

# **Penerapan *K*-means dan Algoritma Genetika untuk Menyelesaikan *Multiple Traveling Salesman Problem***

**Muhammad Faiz Nailun Ni'am<sup>\*1</sup>, Nur Hamid<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Program Studi Pendidikan Matematika, Universitas Nurul Jadid.

e-mail: <sup>\*1</sup>m.faiz.nailun@gmail.com, <sup>2</sup>nurhamid@unuja.ac.id

## **Abstrak**

Artikel ini mengimplementasikan kombinasi *K*-means dan algoritma genetika untuk menyelesaikan *Multiple Traveling Salesman Problem* (MTSP) yang menghindari perpotongan jalur antar travelling salesman. Tujuan dalam artikel ini adalah menemukan jalur terpendek dari setiap rute dan menetapkan berapa banyak pembagian kluster yang dapat menghasilkan rute dengan jarak yang optimal. Dalam penelitian ini, dilakukan penggabungan algoritma *K*-means dan algoritma genetika dalam menyelesaikan *Multiple Traveling Salesman Problem* (MTSP) dengan pembagian kluster. Penelitian ini dilakukan dengan membagi destinasi menggunakan *K*-means dan menerapkan Algoritma Genetika pada kluster tersebut. Hasil menunjukkan bahwa kombinasi Algoritma Genetika dan pembagian kluster dapat berkurang secara signifikan dalam merencanakan rute perjalanan yang efisien. Penggunaan kluster memungkinkan pengelompokan destinasi dengan karakteristik geografis yang mirip dan bedekatan, sehingga menghasilkan rute yang lebih optimal. Dalam penelitian mendatang, optimasi parameter dan penggabungan metode lain dapat dieksplorasi untuk solusi perencanaan perjalanan yang lebih baik. Penelitian ini mengusulkan solusi baru untuk MTSP dengan menghindari perpotongan jalur antar salesman. Penelitian ini mengintegrasikan dua algoritma yang berbeda, yaitu algoritma *K*-means dan algoritma genetika, untuk menyelesaikan MTSP. Penelitian ini menguji kinerja kombinasi algoritma *K*-means dan algoritma genetika untuk MTSP dengan data sekolah SMA di Kabupaten Probolinggo. Hasil percobaan menunjukkan bahwa kombinasi algoritma *K*-means dan algoritma genetika dapat menghasilkan solusi yang optimal untuk MTSP dengan menghindari perpotongan jalur antar salesman.

**Kata Kunci:** MTSP, Algoritma Genetika, Pembagian Kluster, *K*-means.

## ***Application of K-means and Genetic Algorithm for Multiple Traveling Salesman Problem***

### **Abstract**

*This paper implements a combination of the K-means and the genetic algorithms to solve the Multiple Traveling Salesman Problem (MTSP) which avoids crossing paths between traveling salesmen. The objectives of this article are to find the shortest path for each route and to obtain the optimal number of cluster divisions. In this research, we try to combine the K-means algorithm and the genetic algorithm for solving the Multiple Traveling Salesman Problem (MTSP) with a cluster division. This research was carried out by dividing destinations using K-means and applying a Genetic Algorithm to these clusters. The results show that the combination of Genetic Algorithm and cluster division can significantly reduce planning efficient travel routes. The use of clusters allows the grouping of destinations with similar and close geographical characteristics, resulting in more optimal routes. In the future research, parameter optimization and the incorporation of other methods can be explored for better travel planning solutions. This research proposes a new solution for MTSP by avoiding cross paths between salesmen. This research integrates two different algorithms, namely the K-means algorithm and the genetic algorithm, to solve MTSP. This research tests the performance of a combination of the K-means algorithm and genetic*

*algorithm for MTSP with high school data in Probolinggo Regency. The experimental results show that the combination of the K-means algorithm and the genetic algorithm can produce an optimal solution for MTSP by avoiding intersection of paths between salesmen.*

**Keywords:** MTSP, Genetic Algorithm, Cluster Division, K-means.

## 1. Pendahuluan

Selama beberapa tahun terakhir, banyak penelitian telah dilakukan mengenai Multiple Traveling Salesman Problem (MTSP). Namun, sebagian besar dari penelitian ini lebih berfokus pada pencarian jalur tercepat dan pembagian kluster menggunakan metode konvensional seperti *Ant Colony Optimization* (ACO) [1], metode tersebut memiliki beberapa kelebihan seperti menggunakan algoritma ACO yang telah terbukti efektif dalam menyelesaikan masalah MTSP, dan menggunakan operasi Elitism yang dapat meningkatkan kualitas solusi yang dihasilkan. Namun penggunaan algoritma tersebut membutuhkan waktu yang lama untuk konvergen, terutama untuk masalah MTSP dengan skala yang besar, dan juga dapat menghasilkan solusi yang lokal optimal, bukan solusi global optimal. Selain itu pendekatan yang sering digunakan adalah penggunaan algoritma genetika (AG) dan metode k-means. Sebagai contoh, dalam rangka mencapai solusi untuk MTSP, proses pengklasteran (pengelompokan) data menjadi tahap awal yang penting. Algoritma genetika telah terbukti efisien dalam melakukan pengklasteran lebih cepat dibandingkan dengan beberapa algoritma lain yang sering digunakan dalam konteks ini [2]. Keahlian algoritma genetika dalam pengklasteran kemudian dimanfaatkan untuk mencari pusat kluster yang optimal, yang pada gilirannya meningkatkan kesamaan antar kluster [3].

Dalam konteks ini, algoritma k-means juga menjadi salah satu pendekatan yang diuji untuk mengatasi permasalahan MTSP. Keunggulan k-means terletak pada kemampuannya untuk mengkluster data terlebih dahulu sebelum proses pencarian solusi TSP. Pendekatan ini dapat menghindari persilangan rute antar pengirim barang (salesman) yang sering menjadi faktor krusial dalam MTSP [4].

Dengan menggunakan k-means, kita dapat mengelompokkan kluster. Sehingga, salesman dapat bergerak sesuai kluster masing-masing. Di sisi lain, AG dapat membantu salesman dapat memperoleh rute terpendek. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan 2 metode tersebut untuk menyelesaikan masalah MTSP. Data yang digunakan adalah data sekolah SMA di Probolinggo dengan total 76 sekolah.

## 2. Metode Penelitian

### Prosedur Penelitian

Dalam jurnal ini, penelitian dilakukan dengan mengikuti serangkaian tahapan yang terstruktur untuk menyelesaikan permasalahan Multiple Traveling Salesman Problem (MTSP) menggunakan pendekatan kombinasi algoritma genetika (AG) dan algoritma k-means. Berikut adalah prosedur penelitian yang dijalankan:

#### a) Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari studi kasus di Kabupaten Probolinggo. Data koordinat sekolah-sekolah diambil dari sumber terpercaya, yaitu <https://referensi.data.kemdikbud.go.id/> [5]. Selain itu, data koordinat tambahan dikumpulkan melalui aplikasi Google Earth [6], yang memungkinkan pengunduhan langsung dalam format spreadsheet. Pengumpulan data ini memerlukan waktu sekitar satu bulan.

#### b) Langkah-langkah Dalam Tahap Pengolahan Data

- (1) Penyiapan Data: Data sekolah-sekolah yang telah terkumpul disiapkan untuk pengolahan lebih lanjut.
- (2) Pengelompokan Data dengan K-means: Data sekolah dikelompokkan menjadi 1 hingga 10 kluster menggunakan algoritma k-means. Langkah-langkahnya meliputi pemilihan titik-titik centroid sesuai jumlah kluster, perhitungan jarak antara titik-titik tujuan dengan centroid menggunakan Euclidean distance, pembaruan centroid berdasarkan rata-rata titik dalam kluster, dan iterasi hingga tidak ada perubahan dalam anggota kluster.

- (3) Pencarian Rute dengan Algoritma Genetika: Untuk setiap kluster yang terbentuk, proses pencarian rute terdekat (TSP) dilakukan menggunakan algoritma genetika. Tahapannya meliputi pembentukan populasi awal kromosom, perhitungan nilai fitness (jarak) untuk setiap kromosom, implementasi operasi crossover dan mutasi dengan probabilitas yang ditetapkan, dan iterasi hingga ditemukan solusi yang optimal atau mendekati optimal.
- c) Multiple Travelling Salesman Problem  
 Cara untuk mendapatkan jarak total minimum adalah dengan menghitung jarak terdekat dari setiap titik yang saling berdekatan. Rumusnya adalah sebagai berikut:

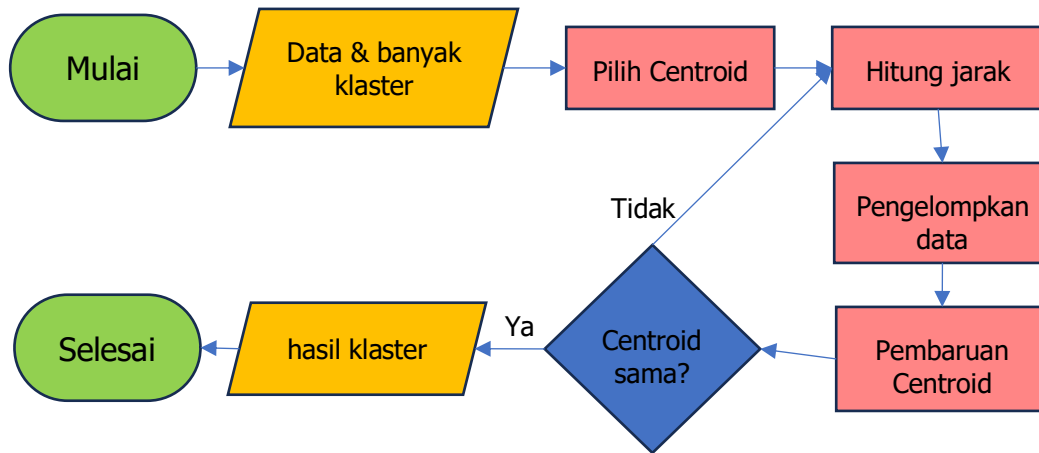
$$\text{Min}(\sum_{j=1}^{k_i} d(v_j, v_{j+1}) + d(v_j, v_0))$$

**Tahapan Algoritma Genetika dan K-means**

K-means adalah jenis metode klasifikasi tanpa pengawasan yang mempartisi item data menjadi satu atau lebih kluster [7]. K-means mencoba untuk memodelkan suatu dataset ke dalam beberapa kluster sehingga item-item data dalam suatu kluster memiliki karakteristik yang sama dan memiliki karakteristik yang berbeda dengan kluster lainnya. Dalam menghitung jarak antara setiap titik, digunakan rumus *Euclidean Distance* sebagai berikut:

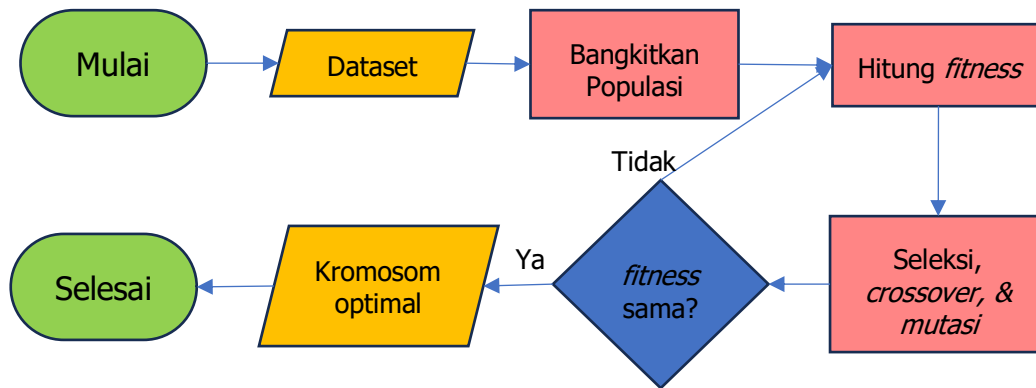
$$d_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}$$

Ada beberapa tahapan dalam k-means [8], yang dalam jurnal ini telah digambarkan dalam bentuk *flowchart* pada Gambar 1.



**Gambar 1** Flowchart *k*-means

Berbeda dengan k-means, algoritma genetika adalah algoritma yang digunakan untuk mencari solusi suatu permasalahan dengan cara yang lebih alami yang terinspirasi dari teori evolusi [9]. Dalam penelitian ini, algoritma genetika akan digunakan untuk pencarian sebuah rute terpendek dalam sebuah kasus perjalanan. Ada beberapa tahapan dalam algoritma genetika [10], yang dalam jurnal ini telah kami gambarkan dalam bentuk *flowchart* pada Gambar 2.



**Gambar 2** Flowchart algoritma genetika

### 3. Hasil

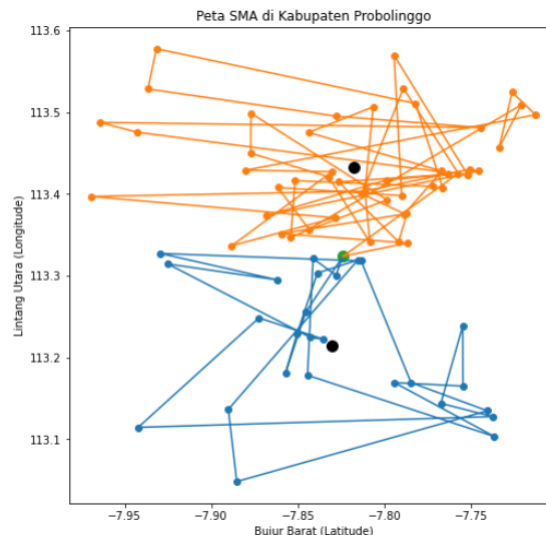
Melalui rangkaian langkah-langkah yang telah diuraikan di atas, sejumlah rute optimal berhasil dihasilkan sebagai solusi untuk Multiple Traveling Salesman Problem (MTSP) dengan mempertimbangkan pembagian kluster yang berbeda. Dalam gambaran keseluruhan, titik O pada 10 kasus berikut merupakan titik tengah dari kluster yang ditetapkan dari titik asal, koordinat titik O dengan total jarak yang diperoleh seperti pada Tabel 1.

#### 1. Pembagian 2 Kluster

Dalam pembagian ini, rute perjalanan dipecah menjadi dua kluster: Kluster A dan Kluster B.

1. Rute Kluster A: O → 33 → 52 → 21 → 32 → 55 → 36 → 10 → 37 → 56 → 30 → 27 → 59 → 60 → 64 → 6 → 39 → 24 → 72 → 13 → 29 → 11 → 63 → 9 → 17 → 47 → 38 → O
2. Rute Kluster B: O → 57 → 58 → 71 → 53 → 49 → 25 → 16 → 23 → 46 → 35 → 61 → 15 → 4 → 41 → 44 → 48 → 67 → 45 → 69 → 5 → 8 → 42 → 50 → 22 → 51 → 74 → 26 → 19 → 34 → 43 → 65 → 12 → 28 → 14 → 70 → 66 → 3 → 40 → 20 → 62 → 31 → 18 → 7 → 54 → 68 → 73 → 75 → 2 → 1 → O

Berdasarkan hasil pencarian rute terpendek menggunakan AG diperoleh total jarak yg diperoleh dari pembagian kluster ini adalah 6,858777 satuan. Rute perjalanan dapat dilihat pada Gambar 3.



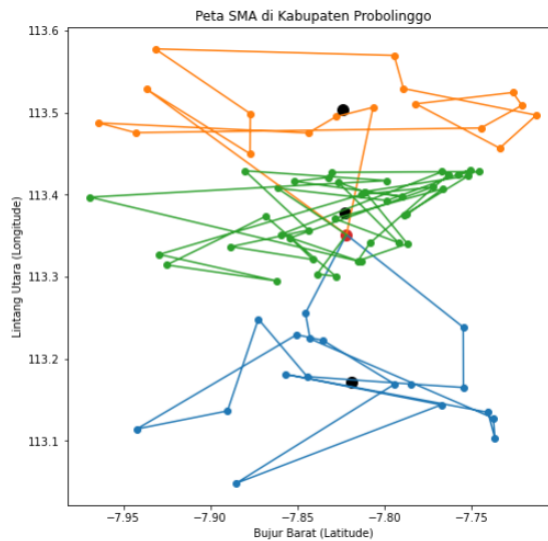
**Gambar 3** Perjalanan dibagi 2 kluster

## 2. Pembagian 3 Kluster

Dalam pembagian ini, rute perjalanan dibagi menjadi tiga kluster: Kluster A, B, dan C.

- Rute Kluster A: O → 38 → 60 → 56 → 32 → 13 → 47 → 37 → 29 → 55 → 59 → 17 → 30 → 11 → 27 → 21 → 72 → 36 → 10 → O
- Rute Kluster B: O → 50 → 41 → 44 → 42 → 34 → 2 → 66 → 14 → 8 → 70 → 28 → 51 → 26 → 74 → 54 → 22 → 7 → O
- Rute Kluster C: O → 65 → 48 → 35 → 1 → 46 → 40 → 4 → 45 → 43 → 18 → 49 → 53 → 62 → 5 → 71 → 73 → 19 → 61 → 57 → 63 → 15 → 25 → 68 → 58 → 24 → 31 → 16 → 3 → 12 → 20 → 52 → 67 → 69 → 75 → 39 → 6 → 64 → 23 → 33 → 9 → O

Berdasarkan hasil pencarian rute terpendek menggunakan AG diperoleh total jarak yg diperoleh dari pembagian kluster ini adalah 5,599878 satuan. Gambar 4 merupakan representasi rute perjalanan pada bagian ini.



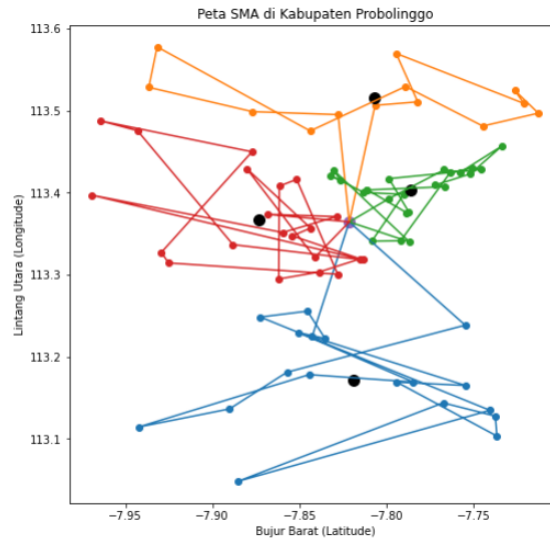
**Gambar 4** Perjalanan dibagi 3 kluster

## 3. Pembagian 4 Kluster

Pada pembagian ini, rute perjalanan dipecah menjadi empat kluster: Kluster A, B, C, dan D.

- Rute Kluster A: O → 60 → 36 → 55 → 32 → 56 → 37 → 29 → 13 → 27 → 38 → 59 → 17 → 72 → 21 → 30 → 11 → 47 → 10 → O
- Rute Kluster B: O → 22 → 44 → 50 → 42 → 34 → 2 → 66 → 14 → 8 → 70 → 28 → 51 → 7 → O
- Rute Kluster C: O → 48 → 68 → 1 → 14 → 19 → 69 → 5 → 18 → 61 → 73 → 71 → 16 → 46 → 35 → 25 → 53 → 15 → 43 → 75 → 4 → 49 → 57 → O
- Rute Kluster D: O → 23 → 62 → 58 → 31 → 63 → 9 → 6 → 65 → 45 → 33 → 64 → 39 → 41 → 74 → 26 → 20 → 24 → 67 → 12 → 3 → 52 → O

Berdasarkan hasil pencarian rute terpendek menggunakan AG diperoleh total jarak yg diperoleh dari pembagian kluster ini adalah 5,010994 satuan. Rute perjalanan pada pembagian 4 kluster ini dapat dilihat pada Gambar 5.



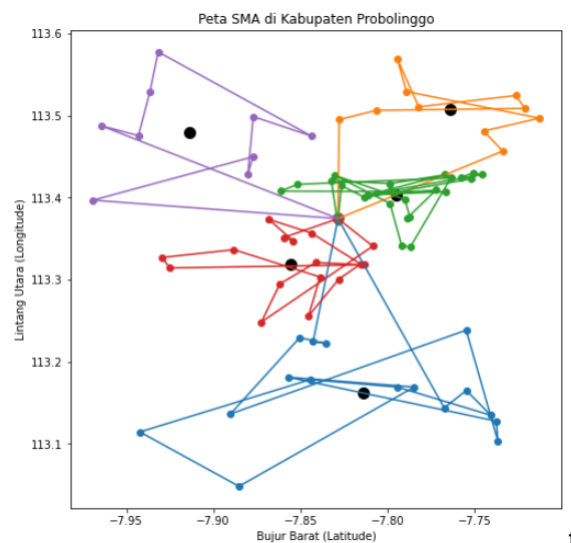
**Gambar 5** Perjalanan dibagi 4 klaster

#### 4. Pembagian 5 Klaster

Pada pembagian ini, rute perjalanan dipecah menjadi lima klaster: Klaster A, B, C, D, dan E.

- Rute Klaster A: O → 37 → 36 → 13 → 55 → 21 → 30 → 29 → 72 → 47 → 56 → 32 → 10 → 11 → 17 → 59 → 60 → O
- Rute Klaster B: O → 22 → 7 → 28 → 70 → 8 → 34 → 2 → 66 → 51 → 14 → O
- Rute Klaster C: O → 49 → 75 → 19 → 1 → 35 → 46 → 61 → 69 → 73 → 71 → 43 → 40 → 48 → 53 → 57 → 25 → 45 → 65 → O
- Rute Klaster D: O → 15 → 27 → 6 → 52 → 24 → 64 → 39 → 20 → 9 → 38 → 33 → O
- Rute Klaster E: O → 74 → 26 → 50 → 42 → 54 → 44 → 3 → 41 → 31 → O

Berdasarkan hasil pencarian rute terpendek menggunakan AG diperoleh total jarak yg diperoleh dari pembagian klaster ini adalah 4,805015 satuan. Rute perjalanan untuk 6 klaster dapat dilihat pada Gambar 6.



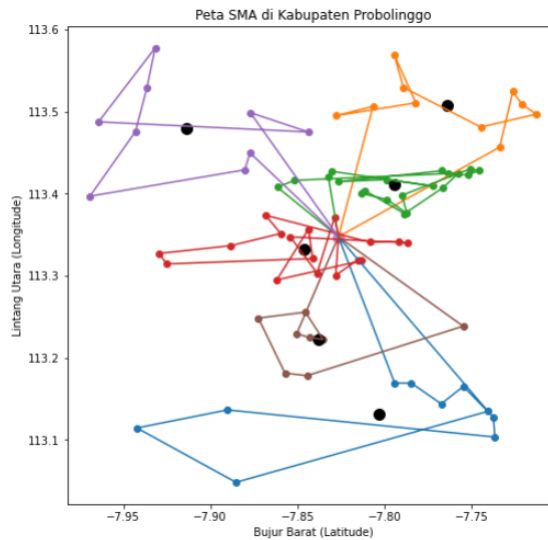
**Gambar 6** Perjalanan dibagi 5 klaster

5. Pembagian 6 Klaster

Pada pembagian ini, rute perjalanan dipecah menjadi enam klaster: Klaster A, B, C, D, E, dan F.

- Rute Klaster A: O → 13 → 29 → 30 → 11 → 32 → 56 → 36 → 37 → 72 → 55 → O
- Rute Klaster B: O → 14 → 70 → 28 → 66 → 51 → 2 → 34 → 8 → 22 → 7 → O
- Rute Klaster C: O → 4 → 40 → 69 → 16 → 49 → 68 → 25 → 19 → 46 → 35 → 43 → 71 → 48 → 75 → 18 → 61 → 73 → 5 → 1 → O
- Rute Klaster D: O → 62 → 9 → 67 → 57 → 53 → 15 → 23 → 58 → 20 → 39 → 64 → 52 → 12 → 6 → 24 → 63 → 33 → O
- Rute Klaster E: O → 44 → 54 → 74 → 42 → 50 → 26 → 31 → 3 → 41 → O
- Rute Klaster F: O → 17 → 60 → 59 → 38 → 27 → 47 → 21 → 10 → O

Berdasarkan hasil pencarian rute terpendek menggunakan AG diperoleh total jarak yg diperoleh dari pembagian klaster ini adalah 4,805015 satuan. Gambar 7 berikut merupakan rute perjalan untuk pembagian 6 klaster.



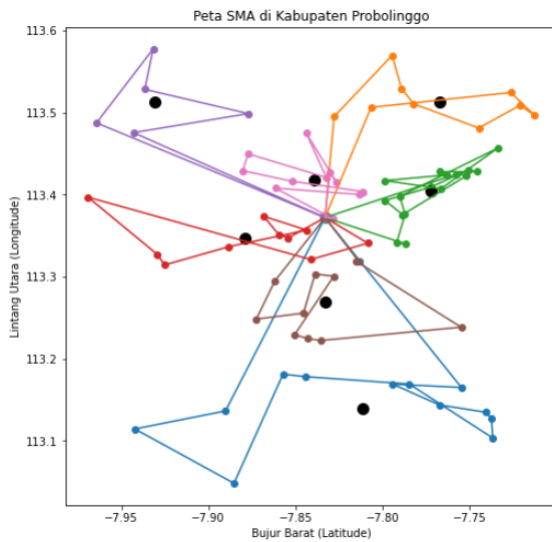
**Gambar 7** Perjalanan dibagi 6 klaster

6. Pembagian 7 Klaster

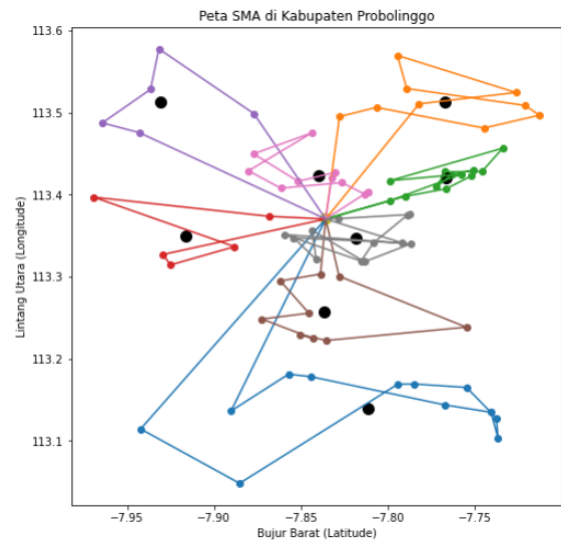
Pada pembagian ini, rute perjalanan dipecah menjadi tujuh klaster: Klaster A, B, C, D, E, F, dan G.

- Rute Klaster A: O → 11 → 30 → 29 → 47 → 21 → 72 → 32 → 56 → 13 → 37 → 55 → 36 → O
- Rute Klaster B: O → 7 → 70 → 66 → 28 → 51 → 8 → 2 → 34 → 22 → O
- Rute Klaster C: O → 1 → 19 → 73 → 48 → 69 → 35 → 46 → 68 → 25 → 16 → 5 → 14 → 43 → 71 → 53 → 57 → O
- Rute Klaster D: O → 39 → 64 → 20 → 58 → 23 → 31 → 52 → 15 → O
- Rute Klaster E: O → 26 → 44 → 50 → 42 → 54 → O
- Rute Klaster F: O → 24 → 63 → 10 → 59 → 60 → 17 → 33 → 9 → 38 → 27 → 6 → O
- Rute Klaster G: O → 40 → 49 → 54 → 4 → 41 → 3 → 45 → 61 → 18 → 75 → 65 → 62 → O

Berdasarkan hasil pencarian rute terpendek menggunakan AG diperoleh total jarak yg diperoleh dari pembagian klaster ini adalah 4,353295 satuan. Rute perjalan pada kasus ini dapat dilihat pada Gambar 8.



**Gambar 8** Perjalanan dibagi 7 klaster



**Gambar 9** Perjalanan dibagi 8 klaster

## 7. Pembagian 8 Klaster

Pada pembagian ini, rute perjalanan dipecah menjadi delapan klaster: Klaster A, B, C, D, E, F, G, dan H.

- Rute Klaster A: O → 11 → 47 → 21 → 37 → 13 → 32 → 56 → 36 → 72 → 55 → 29 → 30 → O
- Rute Klaster B: O → 22 → 7 → 51 → 66 → 28 → 2 → 34 → 70 → 8 → O
- Rute Klaster C: O → 43 → 5 → 19 → 35 → 25 → 69 → 68 → 46 → 14 → 16 → 1 → 48 → O
- Rute Klaster D: O → 39 → 67 → 64 → 20 → 58 → 23 → 31 → O
- Rute Klaster E: O → 26 → 74 → 50 → 42 → 44 → O
- Rute Klaster F: O → 33 → 10 → 59 → 17 → 60 → 27 → 38 → 6 → 9 → O
- Rute Klaster G: O → 61 → 18 → 75 → 49 → 65 → 3 → 54 → 41 → 45 → 40 → 4 → O
- Rute Klaster H: O → 53 → 67 → 52 → 12 → 24 → 57 → 58 → 63 → 15 → 73 → 71 → 62 → O

Berdasarkan hasil pencarian rute terpendek menggunakan AG diperoleh total jarak yg diperoleh dari pembagian klaster ini adalah 4,398984 satuan. Gambar 9 merupakan gambaran rute perjalan untuk kasus 8 klaster.

## 8. Pembagian 9 Klaster

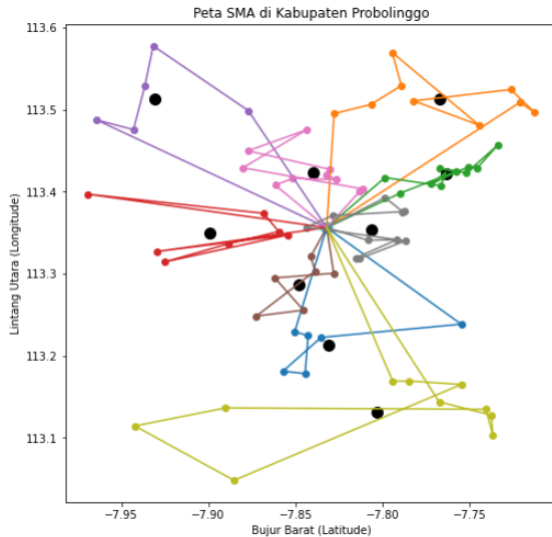
Pada pembagian ini, rute perjalanan dipecah menjadi sembilan klaster: Klaster A, B, C, D, E, F, G, H, dan I.

- Rute Klaster A: O → 17 → 60 → 21 → 47 → 59 → 10 → O
- Rute Klaster B: O → 28 → 66 → 70 → 8 → 51 → 34 → 2 → 7 → 22 → O
- Rute Klaster C: O → 16 → 5 → 25 → 69 → 35 → 46 → 14 → 19 → 68 → 1 → 43 → O
- Rute Klaster D: O → 39 → 67 → 20 → 58 → 23 → 31 → O
- Rute Klaster E: O → 74 → 26 → 50 → 42 → 44 → O
- Rute Klaster F: O → 52 → 9 → 27 → 38 → 6 → 33 → O
- Rute Klaster G: O → 75 → 61 → 18 → 3 → 54 → 41 → 40 → 4 → 49 → 45 → 65 → O
- Rute Klaster H: O → 48 → 73 → 71 → 62 → 12 → 57 → 24 → 63 → 53 → 15 → O

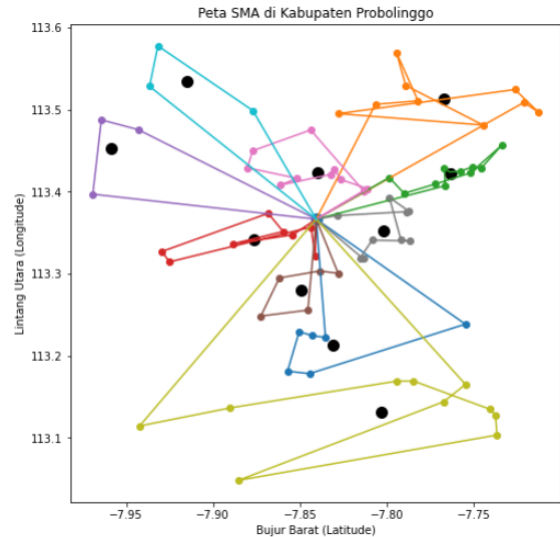


- Rute Kluster I:  $O \rightarrow 37 \rightarrow 56 \rightarrow 32 \rightarrow 13 \rightarrow 11 \rightarrow 30 \rightarrow 29 \rightarrow 36 \rightarrow 72 \rightarrow 55 \rightarrow O$

Berdasarkan hasil pencarian rute terpendek menggunakan AG diperoleh total jarak yg diperoleh dari pembagian kluster ini adalah 4,48243 satuan. Rute perjalanan dapat dilihat pada Gambar 10.



**Gambar 10** Perjalanan dibagi 9 kluster



**Gambar 11** Perjalanan dibagi 10 kluster

9.  
 10. Pembagian 10 Kluster

Pada pembagian ini, rute perjalanan dipecah menjadi sepuluh kluster: Kluster A, B, C, D, E, F, G, H, I, dan J.

- Rute Kluster A:  $O \rightarrow 10 \rightarrow 21 \rightarrow 47 \rightarrow 17 \rightarrow 60 \rightarrow 59 \rightarrow O$
- Rute Kluster B:  $O \rightarrow 28 \rightarrow 66 \rightarrow 70 \rightarrow 22 \rightarrow 51 \rightarrow 2 \rightarrow 34 \rightarrow 8 \rightarrow 7 \rightarrow O$
- Rute Kluster C:  $O \rightarrow 16 \rightarrow 5 \rightarrow 25 \rightarrow 69 \rightarrow 35 \rightarrow 46 \rightarrow 14 \rightarrow 19 \rightarrow 68 \rightarrow 1 \rightarrow 43 \rightarrow O$
- Rute Kluster D:  $O \rightarrow 67 \rightarrow 20 \rightarrow 58 \rightarrow 23 \rightarrow 39 \rightarrow 64 \rightarrow 12 \rightarrow 52 \rightarrow O$
- Rute Kluster E:  $O \rightarrow 31 \rightarrow 74 \rightarrow 26 \rightarrow O$
- Rute Kluster F:  $O \rightarrow 38 \rightarrow 27 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 33 \rightarrow O$
- Rute Kluster G:  $O \rightarrow 18 \rightarrow 75 \rightarrow 54 \rightarrow 41 \rightarrow 3 \rightarrow 45 \rightarrow 65 \rightarrow 4 \rightarrow 40 \rightarrow 49 \rightarrow 61 \rightarrow O$
- Rute Kluster H:  $O \rightarrow 62 \rightarrow 73 \rightarrow 71 \rightarrow 48 \rightarrow 53 \rightarrow 57 \rightarrow 15 \rightarrow 63 \rightarrow 24 \rightarrow O$
- Rute Kluster I:  $O \rightarrow 30 \rightarrow 11 \rightarrow 55 \rightarrow 72 \rightarrow 13 \rightarrow 56 \rightarrow 32 \rightarrow 29 \rightarrow 37 \rightarrow 36 \rightarrow O$
- Rute Kluster J:  $O \rightarrow 44 \rightarrow 42 \rightarrow 50 \rightarrow O$

Berdasarkan hasil pencarian rute terpendek menggunakan AG diperoleh total jarak yg diperoleh dari pembagian kluster ini adalah 4,780413 satuan. Rute perjalanan untuk kasus 10 kluster dapat dilihat pada Gambar 11.

Berdasarkan hasil komputasi dengan menggunakan beberapa kluster, rute terpendek diperoleh ketika dibagi sebanyak 7 kluster, meski penambahan kluster dapat mengurangi jumlah titik yang ada di kluster, hal tersebut tidak berarti bahwa total jarak yang ditempuh menjadi lebih kecil. Adapun detail total jarak yang diperoleh dari masing masing percobaan dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1** Total jarak dengan jumlah pembagian klaster yang berbeda

Banyak Klaster	Total Jarak	Peringkat	Titik Asal	
			Latitude (x)	Longitude (y)
1	10,0503	10	-7,8221841	113,3570412
2	6,858777	9	-7,8241236	113,3236903
3	5,599878	8	-7,8219762	113,3512877
4	5,010994	7	-7,8215022	113,3644199
5	4,805015	6	-7,828521	113,3744846
6	4,43132	3	-7,8265701	113,3475373
7	4,353295	1	-7,8331118	113,3721289
8	4,398984	2	-7,8358502	113,3704048
9	4,48243	4	-7,8321462	113,356253
10	4,780413	5	-7,8406976	113,3665328

#### 4. Pembahasan/Kesimpulan

Pada bagian ini, akan dibahas hasil dari analisis rute perjalanan yang dihasilkan dari proses penggunaan Algoritma Genetika dalam menyelesaikan Travelling Salesman Problem (TSP). Analisis tersebut akan menjelaskan implikasi dari hasil tersebut, menyusun kesimpulan yang relevan, dan memberikan saran untuk penelitian mendatang dalam konteks pengembangan metode optimisasi rute perjalanan.

##### A. Analisis Hasil

Dalam menganalisis hasil perjalanan yang dihasilkan oleh Algoritma Genetika, terdapat beberapa aspek penting yang dapat diperhatikan. Salah satu hal yang menonjol adalah kemampuan Algoritma Genetika dalam mengoptimalkan rute perjalanan dengan mempertimbangkan berbagai faktor seperti jarak tempuh, urutan kunjungan, dan pembagian klaster. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa dengan memvariasikan jumlah klaster, diperoleh rute-rute perjalanan yang memiliki panjang jarak tempuh yang berbeda-beda. Pada pembagian klaster tertentu, terlihat adanya pengelompokan destinasi yang memiliki karakteristik geografis yang mirip. Hal ini berpotensi menghasilkan rute-rute perjalanan yang lebih efisien dan mengurangi jarak tempuh secara signifikan. Selain itu, pembagian klaster juga memberikan fleksibilitas dalam merencanakan rute perjalanan berdasarkan preferensi dan tujuan pengguna. Namun, hasil analisis juga mengungkapkan bahwa terdapat trade-off antara jumlah klaster dan panjang jarak tempuh total. Pengguna perlu mempertimbangkan secara cermat jumlah klaster yang akan digunakan sesuai dengan tujuan perjalanan.

##### B. Kesimpulan

Berdasarkan analisis hasil dan implikasi yang telah dibahas, dapat disimpulkan bahwa Algoritma Genetika merupakan pendekatan yang dapat mengurangi total jarak secara signifikan dalam menyelesaikan Travelling Salesman Problem. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa dengan penggunaan Algoritma Genetika, diperoleh rute-rute perjalanan yang mendekati optimal dengan mempertimbangkan pembagian klaster. Penggunaan pembagian klaster dalam merencanakan rute perjalanan dapat menghasilkan efisiensi yang signifikan dalam hal jarak tempuh dan waktu.

##### C. Saran untuk Penelitian Mendatang

Meskipun hasil ini menunjukkan keberhasilan Algoritma Genetika dalam menyelesaikan TSP, terdapat beberapa arah penelitian yang dapat dieksplorasi lebih lanjut untuk pengembangan metode ini. Beberapa saran untuk penelitian mendatang adalah:

- a. **Optimasi Parameter:** Melakukan penelitian lebih lanjut terkait dengan optimasi parameter Algoritma Genetika, seperti probabilitas crossover dan mutasi, untuk mendapatkan solusi yang lebih optimal dan efisien.
- b. **Penggabungan Metode:** Menggabungkan Algoritma Genetika dengan metode optimasi lainnya, seperti Algoritma Beruang Tuan (Ant Colony Optimization) atau Pencarian Harmoni

(Harmony Search), untuk menghasilkan pendekatan yang lebih kuat dan dapat mengurangi total jarak secara signifikan dalam menyelesaikan TSP.

- c. **Penanganan Batasan:** Mempertimbangkan penanganan batasan-batasan khusus yang mungkin ada dalam konteks perjalanan nyata, seperti pembatasan waktu kunjungan di masing-masing destinasi.
- d. **Pengujian pada Skenario Nyata:** Melakukan pengujian lebih lanjut pada data perjalanan nyata dengan variasi kondisi geografis dan logistik yang berbeda.
- e. **Pengembangan Aplikasi Praktis:** Mengembangkan aplikasi praktis yang memanfaatkan Algoritma Genetika untuk merencanakan rute perjalanan yang efisien dan praktis bagi pengguna.

Penelitian mendatang dalam pengembangan Algoritma Genetika untuk TSP dapat memberikan kontribusi lebih lanjut dalam pengembangan solusi perencanaan perjalanan yang lebih baik dan efisien.

## 5. Daftar Pustaka

- [1] S. Cokrowibowo, Ismail, dan Indra, "Multiple Traveling Salesman Problem menggunakan Algoritma Ant Colony Optimization dengan Operasi Elitism," *jcis*, vol. 2, no. 1, hlm. 23-28, Oktober 2019, doi: 10.31605/jcis.v2i1.
- [2] K. Krishna dan M. Narasimha Murty, "Genetic K-means algorithm," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. B*, vol. 29, no. 3, hlm. 433–439, Jun 1999, doi: 10.1109/3477.764879.
- [3] U. Maulik dan S. Bandyopadhyay, "Genetic algorithm-based clustering technique," *Pattern Recognition*, vol. 33, no. 9, hlm. 1455–1465, Sep 2000, doi: 10.1016/S0031-3203(99)00137-5.
- [4] Z. Lu, K. Zhang, J. He, dan Y. Niu, "Applying K-means Clustering and Genetic Algorithm for Solving MTSP," dalam *Bio-inspired Computing – Theories and Applications*, M. Gong, L. Pan, T. Song, dan G. Zhang, Ed., dalam *Communications in Computer and Information Science*, vol. 682. Singapore: Springer Singapore, 2016, hlm. 278–284. doi: 10.1007/978-981-10-3614-9\_34.
- [5] "Data referensi pendidikan." Kemendikbud (2022). Diakses: 16 Agustus 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://referensi.data.kemdikbud.go.id/index11.php?kode=052000&level=2>
- [6] "Google Earth," Google (2022). Diakses: 16 Agustus 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://earth.google.com>
- [7] Y. Agusta, "K-Means – Penerapan, Permasalahan dan Metode Terkait," vol. 3, 2007.
- [8] S. Monalisa, "Klusterisasi Customer Lifetime Value dengan Model LRFM menggunakan Algoritma K-Means," *JTIK*, vol. 5, no. 2, hlm. 247, Mei 2018, doi: 10.25126/jtik.201852690.
- [9] A. Shukla et al., *Real Life Application of Soft Computing*. Boca Raton: CRC Press, 2010, pp. 149-153.
- [10] R. S. Armanda dan W. F. Mahmudy, "Penerapan Algoritma Genetika Untuk Penentuan Batasan Fungsi Kenggotaan Fuzzy Tsukamoto Pada Kasus Peramalan Permintaan Barang," *JTIK*, vol. 3, no. 3, hlm. 169, Des 2016, doi: 10.25126/jtik.201633201.