itu juga bisa memberikan informasi kepada pendonor kapan waktu yang tepat untuk berdonor darah.

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah disampaikan, pertanyaan-pertanyaan kunci yang menjadi fokus utama dalam penelitian ini adalah :

- a. Bagaimana cara mengimplementasikan algoritma K-Means untuk mengelompokkan permintaan darah berdasarkan golongan darah dan periode waktu?
- b. Berapa jumlah kluster optimal yang dapat merepresentasikan tren permintaan darah?
- c. Bagaimana visualisasi hasil klusterisasi dapat membantu pengambilan keputusan bagi PMI?

Tujuan dari penelitian ini antara lain :

- a. Mengelompokkan data pada permintaan darah berdasarkan golongan darah dan waktu menggunakan algoritma K-Means.
- b. Menentukan jumlah kluster optimal dengan metode Elbow.
- c. Menyajikan visualisasi klusterisasi untuk membantu PMI dalam pengambilan keputusan terkait distribusi dan stok kantong darah.

Data mining merupakan proses mengekstraksi informasi yang bermanfaat dari kumpulan data besar. Salah satu metode utama dalam data mining adalah clustering, yaitu proses mengelompokkan data ke dalam beberapa kluster berdasarkan kesamaan tertentu (Ha et al., 2011). Algoritma K-Means, K-Means adalah algoritma unsupervised learning yang berfungsi untuk mengelompokkan data ke dalam sejumlah k kluster berdasarkan jarak Euclidean terdekat dari pusat masing-masing kluster. Proses ini dilakukan iteratif hingga centroid stabil dan tidak lagi berubah. Algoritma ini banyak digunakan karena kesederhanaannya dan efisiensinya dalam mengelola data berskala besar (J, 1965). Penentuan Nilai k Optimal, Menentukan jumlah cluster (k) yang optimal dapat dilakukan dengan metode Elbow, yang mencari titik tekuk (elbow) dari grafik *Within-Cluster Sum of Squares (WCSS)* untuk

mendapatkan jumlah cluster terbaik yang tidak menyebabkan overfitting maupun underfitting. Aplikasi K-Means dalam Dunia Kesehatan, K-Means telah diterapkan dalam berbagai penelitian untuk menganalisis tren kesehatan, seperti permintaan layanan medis, prediksi penyakit, dan distribusi obat-obatan. Hal ini semakin menegaskan pentingnya penerapan algoritma ini dalam merencanakan kebutuhan darah oleh PMI.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan eksploratif. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengelompokkan pola permintaan darah berdasarkan golongan darah menggunakan algoritma *K-Means Clustering*. Penelitian ini menganalisis data historis permintaan darah dari tahun 2012 hingga 2024.

Objek pada penelitian ini adalah data permintaan darah berdasarkan golongan darah (A, B, AB, O) per bulan dan tahun. Ruang lingkup dibatasi pada analisis pola permintaan dan pembentukan kelompok permintaan (klaster) berdasarkan kesamaan karakteristik.

Bahan: Dataset permintaan darah dari tahun 2012 hingga 2024, dalam format CSV.

Alat terdiri dari: Python 3.11.12, Library: pandas, sklearn, matplotlib, seaborn. Google Colab sebagai platform komputasi awan

Penelitian dilakukan secara daring menggunakan Google Colab dan penyimpanan data pada Google Drive. Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Februari hingga April 2025. Data diperoleh dari instansi terkait yang menyediakan rekapitulasi permintaan darah bulanan per golongan darah. Data tersebut kemudian dikompilasi dan disusun dalam format CSV untuk keperluan analisis.

2.1. Definisi Operasional Variabel

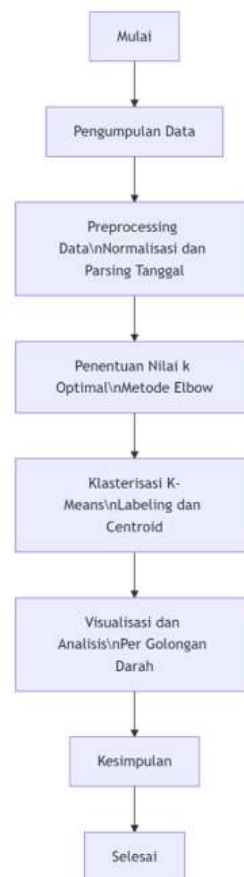
- a. Tahun dan Bulan: Periode pengambilan data permintaan darah.
- b. Golongan Darah A, B, AB, O: Jumlah permintaan darah masing-masing golongan dalam satu bulan.
- c. Klaster: Kelompok yang terbentuk dari proses klasterisasi berdasarkan pola permintaan yang serupa.

2.2. Teknik Analisis

Proses analisis dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

- a. Preprocessing Data:
 - Menggabungkan kolom tahun dan bulan menjadi format datetime.
 - Melakukan normalisasi data menggunakan StandardScaler.
- b. Penentuan Jumlah Klaster Optimal (k):
 - Menggunakan metode Elbow untuk menentukan nilai k yang paling representatif terhadap variasi data.
- c. Penerapan Algoritma K-Means:
 - Melakukan klasterisasi terhadap data permintaan darah yang telah dinormalisasi.
 - Menentukan label klaster untuk setiap entri dan menyimpan hasilnya pada kolom baru.
- d. Visualisasi dan Interpretasi Klaster:
 - Membuat visualisasi penyebaran data berdasarkan tahun dan permintaan untuk masing-masing golongan darah.
 - Menganalisis karakteristik setiap klaster berdasarkan intensitas permintaan dan distribusi waktu.

2.3. Diagram Alur Penelitian



Gambar 1. Alur Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini, dilakukan klusterisasi terhadap permintaan darah berdasarkan golongan darah A, B, AB, dan O menggunakan algoritma K-Means. Data yang digunakan diperoleh dari permintaan darah pada Palang Merah Indonesia (PMI) Kabupaten Grobogan, yang mencakup tahun 2012, 2013, 2014, 2015, 2020, 2022, dan 2023. Setiap tahun terdiri dari 28 data mewakili permintaan darah per bulan, sehingga total keseluruhan data yang dianalisis adalah sebanyak 336 data.

Sebelum proses klusterisasi dilakukan, data dinormalisasi menggunakan metode `StandardScaler` untuk memastikan setiap fitur memiliki skala yang sebanding.

Proses klusterisasi dilakukan dengan menerapkan algoritma K-Means, dan menghasilkan hasil sebagai berikut:

3.1 Jumlah Kluster Optimal (k):

```
inertia = []
```

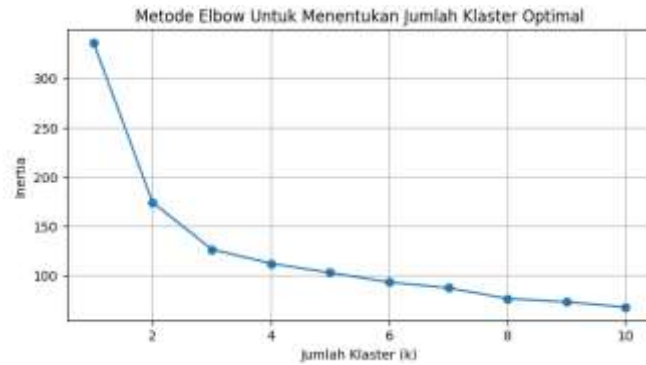
```
k_range = range(1, 11)
```

```
for k in k_range:
```

```
    kmeans = KMeans(n_clusters=k, random_state=42)
```

```
    kmeans.fit(X_scaled)
```

```
    inertia.append(kmeans.inertia_)
```



Gambar 2. Menentukan jumlah kluster

- Ada penurunan yang tajam pada nilai inertia saat jumlah kluster meningkat dari 1 ke 2, dan kemudian ke 3.
- Penurunan inertia terus berlanjut setelah 3 kluster, tetapi laju penurunannya mulai melambat.
- Titik yang menyerupai "siku" (perubahan laju penurunan yang signifikan) tampaknya berada di sekitar jumlah kluster 3 atau mungkin 4. Setelah titik ini, penambahan kluster tidak memberikan pengurangan inertia yang sebesar sebelumnya.

3.2 Pusat Kluster (Cluster Centroids):

```
centroids = scaler.inverse_transform(kmeans.cluster_centers_)
centroids_df = pd.DataFrame(centroids, columns=['A', 'B', 'AB', 'O'])
```

Table 1. Pusat kluster

Kluster	Golongan Darah A	Golongan Darah B	Golongan Darah AB	Golongan Darah O
0	293.26	389.74	81.29	472.66
1	330.03	449.41	104.83	558.45
2	234.50	302.65	66.25	399.30

3.3 Pusat Kluster (Cluster Centroids):

```
cluster_counts = df['Cluster'].value_counts().sort_index()
```

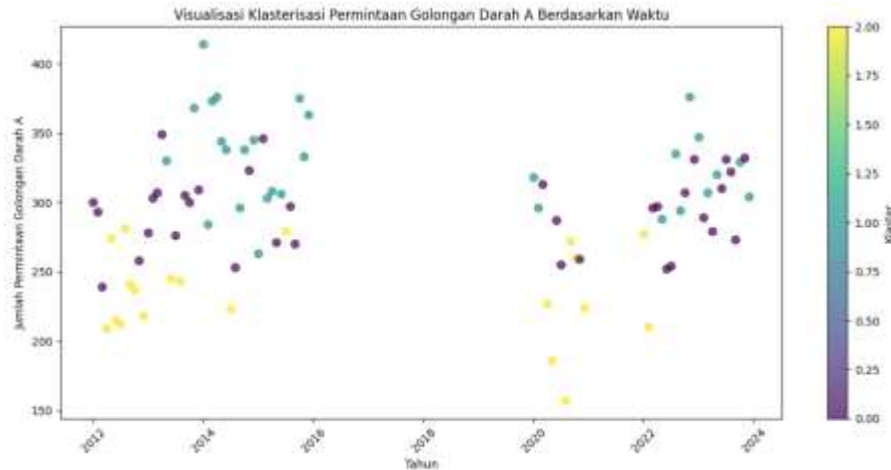
Table 2. Jumlah data masing-masing kluster

Kluster	Jumlah Data
0	35
1	29
2	20

3.4 Visualisasi hasil klusterisasi

```
plt.figure(figsize=(12, 6))
plt.scatter(df['Date'], df['A'], c=df['Cluster'], cmap='viridis', s=50, alpha=0.7)
plt.title('Visualisasi Klusterisasi Permintaan Golongan Darah A Berdasarkan Waktu')
plt.xlabel('Tahun')
plt.ylabel('Jumlah Permintaan Golongan Darah xxx')
plt.xticks(rotation=45)
plt.colorbar(label='Kluster')
plt.tight_layout()
plt.show()
```

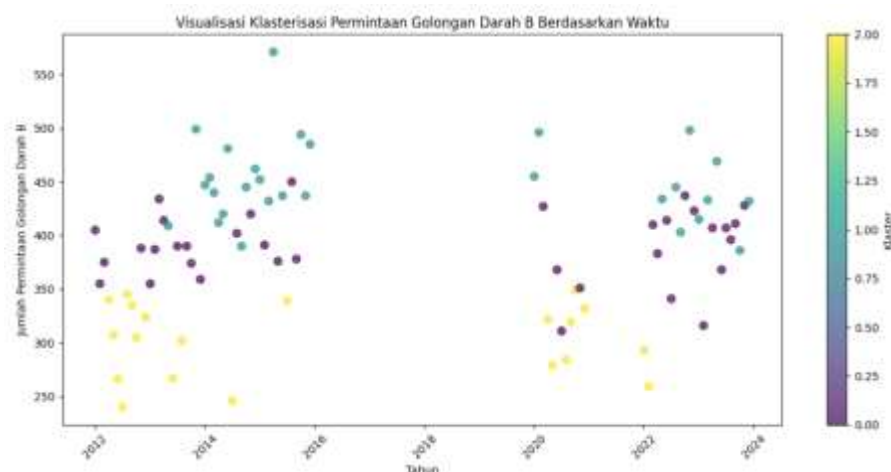
3.4.1 Golongan darah A:



Gambar 3. Persebaran permintaan darah golongan A

- Klaster berwarna ungu (Klaster 0): Titik-titik yang berwarna ungu cenderung berada pada rentang jumlah permintaan yang lebih tinggi, terutama terlihat pada periode tahun 2013-2015, dan kemudian kembali terlihat pada tahun 2022-2024. Ini menunjukkan bahwa periode tersebut merupakan waktu dengan permintaan golongan darah A yang cenderung tinggi.
- Klaster berwarna kuning (Klaster 1): Titik-titik berwarna kuning cenderung berada pada rentang permintaan yang lebih rendah, terutama terlihat di awal periode (sekitar tahun 2012), dan kemudian muncul kembali pada tahun 2020-2022. Hal ini menunjukkan bahwa periode tersebut adalah waktu dengan permintaan golongan darah A yang relatif rendah.
- Klaster berwarna hijau keabu-abuan (Klaster 2): Titik-titik berwarna hijau keabu-abuan berada di antara dua rentang permintaan yang telah dijelaskan sebelumnya. Mereka tersebar di berbagai waktu, menunjukkan periode dengan tingkat permintaan golongan darah A yang sedang.

3.4.2 Golongan darah B:



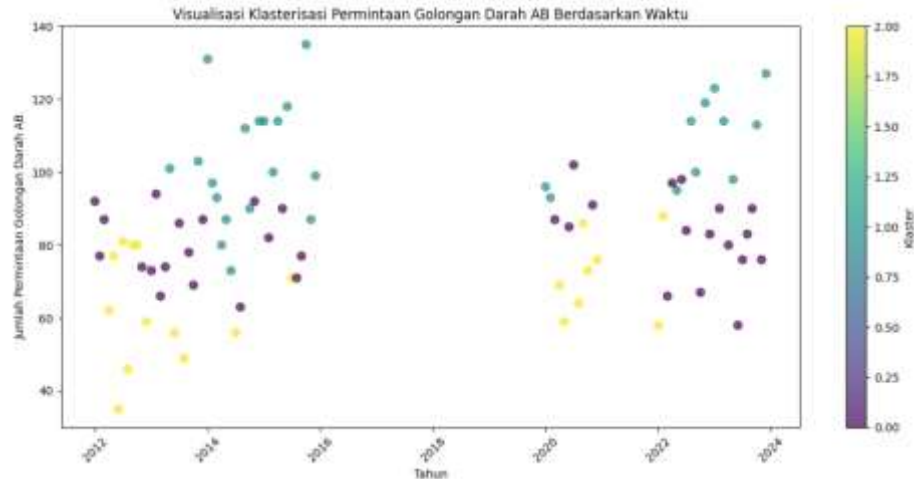
Gambar 4. Persebaran permintaan darah golongan B

- Klaster dengan Warna Ungu (Klaster 0): Titik-titik ungu cenderung berada pada tingkat permintaan yang lebih tinggi, terutama terlihat di sekitar tahun 2013-2016 dan kemudian muncul kembali di sekitar tahun 2022-2024. Ini mengindikasikan periode dengan permintaan golongan darah B yang relatif tinggi.
- Klaster dengan Warna Kuning (Klaster 1): Titik-titik kuning umumnya berada pada tingkat permintaan yang lebih rendah. Kelompok ini terlihat lebih dominan di awal periode (sekitar 2012) dan kemudian

muncul lagi di sekitar tahun 2020-2022. Ini menunjukkan bahwa periode tersebut adalah waktu dengan permintaan golongan darah B yang relatif rendah.

- Klaster dengan Warna Hijau Keabu-abuan (Klaster 2): Titik-titik hijau keabu-abuan berada di antara tingkat permintaan tinggi dan rendah. Mereka tersebar di berbagai periode waktu, menunjukkan tingkat permintaan golongan darah B yang sedang.

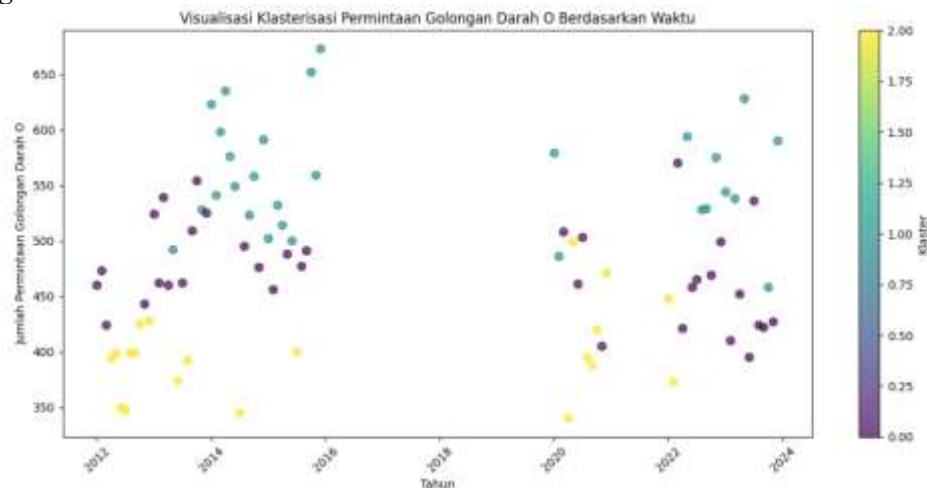
3.4.3 Golongan darah AB:



Gambar 5. Persebaran permintaan darah golongan AB

- Klaster dengan Warna Ungu (Klaster 0): Titik-titik ungu cenderung berada pada tingkat permintaan yang lebih rendah, terutama terlihat di awal periode (sekitar 2012-2013 dan 2020-2021) dan juga muncul di beberapa titik menjelang akhir periode. Ini menunjukkan bahwa periode tersebut memiliki permintaan golongan darah AB yang cenderung rendah.
- Klaster berwarna kuning (Klaster 1): Titik-titik berwarna kuning umumnya terletak pada tingkat permintaan yang sangat rendah, terutama terkonsentrasi di awal periode (sekitar tahun 2012) dan muncul lagi pada beberapa titik di sekitar tahun 2020-2022. Hal ini menunjukkan periode dengan permintaan golongan darah AB yang paling rendah dibandingkan klaster lainnya.
- Klaster berwarna hijau keabu-abuan (Klaster 2): Titik-titik berwarna hijau keabu-abuan cenderung menunjukkan tingkat permintaan yang lebih tinggi, terutama terlihat pada periode tahun 2014-2016 dan kemudian kembali pada tahun 2022-2024. Ini mengindikasikan periode dengan permintaan golongan darah AB yang relatif tinggi.

3.4.4 Golongan darah O:



Gambar 6. Persebaran permintaan darah golongan O

- Klaster berwarna ungu (Klaster 0): Titik-titik berwarna ungu umumnya terletak pada tingkat permintaan yang sedang, tersebar di berbagai periode waktu, namun lebih dominan di awal (sekitar tahun 2012) dan menjelang akhir periode (sekitar tahun 2022-2024).
- Klaster dengan Warna Kuning (Klaster 1): Titik-titik kuning umumnya berada pada tingkat permintaan yang lebih rendah, terutama terlihat di awal periode (sekitar 2012-2013) dan muncul kembali di sekitar tahun 2020-2022. Ini menandakan periode dengan permintaan golongan darah O yang relatif rendah.
- Klaster berwarna hijau keabu-abuan (Klaster 2): Titik-titik berwarna hijau keabu-abuan cenderung berada pada tingkat permintaan yang lebih tinggi, terutama terlihat pada rentang tahun 2013-2016 dan kembali muncul di sekitar tahun 2023-2024. Hal ini menunjukkan bahwa periode tersebut memiliki permintaan golongan darah O yang relatif tinggi.

Berdasarkan hasil analisis klasterisasi terhadap permintaan darah golongan A, B, AB, dan O dari tahun 2012 hingga 2024, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

a. **Golongan Darah A**

Permintaan darah golongan A menunjukkan fluktuasi yang cukup besar.

- Periode 2013–2015 dan 2022–2024 tercatat sebagai masa dengan permintaan tinggi (Klaster 0 – warna ungu).
- Permintaan rendah (Klaster 1 – warna kuning) terjadi di awal periode (sekitar 2012) dan menjelang 2020–2022.
- Permintaan sedang (Klaster 2 – warna hijau keabu-abuan) tersebar merata sepanjang waktu.

b. **Golongan Darah B**

Tren permintaan darah golongan B menunjukkan pola yang mirip dengan golongan A.

- Permintaan darah tinggi tercatat pada periode 2013–2016 dan 2022–2024 (Klaster 0).
- Permintaan darah rendah lebih dominan pada awal periode serta sekitar 2020–2022 (Klaster 1).
- Permintaan sedang tersebar pada waktu lainnya (Klaster 2).

c. **Golongan Darah AB**

Golongan darah AB memiliki pola permintaan yang cenderung berbeda dibandingkan dengan golongan darah lainnya.

- Permintaan tertinggi tercatat pada 2014–2016 dan 2022–2024 (Klaster 2 – hijau keabu-abuan).
- Permintaan paling rendah cenderung mendominasi pada awal periode hingga 2022 (Klaster 1 – kuning).
- Permintaan yang rendah terlihat terdistribusi sepanjang beberapa periode lainnya (Klaster 0 – ungu).

d. **Golongan Darah O**

Permintaan darah golongan O memperlihatkan pola fluktuatif.

- Permintaan tertinggi terjadi pada 2013–2016 dan 2023–2024 (Klaster 2).
- Permintaan rendah terjadi di awal (2012–2013) dan sekitar 2020–2022 (Klaster 1).
- Permintaan dengan tingkat sedang terdistribusi di berbagai periode, dengan dominasi pada awal dan akhir periode (Klaster 0).

Kesimpulan

Maka dari penelitian ini bisa diambil kesimpulan bahwa permintaan darah dari keempat golongan mengalami siklus naik-turun dalam periode penelitian. Periode 2013–2016 dan 2022–2024 merupakan periode penting dengan permintaan yang cenderung tinggi di hampir seluruh golongan darah. Temuan ini penting untuk membantu perencanaan stok darah, pengelolaan donor darah, serta pengembangan strategi distribusi darah yang lebih efektif berdasarkan tren permintaan historis. Algoritma K-Means terbukti efektif dalam menangani data numerik yang luas dan berkelanjutan, memberikan panduan berharga untuk pengambilan keputusan strategis dalam logistik layanan kesehatan. Berdasarkan hasil analisa tersebut PMI bisa Menyarankan jadwal pelaksanaan donor darah berdasarkan temuan dari hasil

klasterisasi

Daftar Pustaka

- Anggreani, D., & Setiawan, D. (2024). *Optimization of K-Means Clustering Method by Using Elbow Method in Predicting Blood Requirement of Pelamonia Hospital Makassar*. 04. <https://doi.org/10.31763/iota.v4i3.755>
- B.M., S., M.P., P., & B., V. (2021). Machine Learning Clustering Method for Analysis of Blood Donor Deferral. *International Journal of Computer Applications*, 183(27), 40–43. <https://doi.org/10.5120/ijca2021921659>
- Bittencourt, J. C. N., Costa, D. G., Portugal, P., & Vasques, F. (2024). A data-driven clustering approach for assessing spatiotemporal vulnerability to urban emergencies. *Sustainable Cities and Society*, 108(March), 105477. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105477>
- Ha, J., Kambe, M., & Pe, J. (2011). Data Mining: Concepts and Techniques. In *Data Mining: Concepts and Techniques*. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-61819-5>
- J, M. (1965). Some Methods for Classification and Analysis of MultiVariate Observations. *Proc of Berkeley Symposium on Mathematical Statistics & Probability*, 5(1), 281–297.
- K. A. Abdul Nazeer and M. P. Sebastian. (2001). Improving the Accuracy and Efficiency of the k-means Clustering Algorithm. *Proceedings of the World Congress on Engineering, London, WCE, 1(May)*, 1–5.
- Sarvestani, S. E., Hatam, N., Seif, M., Kasraian, L., Lari, F. S., & Bayati, M. (2022). Forecasting blood demand for different blood groups in Shiraz using auto regressive integrated moving average (ARIMA) and artificial neural network (ANN) and a hybrid approaches. *Scientific Reports*, 12(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26461-y>
- Shaban, S. A., & Al-, W. A. M. (2022). *K-Means Clustering Algorithm for Medical Images*. 4(11), 826–831. <https://doi.org/10.35629/5252-0411826831>
- Singh, A. P., Saxena, R., & Saxena, S. (2025). *Revolutionizing Blood Bank Management : Leveraging Machine Learning for Inventory Optimization and Shortage Prediction*. April. <https://doi.org/10.56557/ajocr/2025/v10i29246>
- Twumasi, C., & Twumasi, J. (2022). Machine learning algorithms for forecasting and backcasting blood demand data with missing values and outliers: A study of Tema General Hospital of Ghana. *International Journal of Forecasting*, 38(3), 1258–1277. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2021.10.008>
- Venkateswarlu, B., & G.S.V, P. R. (2013). Mine Blood Donors Information through Improved K-Means Clustering. *International Journal of Computational Science and Information Technology*, 1(3), 9–15. <https://doi.org/10.5121/ijcsity.2013.1302>
- Wahyu Saputra, M. A., & Harini, S. (2022). Java Island Health Profile Clustering using K-Means Data Mining. *International Journal on Information and Communication Technology (JJoICT)*, 8(1), 1–9. <https://doi.org/10.21108/ijoi.v8i1.606>