

**IMPLEMENTASI ALGORITMA *ANT COLONY*  
*OPTIMIZATION* DENGAN ANALISIS PENGUAPAN  
FEROMON UNTUK MENGOPTIMALKAN RUTE  
DISTRIBUSI SUSU JABMILK DI KABUPATEN MALANG**

**SKRIPSI**

**OLEH:  
EMILIA FITRIANA  
NIM. 210601110036**



**PROGRAM STUDI MATEMATIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG  
2025**

**IMPLEMENTASI ALGORITMA *ANT COLONY*  
*OPTIMIZATION* DENGAN ANALISIS PENGUAPAN  
FEROMON UNTUK MENGOPTIMALKAN RUTE  
DISTRIBUSI SUSU JABMILK DI KABUPATEN MALANG**

**SKRIPSI**

**Diajukan Kepada  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang  
untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)**

**Oleh  
Emilia Fitriana  
Nim. 210601110036**

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG  
2025**

**IMPLEMENTASI ALGORITMA *ANT COLONY*  
*OPTIMIZATION* DENGAN ANALISIS PENGUAPAN  
FEROMON UNTUK MENGOPTIMALKAN RUTE  
DISTRIBUSI SUSU JABMILK DI KABUPATEN MALANG**

**SKRIPSI**

**Oleh  
Emilia Fitriana  
Nim. 210601110036**

Telah Disetujui Untuk Diuji

Malang, 16 Mei 2025

Dosen Pembimbing I

  
Mohammad Nafie Jauhari, M.Si.  
NIPPPK. 19870218 202321 1 018

Dosen Pembimbing II

  
Erna Herawati, M.Pd.  
NIPPPK. 19760723 202321 2 006

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Matematika



  
Dr. Ely Susanti, M.Sc.  
NIP. 19741129 200012 2 005

**IMPLEMENTASI ALGORITMA *ANT COLONY*  
*OPTIMIZATION* DENGAN ANALISIS PENGUAPAN  
FEROMON UNTUK MENGOPTIMALKAN RUTE  
DISTRIBUSI SUSU JABMILK DI KABUPATEN MALANG**

**SKRIPSI**

Oleh  
**Emilia Fitriana**  
Nim. 210601110036

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi  
dan Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan  
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)

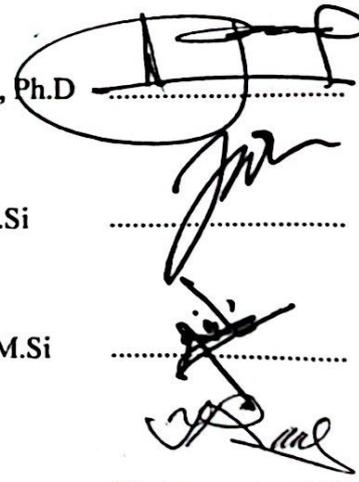
Tanggal 12 Juni 2025

Ketua Penguji : Prof. Dr. H. Turmudi, M.Si., Ph.D

Anggota Penguji 1 : Muhammad Khudzaifah, M.Si

Anggota Penguji 2 : Mohammad Nafie Jauhari, M.Si

Anggota Penguji 3 : Erna Herawati, M.Pd



Mengetahui,  
Ketua Program Studi Matematika



Dr. Elly Susanti, M.Sc.  
NIP. 19741129 200012 2 005

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Emilia Fitriana

NIM : 210601110036

Program Studi : Matematika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Skripsi : Implementasi Algoritma *Ant Colony Optimization* untuk  
Mengoptimalkan Rute Distribusi Susu Jabmilk di  
Kabupaten Malang

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan pengambilan tulisan atau pemikiran orang lain yang saya akui sebagai pemikiran saya, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar rujukan. Apabila dikemudian hari terbukti skripsi ini adalah hasil jiplakan atau tiruan, maka saya bersedia menerima sanksi yang berlaku atas perbuatan tersebut.

Malang, 12 Juni 2025



Emilia Fitriana

NIM. 2106011110036

## **MOTTO**

“jika bukan karena Allah SWT yang mampukan,  
aku mungkin sudah lama menyerah”

Penulis

## **PERSEMBAHAN**

Dengan penuh kerendahan hati dan rasa syukur yang tak terhingga kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat, kekuatan, dan kasih sayang-Nya, karya ini penulis persembahkan kepada Ayah tercinta Ahmad Musyaffa' dan Ibu tercinta Nur Aini, orang hebat yang selalu menjadi penyemangat saya sebagai sandaran terkuat dari kerasnya dunia, terima kasih untuk semua do'a dan dukungan ayah dan ibu sehingga saya bisa berada dititik ini. Kakak tersayang Ilham Aminullah, yang senantiasa menjadi panutan dan penyokong semangat, baik dalam diam maupun dalam canda yang menenangkan. Adik-adikku tersayang, Faiz Mubarak, Salsabila Mufarrohah, dan Naura Habibatul Khoiriyah, yang telah menghadirkan warna, semangat, dan tawa di tengah hari-hari penuh perjuangan. Terima kasih telah menjadi alasan untuk terus melangkah dan tidak menyerah. Karya ini adalah wujud kecil dari rasa cinta dan terima kasih penulis atas segala dukungan, doa, dan kasih sayang yang telah diberikan. Semoga menjadi awal dari jalan yang bermanfaat, dan dapat menjadi kebanggaan bagi orang-orang tercinta.

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbi ‘alamin, segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan kekuatan, kesabaran, dan kemudahan kepada penulis dalam menyusun dan menyelesaikan skripsi yang judul “Implementasi Algoritma *Ant Colony Optimization* dengan Analisis Penguapan Feromon untuk Mengoptimalkan Rute Distribusi Susu Jabmilk di Kabupaten Malang”. Shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan seluruh umatnya hingga akhir zaman.

Peneliti menyadari bahwa dalam proses penyusunan skripsi ini, peneliti tidak terlepas dari motivasi, dukungan, serta bimbingan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, peneliti menyampaikan rasa syukur yang mendalam serta ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A., selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
2. Prof. Dr. Sri Harini, M.Si, selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
3. Dr. Elly Susanti, S.Pd., M.Sc, selaku ketua Program Studi Matematika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
4. Mohammad Nafie Jauhari, M.Si, selaku dosen pembimbing I yang dengan sabar telah meluangkan waktu, memberikan arahan, masukan, serta motivasi selama proses penyusunan skripsi ini.
5. Erna Herawati, M.Pd, selaku dosen pembimbing II yang dengan sabar telah meluangkan waktu, memberikan arahan, masukan, serta motivasi selama proses penyusunan skripsi ini.

6. Prof. Dr. H. Turmudi, M.Si., Ph.D, selaku dosen ketua penguji yang telah memberikan kritik, masukan, dan evaluasi yang membangun demi kesempurnaan skripsi ini.
7. Muhammad Khudzaifah, M.Si, selaku dosen penguji 1 yang telah memberikan kritik, masukan, dan evaluasi yang membangun demi kesempurnaan skripsi ini.
8. Seluruh dosen Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, yang telah memberikan ilmu, motivasi, dan pengalaman berharga selama masa studi.
9. Orang tua tercinta, kakak, adek-adek saya dan seluruh keluarga besar, yang telah menjadi sumber kekuatan, doa, serta dukungan moril maupun materiil sepanjang proses perkuliahan dan penyusunan skripsi ini.
10. Seluruh teman-teman satu bimbingan peneliti yang telah memberikan bantuan, kebersamaan, dan semangat berjuang bersama.
11. Seluruh teman-teman yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terima kasih telah membersamai perjuangan.
12. Seluruh teman-teman angkatan 2021 “Teorema”
13. Semua pihak yang tidak dapat peneliti sebutkan satu per satu, yang telah memberikan bantuan secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini.

Peneliti menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, segala bentuk kritik dan saran yang membangun sangat peneliti harapkan untuk perbaikan di masa mendatang. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat

memberikan manfaat bagi semua pihak yang membacanya, serta menjadi amal jariyah dalam bidang ilmu pengetahuan.

Malang, 12 Juni 2025

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGAJUAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iv
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN</b> .....	v
<b>MOTTO</b> .....	vi
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>ABSTRAK</b> .....	xvi
<b>ABSTRACT</b> .....	xvii
مستخلص البحث .....	xviii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	7
1.3 Tujuan Penelitian .....	7
1.4 Manfaat Penelitian .....	7
1.5 Batasan Masalah .....	8
<b>BAB II KAJIAN TEORI</b> .....	9
2.1 Graf .....	9
2.1.1 Definisi Graf .....	9
2.1.2 Jenis-Jenis Graf .....	10
2.2 Optimasi Rute Terpendek .....	13
2.3 Algoritma Optimasi .....	14
2.3.1 Algoritma Dijkstra's .....	15
2.3.2 Algoritma Bellman-Ford .....	15
2.3.3 Algoritma Floyd-Warshall .....	16
2.3.4 <i>Genetic Algorithm (GA)</i> .....	16
2.4 Algoritma <i>Ant Colony Optimization</i> .....	17
2.5 Analisis Korelasi .....	20
2.6 Mekanisme <i>Foraging</i> pada Koloni Semut .....	22
2.7 Relevansi Topik dengan Al-Qur'an dan Hadits .....	24
2.8 Kajian Topik dengan Teori Pendukung .....	27
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	29
3.1 Jenis Penelitian .....	29
3.2 Data dan Sumber Data .....	29
3.3 Tahapan Penelitian .....	30
3.4 <i>Flowchart</i> .....	33
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	34
4.1 Deskripsi Data .....	34
4.1.1 Data Titik Lokasi Jabmart .....	34
4.1.2 Data Jarak Antar Titik Jabmart .....	36

4.2	Inisialisasi Parameter .....	37
4.3	Proses Simulasi ACO .....	37
4.4	Hasil Simulasi Setiap Nilai $\rho$ yang Berbeda .....	45
4.5	Analisis Korelasi.....	62
4.6	Relevansi Topik dengan Al-Qur'an dan Hadist .....	65
<b>BAB V PENUTUP</b> .....		69
5.1	Kesimpulan.....	69
5.2	Saran .....	69
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		71
<b>LAMPIRAN</b> .....		74
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....		77

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4.1</b>	Data Titik Lokasi Jabmart .....	35
<b>Tabel 4.2</b>	Data Jarak antar Titik Jabmart.....	36
<b>Tabel 4.3</b>	Parameter Inisialisasi.....	37
<b>Tabel 4.4</b>	Rute dan Jarak Tempuh dengan Nilai $\rho = 0,1$ .....	47
<b>Tabel 4.5</b>	Rute dan Jarak Tempuh dengan Nilai $\rho = 0,2$ .....	48
<b>Tabel 4.6</b>	Rute dan Jarak Tempuh dengan Nilai $\rho = 0,3$ .....	50
<b>Tabel 4.7</b>	Rute dan Jarak Tempuh dengan Nilai $\rho = 0,4$ .....	51
<b>Tabel 4.8</b>	Rute dan Jarak Tempuh dengan Nilai $\rho = 0,5$ .....	53
<b>Tabel 4.9</b>	Rute dan Jarak Tempuh dengan Nilai $\rho = 0,6$ .....	55
<b>Tabel 4.10</b>	Rute dan Jarak Tempuh dengan Nilai $\rho = 0,7$ .....	56
<b>Tabel 4.11</b>	Rute dan Jarak Tempuh dengan Nilai $\rho = 0,8$ .....	58
<b>Tabel 4.12</b>	Rute dan Jarak Tempuh dengan Nilai $\rho = 0,9$ .....	59
<b>Tabel 4.13</b>	Rute dan Jarak Tempuh dengan Nilai $\rho = 1$ .....	61

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Graf $G$ .....	10
<b>Gambar 2.2</b>	Graf Sederhana .....	11
<b>Gambar 2.3</b>	Graf Berarah .....	12
<b>Gambar 2.4</b>	Graf Tak Berarah .....	13
<b>Gambar 3.1</b>	Flowchart Algoritma Ant Colony Optimization.....	33
<b>Gambar 4.1</b>	Peta Jabmart di Kabupaten Malang .....	35
<b>Gambar 4.2</b>	Rute Terpendek dengan Nilai $\rho = 0,1$ .....	47
<b>Gambar 4.3</b>	Rute Terpendek dengan Nilai $\rho = 0,2$ .....	49
<b>Gambar 4.4</b>	Rute Terpendek dengan Nilai $\rho = 0,3$ .....	51
<b>Gambar 4.5</b>	Rute Terpendek dengan Nilai $\rho = 0,4$ .....	52
<b>Gambar 4.6</b>	Rute Terpendek dengan Nilai $\rho = 0,5$ .....	54
<b>Gambar 4.7</b>	Rute Terpendek dengan Nilai $\rho = 0,6$ .....	56
<b>Gambar 4.8</b>	Rute Terpendek dengan Nilai $\rho = 0,7$ .....	57
<b>Gambar 4.9</b>	Rute Terpendek dengan Nilai $\rho = 0,8$ .....	59
<b>Gambar 4.10</b>	Rute Terpendek dengan Nilai $\rho = 0,9$ .....	60
<b>Gambar 4.11</b>	Rute Terpendek dengan Nilai $\rho = 1$ .....	62
<b>Gambar 4.13</b>	Uji Normalitas Nilai $\rho$ .....	63
<b>Gambar 4.14</b>	Uji Normalitas Nilai Jarak Tempuh.....	64
<b>Gambar 4.15</b>	Uji Korelasi Spearman.....	64

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b> Nilai Visibilitas .....	74
<b>Lampiran 2</b> Program Mencari Rute Terpendek Algoritma ACO.....	75

## ABSTRAK

Fitriana, Emilia. 2025. **Implementasi Algoritma *Ant Colony Optimization* dengan Analisis Penguapan Feromon untuk Mengoptimalkan Distribusi Susu Jabmilk di Kabupaten Malang**. Skripsi. Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Mohammad Nafie Jauhari, M.Si. (II) Erna Herawati, M.Pd.

**Kata Kunci :** Ant Colony Optimization, Penguapan Feromon, Rute Terpendek, Distribusi Logistik, Jabmilk

Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) merupakan algoritma metaheuristik yang terinspirasi dari perilaku semut dalam mencari rute terpendek menuju sumber makanan. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan algoritma ACO dengan analisis penguapan feromon untuk mengoptimalkan rute distribusi susu Jabmilk di Kabupaten Malang. Data lokasi dan jarak antar 13 Jabmart diperoleh dari *Google Maps* dan disusun dalam bentuk matriks jarak untuk membentuk graf tak berarah. Simulasi dilakukan menggunakan parameter  $\alpha = 1$ ,  $\beta = 2$ , dan nilai penguapan feromon ( $\rho$ ) yang divariasikan dari 0,1 hingga 1 dengan jumlah iterasi sebanyak 13. Hasil simulasi menunjukkan bahwa perubahan nilai  $\rho$  memengaruhi rute distribusi yang dihasilkan oleh algoritma ACO. Berdasarkan analisis korelasi Spearman, pengaruh nilai  $\rho$  menentukan rute terpendek tergolong negatif lemah. Artinya, meskipun nilai  $\rho$  berperan dalam proses pembaruan feromon, peningkatannya tidak secara signifikan memperpendek rute. Penelitian ini memberikan gambaran bahwa pemilihan parameter  $\rho$  tetap penting namun tidak menjadi satu-satunya faktor dominan dalam pencapaian solusi optimal menggunakan ACO dalam distribusi logistik.

## ABSTRACT

Fitriana, Emilia. 2025. Thesis. **Implementation of the Ant Colony Optimization Algorithm with Pheromone Evaporation Analysis to Optimize Milk Distribution Routes of Jabmilk in Malang Regency.** Mathematics Study Program, Faculty of Science and Technology, Universitas Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisors: (I) Mohammad Nafie Jauhari, M.Si. (II) Erna Herawati, M.Pd.

**Keyword:** Ant Colony Optimization, Pheromone Evaporation, Shortest Route, Logistics Distribution, Jabmilk.

The Ant Colony Optimization (ACO) algorithm is a metaheuristic inspired by the behavior of ants in finding the shortest path to a food source. This study aims to implement the ACO algorithm with pheromone evaporation analysis to optimize the distribution routes of Jabmilk dairy products in Malang Regency. Location and distance data between 13 Jabmart stores were obtained from Google Maps and compiled into a distance matrix to construct an undirected graph. The simulation was conducted using parameters  $\alpha = 1$ ,  $\beta = 2$ , and pheromone evaporation rates ( $\rho$ ) ranging from 0.1 to 1, with 13 iterations. The results showed that variations in the value of  $\rho$  affected the distribution routes generated by the ACO algorithm. Based on Spearman correlation analysis, the influence of  $\rho$  on determining the shortest route was weakly negative. This means that although  $\rho$  plays a role in the pheromone update process, increasing its value does not significantly reduce the total route length. This study illustrates that while the selection of the  $\rho$  parameter remains important, it is not the sole dominant factor in achieving optimal solutions using ACO for logistics distribution problems.

## مستخلص البحث

فطريانا، إمليا ٢٠٢٥. تطبيق خوارزمية تحسين مستعمرة النمل مع تحليل تبخر الفيرومون لتحسين توزيع حليب جامبليك في محافظة مالانج. البحث العامي. قسم الرياضيات، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف: (١) محمد نافع جوهرى، الماجستير في العلوم (٢) إيرنا هيراواتي، الماجستير وتعليم اللغة العربية.

**الكلمات الأساسية:** تحسين مستعمرة النمل، تبخر الفيرومون، أقصر الطريق، التوزيع اللوجستي، جامبليك

خوارزمية تحسين مستعمرة النمل (*ACO*) هي خوارزمية ميتاهوريستية مستوحاة من سلوك النمل في إيجاد أقصر الطريق إلى مصدر الغذاء. يهدف هذا البحث إلى تطبيق خوارزمية *ACO* مع تحليل تبخر الفيرومون لتحسين طرق توزيع حليب جامبليك في محافظة مالانج. وقد تم الحصول على بيانات الموقع والمسافة بين 13 جامبارت من خرائط جوجل وترتيبها في شكل مصفوفة مسافة لتشكيل الرسم البياني غير موجه. أُجريت عمليات المحاكاة باستخدام المعلمات  $\alpha=1$ ،  $\beta=2$ ، وتباينت قيمة تبخر الفيرومون ( $\rho$ ) من 0.1 إلى 1 بإجمالي 13 تكرارًا. ظهرت نتائج المحاكاة أن التغييرات في قيمة  $\rho$  تؤثر على مسارات التوزيع التي تولدها خوارزمية *ACO* استنادًا إلى تحليل ارتباط سبيرمان، يصنف تأثير قيمة  $\rho$  التي تحدد أقصر المسار على أنه سلبي ضعيف. وهذا يعني أنه على الرغم من أن قيمة  $\rho$  تلعب دورًا في عملية تحديث الفيرومون، إلا أن زيادتها لا تقصر الطريق بشكل كبير. توضح هذه الدراسة أن اختيار المعلمة  $\rho$  يظل مهمًا ولكنه ليس العامل الوحيد المهيمن في تحقيق الحل الأمثل باستخدام *ACO* في التوزيع اللوجستي.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Optimasi merupakan salah satu cabang ilmu yang berfokus pada pencarian solusi terbaik dari suatu permasalahan yang kompleks. Dalam kehidupan sehari-hari, kebutuhan untuk mengoptimalkan berbagai aktivitas semakin penting, terutama di era globalisasi di mana efisiensi dan efektivitas menjadi prioritas utama. Optimasi diaplikasikan dalam berbagai bidang, seperti pengelolaan logistik, manajemen energi, perencanaan jaringan komunikasi, dan lain-lain. Dengan menggunakan metode optimasi, sumber daya dapat dimanfaatkan secara lebih maksimal, sehingga tujuan utama dapat dicapai dengan biaya, waktu, atau usaha seminimal mungkin (Devita & Wibawa, 2020).

Salah satu permasalahan utama dalam bidang optimasi adalah pencarian rute terpendek. Optimasi rute terpendek memiliki peran penting dalam berbagai bidang, seperti distribusi, jaringan komunikasi dan penjadwalan. Dengan meningkatnya kebutuhan untuk efisiensi dalam pengiriman barang, berbagai algoritma telah dikembangkan untuk menemukan rute paling efisien. Salah satu pendekatan yang digunakan adalah *Ant Colony Optimization* (ACO), yang terinspirasi dari perilaku alami semut dalam menemukan rute terpendek menuju sumber makanan. ACO menggunakan prinsip feromon untuk memandu pencarian solusi optimal, sehingga sangat efektif dalam menyelesaikan masalah kombinatorial yang kompleks (Dorigo & Stützle, 2004).

Untuk menyelesaikan permasalahan optimasi, algoritma menjadi alat yang sangat esensial. Algoritma merupakan serangkaian langkah logis dan terstruktur yang dirancang untuk menyelesaikan suatu permasalahan tertentu. Dalam permasalahan rute terpendek, algoritma memainkan peran utama untuk menganalisis data graf, seperti jarak antar lokasi, biaya perjalanan, dan waktu tempuh. Dengan menggunakan algoritma yang tepat, perhitungan manual yang rumit dapat diotomatisasi, sehingga solusi optimal dapat ditemukan dengan lebih cepat dan akurat (Hasad, 2011).

*Ant Colony Optimization* (ACO) merupakan salah satu algoritma metaheuristik yang terinspirasi dari perilaku alami semut dalam mencari makanan. Semut secara kolektif mampu menemukan rute tercepat menuju sumber makanan dengan meninggalkan jejak feromon sebagai panduan bagi semut lainnya. Dalam implementasinya, ACO diaplikasikan untuk menyelesaikan berbagai permasalahan optimasi, termasuk pencarian rute terpendek. ACO sangat efektif karena mampu mengeksplorasi solusi secara paralel dan mempertimbangkan banyak kemungkinan rute sebelum menemukan hasil optimal (Risqiyanti & Rizkia, 2020).

Susu merupakan bahan makanan yang bernilai gizi tinggi yang diperoleh dari hasil pemerahan hewan seperti sapi, kerbau, kuda, kambing dan unta (Harna & Irawan, 2019). Susu memiliki banyak kandungan yang bermanfaat bagi kesehatan antara lain protein, karbohidrat, lemak dan vitamin. Susu dapat diolah menjadi berbagai macam produk yang cukup digemari serta memiliki daya simpan produk yang relatif lama. Produk-produk olahan berbasis susu yang sudah dikenal dalam industri pengolahan susu antara lain susu homogenesis, susu skim dan krim, mentega, susu kental manis, susu bubuk, yoghurt, kefir, susu pastuerisasi atau

sterilisasi, keju, es krim, karamel atau kembang gula, dodol susu, tahu susu dan kerupuk susu (Bakar & Usmiati, 2009).

Jawa timur merupakan salah satu daerah yang memproduksi susu terbesar di Indonesia. Menurut data Badan Pusat Statistik, Jawa timur memproduksi lebih dari 400 ribu ton pada tahun 2023. Produksi yang dilakukan tentu di dalamnya terdapat peran yang dilakukan oleh perusahaan-perusahaan yang ada di Jawa timur. Salah satu perusahaan yang memproduksi susu di Jawa timur adalah Koperasi Agro Niaga Jabung (KAN Jabung).

Koperasi Agro Niaga Jabung (KAN Jabung) merupakan salah satu koperasi yang bergerak dalam bidang agribisnis, dimana salah satu bisnis yang dijalankan yaitu bisnis susu olahan. Beberapa produk susu yg diproduksi oleh bisnis susu olahan antara lain Susu Segar, Jabmilk Susu Pasteurisasi, Jabmilk Yogurt dan Jabmilk Frozen Yogurt. Tidak hanya mengolah produk susu, bisnis susu olahan Koperasi Agro Niaga Jabung (KAN Jabung) juga melakukan pendistribusian produk susu kepada konsumen. Sebagian besar susu-susu hasil produksi didistribusikan ke 13 Jabmart yang ada di Kabupaten Malang. Beberapa Jabmart yang menjadi tempat pendistribusian susu olahan Koperasi Agro Niaga Jabung (KAN Jabung) antara lain Jabmart Jabung, Jabmart Kemantren, Jabmart Bunut, Jabmart Slamet, Jabmart Pulungdowo, Jabmart Pakisjajar, Jabmart Dengkol, Jabmart Wonorejo, Jabmart Tajjanan 1, Jabmart Tajinan 2, Jabmart Pakis 7, Jabmart Tlogowaru dan Jabmart Wendit.

Saat ini, distribusi produk susu KAN Jabung ke 13 Jabmart di Kabupaten Malang menjadi salah satu proses penting yang membutuhkan efisiensi tinggi. Dalam operasionalnya, tantangan seperti waktu pengiriman yang lambat atau biaya

logistik yang tinggi dapat memengaruhi performa perusahaan. Oleh karena itu, menentukan rute distribusi yang optimal menjadi sangat penting untuk meminimalkan biaya, waktu, dan tenaga. Dalam konteks pendistribusian susu Jabmilk di Kabupaten Malang, ACO merupakan salah satu metode yang relevan untuk mengatasi rute distribusi yang efisien, sehingga proses pengiriman susu berjalan lancar dengan meminimalkan biaya operasional dan waktu tempuh (Saleh, dkk., 2015).

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Syahr dkk (2023) yang membahas pencarian rute terbaik agar seorang sopir dapat kembali pulang tepat waktu. Rute awal menunjukkan bahwa sopir melakukan perjalanan dengan rute jarak yang ditempuhnya mencapai 26,19 Km. Setelah menggunakan metode *Ant Colony Optimization* (ACO) dengan menggunakan MATLAB didapatkan hasil optimal yaitu pada iterasi ke-100 menunjukkan bahwa rute yang digunakan oleh Bakpia Pathok 25 untuk distribusi produk bakpia sudah optimal yaitu dengan rute Toko Pathok Jaya, Toko Ongko Jaya, Toko Pasar Pathok, Toko Bandara Jaya, Toko Kembang Jaya dan kembali menuju Toko Pathok Jaya dengan jarak rute 26.19 Km dan jumlah bahan bakar yang dikeluarkan dengan harga mencapai Rp. 26,190 dalam sekali pendistribusian dan waktu yang didapatkan 54 menit.

Efisiensi waktu dan mengoptimalkan perjalanan merupakan aspek penting dalam kehidupan manusia, terutama dalam dunia modern yang menuntut segala sesuatu berjalan dengan cepat dan tepat. Dalam konteks penelitian ini, upaya untuk menentukan rute terpendek dalam pendistribusian susu adalah salah satu bentuk pemanfaatan waktu secara efektif dan efisien.

Dalam Qur'an Kemenag (2022) Allah SWT mengingatkan manusia tentang pentingnya memahami kehidupan, termasuk bagaimana memanfaatkan waktu dan perjalanan dengan bijak. Sebagaimana firman-Nya dalam Surah Al-Jatsiyah ayat 24 yang berbunyi:

وَقَالُوا مَا هِيَ إِلَّا حَيَاتُنَا الدُّنْيَا نَمُوتُ وَنَحْيَا وَمَا يُهْلِكُنَا إِلَّا الدَّهْرُ وَمَا لَهُم بِذَلِكَ مِنْ عِلْمٍ إِنْ هُمْ إِلَّا يَظُنُّونَ ﴿٢٤﴾

Artinya:

*“Mereka berkata, “Kehidupan ini tidak lain hanyalah kehidupan di dunia saja, kita mati dan kita hidup, dan tidak ada yang membinasakan kita selain masa.” Padahal, mereka tidak mempunyai ilmu (sama sekali) tentang itu. Mereka hanyalah menduga-duga.”*(Q.S Al-Jatsiyah [45]:24)

Menurut Az-Zuhaili (2013), Pada ayat ini Allah SWT menjelaskan keingkaran orang-orang musyrik terhadap hari kebangkitan. Menurut anggapan mereka kehidupan itu hanya di dunia saja. Di dunia mereka dilahirkan dan di dunia pula mereka dimatikan dan di situlah akhir dari segala sesuatu, dan demikian pula terjadi pada nenek moyang mereka. Menurut mereka, yang menyebabkan kematian dan kebinasaan segala sesuatu ialah pertukaran masa. Dari pendapat mereka, dapat diambil kesimpulan bahwa mereka mengingkari terjadinya hari kebangkitan. Keterangan itu diperkuat oleh adat kebiasaan orang Arab Jahiliyah yaitu apabila mereka ditimpa bencana atau musibah, terlontarlah kata-kata dari mulut mereka, “Aduhai celakalah masa.” Mereka mengumpat-umpat masa karena menurut mereka masa itulah sumber dari segala musibah.

Allah SWT mengkritik anggapan kaum musyrik yang memandang waktu hanya sebagai pergantian siang dan malam tanpa makna spiritual, dan menyalahkannya atas musibah yang menimpa mereka. Pandangan ini menunjukkan kelalaian mereka terhadap kebesaran Allah SWT sebagai Pencipta waktu dan ketidaksadaran mereka akan kehidupan setelah mati. Dengan demikian, ayat ini

menjadi pengingat bagi orang beriman bahwa waktu adalah ciptaan Allah SWT yang memiliki nilai besar dan harus dimanfaatkan dengan bijak untuk kebaikan dunia dan akhirat. Setiap detik dalam hidup adalah kesempatan untuk mendekatkan diri kepada Allah SWT dan mempersiapkan diri untuk hari kebangkitan, sehingga waktu tidak boleh disia-siakan atau disalahkan atas kejadian yang terjadi, melainkan dihargai sebagai anugerah Ilahi yang penuh hikmah (Az-Zuhaili, 2013).

Dalam hadits Qudsi Amir (2018) dari Abū Hurairah, Rasulullah SAW bersabda:

عَنْ أَبِي هُرَيْرَةَ قَالَ قَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ قَالَ اللَّهُ عَزَّ وَجَلَّ يُؤْذِنُنِي ابْنُ آدَمَ يَقُولُ يَا حَبِيبَةَ الدَّهْرِ فَلَا يَقُولَنَّ أَحَدُكُمْ يَا حَبِيبَةَ الدَّهْرِ فَإِنِّي أَنَا الدَّهْرُ أَقْلَبُ لَيْلَهُ وَمَحَارَهُ فَإِذَا شِئْتُ قَبَضْتُهُمَا. (رواه مسلم)

Artinya:

*“Allah berfirman, “Manusia telah menyakitiku dengan mengatakan wahai masa yang sial. Maka janganlah salah seorang kalian mengatakan ‘masa yang sial’ karena Akulah (Pencipta dan Pengatur)masa. Aku mengganti malam menjadi siang, dan jika Aku menghendakinya niscaya Aku genggam keduanya.” (HR. Muslim, No. 2246)*

Dalam tafsir Tahlili (2003) bahwa kemudian Allah SWT menyayangkan sikap kaum musyrikin Mekah yang tidak didasarkan pada pengetahuan yang benar. Allah SWT menyatakan bahwa mereka sama sekali tidak mempunyai pengetahuan sedikit pun tentang hal yang menyangkut masa itu. Pendapat mereka itu hanyalah didasarkan pada sangkaan dan dugaan saja.

Hadits Qudsi ini mengingatkan manusia bahwa waktu adalah ciptaan Allah SWT yang sangat berharga, dan bagaimana manusia memanfaatkannya mencerminkan penghormatan manusia kepada-Nya. Allah SWT mengatur pergantian siang dan malam sebagai tanda kebesaran-Nya, memberikan manusia kesempatan untuk beribadah, bekerja, dan beristirahat. Menyia-nyiakan waktu berarti menyia-nyiakan karunia besar dari Allah SWT yang tidak dapat diulang

kembali. Sebagai seorang Muslim, manusia diajarkan untuk menggunakan waktu dengan sebaik-baiknya dalam hal-hal yang bermanfaat, baik untuk dunia maupun akhirat, karena setiap detik akan dimintai pertanggungjawaban kelak. Oleh karena itu, jauhilah kelalaian dan gunakan waktu untuk kebaikan, seperti belajar, beribadah, dan berbuat amal shaleh, agar hidup manusia diberkahi dan bermakna (Tahlili, 2003).

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut yaitu "Bagaimana perubahan konstanta penguapan feromon memengaruhi kinerja algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dalam menentukan rute terpendek distribusi susu Jabmilk di Kabupaten Malang?".

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah, adapun tujuan dari penelitian ini adalah "Mengetahui nilai jejak feromon ( $\rho$ ) yang paling efisien dengan nilai rute terpendek yang dihasilkan serta dapat menganalisis efektivitas dan efisiensi algoritma ACO".

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah dan tujuan masalah, adapun manfaat dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Menyediakan referensi baru terkait penerapan algoritma ACO pada masalah rute terpendek dalam konteks distribusi logistik.

2. Membantu perusahaan Jabmilk dalam mengoptimalkan rute distribusi, sehingga dapat mengurangi biaya operasional dan mempercepat pengiriman.
3. Memberikan kontribusi dalam penerapan teknologi algoritmik untuk menyelesaikan masalah distribusi logistik.

### 1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan tertentu, untuk membatasi ruang lingkup penelitian agar lebih terarah dan fokus, maka ditetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Model graf yang digunakan dibangun berdasarkan data rute jalan yang diperoleh dari peta statis (*Google Maps*), dengan asumsi bahwa seluruh ruas jalan dapat dilalui tanpa hambatan signifikan, seperti kerusakan parah atau kemacetan total. Oleh karena itu, graf yang digunakan merupakan graf tak berarah.
2. Rute jalan yang digunakan dalam pemodelan hanya mencakup jalan yang bisa dilalui mobil, sehingga tidak mempertimbangkan gang-gang kecil atau jalan sempit yang kurang representatif untuk keperluan distribusi oleh mobil.
3. Parameter-parameter yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, jumlah semut adalah 13, jumlah iterasi adalah 13, parameter nilai  $\rho = 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1$ , nilai  $\alpha = 1$ , nilai  $\beta = 2$  dan nilai feromon awal  $(\tau_0) = 1$ .

## BAB II

### KAJIAN TEORI

#### 2.1 Graf

##### 2.1.1 Definisi Graf

Graf adalah salah satu konsep dasar dalam matematika yang mempelajari himpunan objek yang dikenal sebagai titik (*note*) dan hubungan di antara mereka yang disebut sisi (*edge*). Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh Leonhard Euler pada abad ke-18 dalam studi tentang "*Seven Bridges of Königsberg*". Graf biasanya direpresentasikan sebagai kumpulan titik yang terhubung oleh garis atau busur yang melambangkan hubungan antara objek tersebut. Penelitian awal Euler menjadi dasar bagi perkembangan teori graf yang kini mencakup berbagai jenis graf, seperti graf sederhana, multigraf, dan graf berarah, masing-masing dengan karakteristik dan aplikasi uniknya (Buhaerah dkk., 2019).

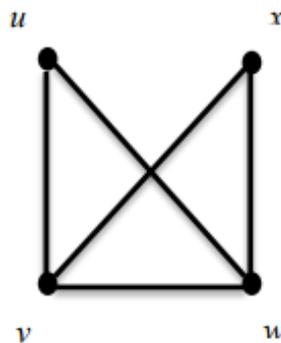
Suatu *graph* terdiri dari himpunan tak kosong yang setiap unsurnya disebut titik (*note*) dan himpunan pasangan tak berurutan dari titik-titik tersebut yang disebut sisi (*edge*). Di sini,  $G$  melambangkan suatu *graph*. Himpunan titik-titik pada *graph*  $G$  dinyatakan dengan  $V(G)$ , dan himpunan sisi-sisi pada *graph*  $G$  dinyatakan dengan  $E(G)$ . Jika jumlah titik dan jumlah sisi pada  $G$  terbatas, maka  $G$  disebut *graph* terhingga. Dua atau lebih sisi yang menghubungkan satu pasang titik disebut sisi rangkap (*multiple edges*). Sisi yang kedua ujungnya adalah titik yang sama disebut *loop*. *Graph* yang tidak memiliki sisi rangkap maupun *loop* disebut *graph* sederhana (*simple graph*) (Rahayuningsih, 2018).

Jika  $u$  dan  $v$  adalah titik-titik di graf  $G$  dan ada sebuah sisi di graf  $G$ , maka

dapat dikatakan:

1.  $e$  menghubungkan  $u$  dan  $v$ ,
2.  $u$  dan  $v$  terhubung langsung (adjacent),
3.  $u$  terkait (*incident*) dengan  $e$ ,
4.  $e$  terkait (*incident*) dengan  $u$ ,
5.  $u$  dan  $v$  disebut titik ujung dari  $e$ .

Contoh:



**Gambar 2.1** Graf  $G$

Pada gambar diatas graf  $G$  merupakan graf sederhana, dengan

$$V(G) = \{u, v, w, x\}$$

$$E(G) = \{uv, uw, vw, vx, wx\}$$

$$|V(G)| = 4$$

$$|E(G)| = 5$$

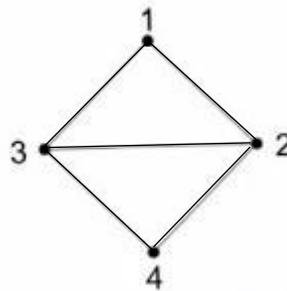
### 2.1.2 Jenis-Jenis Graf

Graf  $G$  dapat diklasifikasikan ke dalam berbagai jenis tergantung pada sudut pandang pengelompokannya. Klasifikasi ini dapat didasarkan pada ketiadaan sisi ganda, jumlah titik yang dimiliki, atau arah pada sisi graf tersebut.

Secara umum, graf diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu graf sederhana dan graf tidak sederhana, dengan rincian penjelasan sebagai berikut:

## 1. Graf Sederhana

Graf sederhana didefinisikan sebagai graf yang tidak memiliki *loop* ataupun sisi ganda. Dalam graf ini, sisi direpresentasikan sebagai pasangan tak terurut (*unordered pairs*) dari titik. Selain itu, graf sederhana dapat dijelaskan sebagai himpunan tak kosong dari titik-titik, yang bersama dengan himpunan sisi yang berbeda, membentuk hubungan antar titik tanpa pengulangan pasangan tak terurut (Chartrand & Zhang, 2006). Seperti pada contoh gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Graf Sederhana

Pada gambar diatas merupakan contoh graf sederhana dengan

$$V(G) = \{1, 2, 3, 4\}$$

$$E(G) = \{(1,2), (1,3), (2,3), (2,4), (3,4)\}$$

$$|V(G)| = 4$$

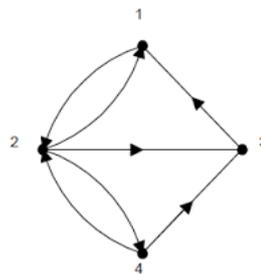
$$|E(G)| = 5$$

## 2. Graf tak sederhana

Graf yang memiliki sisi ganda atau *loop* disebut sebagai graf tidak sederhana, atau dikenal juga dengan istilah *unsimple graph* (Chartrand & Zhang, 2006). Graf tidak sederhana juga dapat diklasifikasikan berdasarkan arah pada sisinya. Berdasarkan klasifikasi ini, graf dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu graf berarah dan graf tidak berarah.

a. Graf Berarah

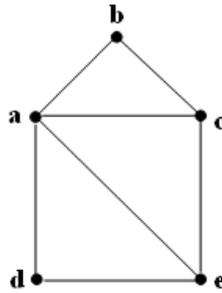
Graf berarah, atau disebut juga *digraph*, adalah graf di mana setiap sisi memiliki arah tertentu yang menghubungkan dua titik. Sisi dalam graf berarah direpresentasikan sebagai pasangan terurut  $(u,v)$ , yang menunjukkan bahwa sisi tersebut menghubungkan titik  $u$  ke titik  $v$ . Dalam hal ini, arah sangat penting karena  $(u,v)$  tidak sama dengan  $(v,u)$ . Graf berarah banyak digunakan untuk memodelkan situasi seperti alur kerja, rute transportasi satu arah, atau hubungan sebab-akibat dalam jaringan (Munir, 2005).



**Gambar 2. 3** Graf Berarah

b. Graf Tak Berarah

Graf tak berarah adalah graf di mana sisi-sisinya tidak memiliki arah, sehingga hubungan antara titik bersifat timbal balik. Sisi dalam graf tak berarah direpresentasikan sebagai pasangan tak terurut  $\{u,v\}$ , yang berarti titik  $u$  dan  $v$  terhubung tanpa memandang arah. Graf tak berarah sering digunakan dalam pemodelan jaringan sosial, hubungan dalam molekul, atau hubungan antar titik yang setara dalam konteks tertentu (Munir, 2005).



**Gambar 2.4** Graf Tak Berarah

## 2.2 Optimasi Rute Terpendek

Optimasi adalah proses untuk menentukan solusi terbaik dari suatu permasalahan dengan kriteria tertentu, seperti memaksimalkan keuntungan atau meminimalkan biaya, dalam suatu ruang solusi yang memenuhi kendala yang diberikan. Dalam konteks matematika dan ilmu komputer, optimasi sering melibatkan fungsi tujuan (*objective function*) yang perlu dioptimalkan (diminimumkan atau dimaksimumkan) dengan mempertimbangkan batasan tertentu (*constraints*). Proses ini dapat dilakukan secara analitis maupun menggunakan metode numerik dan heuristik (Stephen dkk., 2013). Jadi, sesuatu dikatakan optimum ketika berada pada kondisi paling ideal atau maksimal sesuai dengan tujuan tertentu. Contohnya, rute optimum adalah rute yang menghasilkan total jarak tempuh distribusi paling pendek sehingga mendukung efisiensi operasional distribusi.

Ada berbagai jenis optimasi yang diterapkan dalam banyak bidang. Contohnya adalah optimasi linier, di mana fungsi tujuan dan kendala berbentuk linier, serta optimasi nonlinier, di mana fungsi atau kendalanya tidak linier. Teknik optimasi modern, seperti algoritma genetika, *particle swarm optimization*, dan *simulated annealing*, digunakan untuk mengatasi masalah dengan ruang solusi yang

kompleks atau besar. Aplikasi optimasi mencakup berbagai bidang, seperti logistik, desain produk, pembelajaran mesin, dan manajemen keuangan (Stephen dkk., 2013).

Optimasi rute adalah salah satu aplikasi penting dalam bidang optimasi yang bertujuan untuk menentukan rute terbaik dalam suatu jaringan, seperti jaringan transportasi atau distribusi logistik. Masalah ini sering muncul dalam berbagai bentuk, salah satunya adalah *Traveling Salesman Problem (TSP)*, di mana seorang agen harus mengunjungi sejumlah lokasi dengan jarak atau waktu tempuh minimum dan kembali ke titik awal. Untuk menyelesaikan masalah ini, berbagai metode optimasi diterapkan, mulai dari algoritma konvensional seperti *Dynamic Programming* dan *Branch and Bound*, hingga metode metaheuristik seperti *Ant Colony Optimization (ACO)* dan algoritma genetika (Saputro dkk., 2024).

### **2.3 Algoritma Optimasi**

Algoritma adalah metode yang efektif untuk menyelesaikan suatu masalah, yang dinyatakan dalam bentuk rangkaian langkah-langkah terbatas. Algoritma terdiri atas kumpulan instruksi yang dijalankan secara berurutan, mulai dari awal hingga akhir, untuk mencapai solusi masalah. Masalah yang dapat diselesaikan menggunakan algoritma beragam, namun harus memenuhi syarat berupa kondisi awal tertentu sebelum algoritma dijalankan. Selain itu, algoritma sering kali melibatkan proses pengulangan (iterasi) dan pengambilan keputusan hingga mencapai hasil akhir (Maulana, 2017).

Algoritma dipelajari dalam bentuk abstrak, tanpa bergantung pada sistem komputer atau bahasa pemrograman tertentu yang digunakan. Beragam algoritma

dapat diterapkan untuk menyelesaikan permasalahan dengan kriteria yang sama. Kompleksitas algoritma mengacu pada sejauh mana komputasi diperlukan untuk menyelesaikan masalah tersebut. Secara sederhana, algoritma yang dapat menyelesaikan suatu permasalahan dalam waktu relatif singkat memiliki tingkat kompleksitas rendah, sedangkan algoritma yang membutuhkan waktu lebih lama cenderung memiliki tingkat kompleksitas yang lebih tinggi (Maulana, 2017).

Algoritma optimasi adalah metode atau teknik yang digunakan untuk menemukan solusi terbaik dari suatu masalah, baik dalam bentuk minimum maupun maksimum, dengan mempertimbangkan batasan tertentu. Berikut adalah beberapa jenis algoritma optimasi yang sering digunakan:

### **2.3.1 Algoritma Dijkstra's**

Algoritma Dijkstra digunakan untuk mencari rute terpendek antara dua titik dalam graf berbobot, dengan memastikan total bobot yang dilalui seminimal mungkin. Algoritma ini menghitung jarak terpendek dari titik awal ke semua titik lainnya, sehingga rute dari titik awal ke titik tujuan memiliki bobot total terkecil. Masalah ini berkaitan dengan pencarian rute optimal dengan biaya minimum. Rute terpendek (*shortest path*) adalah permasalahan untuk menemukan rute dalam graf berbobot di mana jumlah bobot sisi yang dilalui mencapai nilai minimum (Arthalia Wulandari & Sukmasetyan, 2022).

### **2.3.2 Algoritma Bellman-Ford**

Algoritma Bellman-Ford, seperti algoritma Dijkstra, digunakan untuk mencari lintasan terpendek pada graf berarah. Perbedaan utamanya terletak pada kemampuan Bellman-Ford untuk menangani graf dengan sisi berbobot negatif, meskipun prosesnya membutuhkan waktu lebih lama dibandingkan algoritma

Dijkstra (Nugroho dkk., 2006).

### 2.3.3 Algoritma Floyd-Warshall

Algoritma Floyd-Warshall adalah metode pemrograman dinamis yang menyelesaikan masalah dengan mempertimbangkan solusi sebagai keputusan yang saling terkait. Algoritma ini menerapkan prinsip optimalitas, yaitu jika solusi keseluruhan bersifat optimal, maka setiap bagian solusi hingga tahap tertentu (misalnya tahap ke- $i$ ) juga harus optimal. Algoritma Floyd-Warshall menerima *input* berupa graf berarah dan berbobot, serta menghasilkan *output* berupa bobot terkecil untuk semua lintasan yang menghubungkan setiap pasangan titik, dengan menghitungnya secara bersamaan untuk seluruh pasangan titik (Sinabutar, 2020).

### 2.3.4 Genetic Algorithm (GA)

Algoritma genetika (GA) adalah metode heuristik yang digunakan untuk mencari solusi optimal suatu permasalahan dengan meniru proses evolusi biologis. Metode ini menggabungkan pencarian acak dengan pola pencarian terstruktur. Algoritma ini telah berhasil diterapkan pada berbagai permasalahan kombinatorial, seperti *Travelling Salesman Problem* (TSP), *Vehicle Routing Problem* (VRP), penentuan tata letak, dan penjadwalan produksi. Dalam algoritma genetika, solusi direpresentasikan dalam bentuk populasi individu, di mana setiap individu mewakili solusi potensial yang disebut kromosom. Kromosom ini biasanya dinyatakan sebagai rangkaian simbol berbentuk string dengan panjang tertentu, yang umumnya menggunakan alfabet biner (0, 1) (Hermansyah dkk., 2011).

## 2.4 Algoritma *Ant Colony Optimization*

*Ant Colony Optimization* adalah algoritma yang terinspirasi dari kehidupan semut, khususnya kebiasaan semut dalam mencari makanan. Secara alami, koloni semut mampu menemukan rute terpendek antara sarang dan sumber makanan berdasarkan jejak yang mereka tinggalkan di lintasan. Semakin sering suatu rute dilalui semut, semakin kuat jejak tersebut, sehingga lebih banyak semut yang cenderung melewati rute itu. Sebaliknya, rute yang jarang dilalui akan kehilangan jejaknya seiring waktu, hingga akhirnya tidak dilewati lagi. Berdasarkan prinsip ini, algoritma *Ant Colony Optimization* sangat cocok digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi, terutama dalam menentukan rute terpendek (Risqiyanti & Rizkia, 2020).

*Ant Colony Optimization* (ACO) adalah salah satu metode meta-heuristik yang digunakan untuk menemukan masalah optimasi kombinatorial yang cukup sulit. Algoritma ACO diwakili oleh perilaku semut di dunia nyata untuk membangun rute terpendek antara sumber makanan dan sarang mereka. Setiap semut secara acak memulai rutenya dari sebuah node. Setiap node dikunjungi oleh semut untuk membentuk sebuah rute, dan hal ini dilakukan secara berulang-ulang. Semut memilih node yang akan dikunjungi menggunakan fungsi probabilitas, berdasarkan jarak node, dan jumlah feromon yang ditemukan di sisi yang menghubungkan node tersebut. Node yang memiliki jarak yang lebih kecil dan memiliki tingkat feromon yang lebih tinggi akan lebih mungkin dikunjungi oleh semut (Silalahi dkk., 2019).

Node yang telah dikunjungi oleh semut akan direkam dalam memori yang disebut dengan nama tabulist. Tabulist ini mencegah semut untuk pergi ke node

yang telah dikunjungi. Tabulist akan penuh ketika semua semut telah mengunjungi semua node. Kemudian aturan pembaruan feromon diterapkan. Perhitungan hilangnya level feromon di setiap sisi dilakukan. Untuk rute yang lebih pendek, kehilangan level feromon akan relatif lebih lama dibandingkan dengan rute yang lebih panjang (Silalahi dkk., 2019).

Adapun rumusnya sebagai berikut:

$$P_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{j \in N_i^k} [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}, \text{ jika } j \in N_j^k$$

dimana:

$P_{ij}^k(t)$  : Probabilitas semut  $k$  dari titik  $i$  menuju titik  $j$  pada waktu  $t$ ,

$\tau_{ij}(t)$  : Jumlah feromon semut dari titik  $i$  menuju titik  $j$  pada waktu  $t$ ,

$\eta_{ij}(t)$  : Invers jarak antara titik  $i$  menuju titik  $j$  pada waktu  $t$ ,

$N_i^k$  : Daftar tetangga titik  $i$  yang belum dikunjungi oleh semut ke- $k$

$\alpha$  : Parameter intensitas feromon semut

$\beta$  : Parameter daya tari heuristik atau parameter kontrol jarak

$\rho$  : Konstanta feromon

Adapun rumus *update* feromon sebagai berikut:

$$\tau_{ij}(t) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t)$$

dengan  $\Delta\tau_{ij}(t)$  merupakan nilai feromon pada titik  $(i, j)$  yang dilewati oleh semut  $k$ , yang diberikan oleh formula berikut:

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{1}{L_k}, & \text{jika semut } k \text{ berjalan dari titik } i \text{ ke titik } j \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases}$$

dan  $L_k$  adalah panjang perjalanan atau jarak tempuh semut  $k$  dari titik awal sampai titik terakhir.

Dalam algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO), parameter  $\rho$  (rho) digunakan untuk mengatur tingkat penguapan feromon pada setiap iterasi. Nilai  $\rho$  memengaruhi memori kolektif semut terhadap jalur sebelumnya. Nilai  $\rho$  berada pada rentang  $0 \leq \rho \leq 1$ . Nilai  $\rho$  memengaruhi keseimbangan antara eksplorasi (mencari jalur baru) dan eksploitasi (memperkuat jalur yang sudah dianggap baik) oleh semut.

Ketika  $\rho = 0$  maka:

$$\tau_{ij}(t) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t)$$

$$\tau_{ij}(t) = (1 - 0)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t)$$

$$\tau_{ij}(t) = (1)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t)$$

$$\tau_{ij}(t) = \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t)$$

Persamaan diatas menjelaskan bahwa ketika nilai  $\rho = 0$  maka proses penguapan tidak terjadi sama sekali. Hal ini menyebabkan nilai feromon pada suatu sisi akan selalu bertambah dari waktu ke waktu karena hanya ditambahkan oleh  $\Delta\tau_{ij}$  tanpa adanya pengurangan. Dengan demikian, jalur yang pernah dilalui akan semakin kuat feromonnya, dan semut-semut pada iterasi selanjutnya cenderung hanya mengeksploitasi jalur tersebut. Kondisi ini mengarah pada minimnya eksplorasi terhadap jalur lain, sehingga algoritma sangat rentan terjebak pada solusi lokal dan kehilangan kesempatan menemukan solusi global yang lebih optimal.

Ketika  $\rho = 1$  maka:

$$\tau_{ij}(t) = (1 - 1)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t)$$

$$\tau_{ij}(t) = (1 - 1)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t)$$

$$\tau_{ij}(t) = (0)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t)$$

$$\tau_{ij}(t) = \Delta\tau_{ij}(t)$$

Persamaan diatas menjelaskan bahwa ketika nilai  $\rho = 1$  semua feromon lama sepenuhnya menguap. Dengan demikian, pada setiap iterasi, nilai feromon  $\tau_{ij}$  hanya berasal dari  $\Delta\tau_{ij}$  yang ditambahkan pada iterasi tersebut, tanpa mempertimbangkan kontribusi dari iterasi sebelumnya. Konsekuensinya, algoritma kehilangan ingatan kolektif terhadap jalur-jalur yang pernah dianggap baik. Akibatnya, meskipun semut dapat menjelajah lebih bebas dan mengeksplorasi berbagai kemungkinan jalur, proses konvergensi menuju solusi terbaik menjadi sangat lambat atau bahkan tidak stabil karena tidak ada penguatan terhadap jalur potensial dari waktu ke waktu.

Oleh karena itu, pemilihan nilai  $\rho$  yang tepat dan seimbang sangat penting dalam implementasi ACO. Nilai  $\rho$  yang terlalu kecil dapat menyebabkan semut terlalu cepat terkonsentrasi pada satu jalur tertentu sehingga meningkatkan risiko terjebak pada solusi lokal, sementara nilai  $\rho$  yang terlalu besar menyebabkan penguapan feromon yang terlalu cepat sehingga mengurangi kemampuan algoritma dalam memperkuat jalur-jalur potensial yang telah ditemukan (Dorigo & Stützle, 2004).

## **2.5 Analisis Korelasi**

Uji korelasi adalah teknik statistika yang digunakan untuk menentukan besaran yang menunjukkan bahwa ada hubungan linier antara dua variabel. Nilai korelasi setiap variabel berkorelasi dengan keeratannya satu sama lain. Korelasi dua variabel akan semakin erat saat nilai korelasinya mendekati satu, dan sebaliknya. Koefisien korelasi yang dihitung untuk data populasi dinotasikan dengan  $\rho$  sedangkan koefisien korelasi yang dihitung untuk data sampel dinotasikan dengan

*r*. Dengan hipotesis sebagai berikut (Altman, 2020):

1.  $H_0 : r = 0$ , yaitu tidak terjadi korelasi secara signifikan antar variabel.
2.  $H_1 : r \neq 0$ , yaitu terjadi korelasi secara signifikan antar variabel.

Kriteria penerimaan dan penolakan sebagai berikut:

1. Jika nilai *p-value*  $< 0,05$  maka  $H_0$  ditolak, sehingga ada hubungan secara signifikan antara variabel yang di uji.
2. Jika nilai *p-value*  $> 0,05$  maka  $H_0$  diterima, sehingga tidak ada hubungan secara signifikan antara variabel yang di uji.

Uji Rank Spearman digunakan untuk menguji hipotesis korelasi dengan skala pengukuran variabel minimal ordinal. Dalam Uji Rank Spearman, skala data untuk kedua variabel yang akan dikorelasikan dapat berasal dari skala yang berbeda (skala data ordinal dikorelasikan dengan skala data numerik) atau sama (skala data ordinal dikorelasikan dengan skala data ordinal). Data yang akan dikorelasikan tidak harus membentuk distribusi normal (Latief, 2013).

Tujuan analisis korelasi secara umum adalah untuk mengetahui tingkat kekuatan (keamatan) hubungan linier dua variabel, mengetahui arah (jenis) hubungan dua variabel dan mengetahui tingkat signifikan hubungan antara dua variabel. Kriteria tingkat hubungan antar variabel dapat dilihat pada tabel 2.1 (Sugiyono dalam Novia, 2017).

**Tabel 2.1** Kriteria Korelasi

Interval koefisien	Tingkat Akurasi
$0 <  r  \leq 0,2$	Sangat rendah
$0,2 <  r  \leq 0,4$	Rendah
$0,4 <  r  \leq 0,6$	Sedang
$0,6 <  r  \leq 0,8$	Kuat
$0,8 <  r  \leq 1$	Sangat Kuat

Arah korelasi dilihat pada angka koefisien korelasi sebagaimana tingkat kekuatan korelasi. Besarnya nilai koefisien korelasi tersebut terletak antara -1 sampai dengan +1. Jika koefisien korelasi bernilai positif, maka hubungan kedua variabel dikatakan searah, artinya jika variabel  $X$  meningkat maka variabel  $Y$  juga akan meningkat. Sebaliknya, jika koefisien korelasi bernilai negatif maka hubungan kedua variabel tersebut tidak searah, artinya jika variabel  $X$  meningkat maka variabel  $Y$  akan menurun. Kekuatan dan arah korelasi (hubungan) akan mempunyai arti jika hubungan antar variabel tersebut bernilai signifikan (Sugiyono dalam Novia, 2017).

## **2.6 Mekanisme *Foraging* pada Koloni Semut**

Dalam dunia biologi, proses pencarian makanan oleh koloni semut atau yang dikenal dengan istilah *foraging* menunjukkan pola perilaku yang menarik dan efisien. Pada awalnya, semut-semut bergerak secara acak saat mencari makanan. Ketika mereka menemukan percabangan jalan, seperti di sebuah persimpangan, sebagian semut akan memilih arah ke kiri, sementara yang lain ke kanan. Jika salah satu jalur mengarah ke sumber makanan, semut yang menemukannya akan kembali ke koloni sambil meninggalkan jejak feromon di sepanjang jalan yang dilaluinya. Misalnya, jika jalur kiri lebih pendek, maka semut yang melewati jalur tersebut akan tiba di koloni lebih cepat, dengan asumsi semua semut bergerak dengan kecepatan yang sama. Karena waktu tempuhnya lebih singkat, intensitas feromon yang tertinggal di jalur kiri akan lebih tinggi dibandingkan jalur kanan. Akibatnya, semut-semut lain akan lebih tertarik mengikuti jalur kiri karena aroma feromon yang lebih kuat menunjukkan jalur yang lebih efisien menuju sumber makanan

(Karjono dkk., 2016).

Semut memanfaatkan lingkungannya sebagai sarana komunikasi, di mana mereka saling berbagi informasi secara tidak langsung melalui jejak feromon yang mereka tinggalkan. Informasi ini dapat mencakup hal-hal detail seperti status pekerjaan dan lainnya, namun terbatas pada area lokal hanya semut yang berada di lokasi feromon tersebut yang dapat menangkap informasinya. Pola komunikasi ini dikenal dengan istilah *stigmergy*, sebuah sistem yang juga ditemukan pada hewan sosial lainnya, seperti dalam proses pembangunan struktur pilar pada sarang rayap. *Stigmergy* memungkinkan penyelesaian masalah kompleks yang tidak dapat ditangani oleh satu individu saja, dan mencerminkan sistem kerja kolektif organisme. Sistem ini bekerja melalui mekanisme umpan balik positif, yakni ketika feromon menarik semut lain sehingga memperkuat jalur tersebut, dan umpan balik negatif, yang menjaga agar jalur yang tidak efektif perlahan menghilang akibat penguapan. Secara teoritis, jika jumlah feromon tersebar merata di semua jalur, maka tidak ada jalur yang akan dipilih secara spesifik. Namun, karena adanya umpan balik, perbedaan kecil dalam konsentrasi feromon akan diperkuat dan memungkinkan semut memilih jalur tertentu secara lebih efisien (Karjono dkk., 2016).

Algoritma ini awalnya bekerja dalam kondisi yang tidak stabil, di mana semua sisi memiliki peluang yang sama dan belum ada jalur yang dominan. Seiring proses berjalan, algoritma akan menuju kondisi yang lebih stabil dengan membentuk jalur berdasarkan sisi-sisi yang memiliki kekuatan atau intensitas feromon tertinggi. *Ant Colony Optimization* (ACO) sendiri merupakan sebuah metode berbasis probabilistik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan

komputasi, khususnya yang dapat dimodelkan dalam bentuk graf, dengan cara menemukan jalur optimal. ACO pertama kali diperkenalkan oleh Marco Dorigo pada tahun 1991 (Karjono et al., 2016).

Feromon adalah zat kimia yang ditinggalkan oleh koloni semut disetiap rute perjalanannya. Semut yang menemukan sumber makanan akan meninggalkan jejak feromon di sepanjang jalur yang dilewati saat kembali ke sarangnya. Semut lain yang mendeteksi feromon pada suatu jalur cenderung mengikuti jalur tersebut jika konsentrasi feromon cukup tinggi. Semakin tinggi konsentrasi feromon pada suatu jalur, semakin besar kemungkinan semut lain untuk memilih jalur tersebut. Seiring waktu, feromon akan menguap. Jalur yang lebih pendek cenderung memiliki konsentrasi feromon yang lebih tinggi karena perjalanan pulang-pergi antara sarang dan sumber makanan lebih singkat, sehingga feromon lebih sering diperbarui dan penguapannya lebih sedikit (Maryati & Wibowo, 2012). Pembaruan feromon dilakukan dengan tujuan memperbarui jumlah feromon yang ditinggalkan semut akibat penguapan. Jumlah feromon yang telah diperbarui akan digunakan sebagai informasi bagi semut pada iterasi berikutnya.

## **2.7 Relevansi Topik dengan Al-Qur'an dan Hadits**

Dalam perspektif ilmu pengetahuan dan teknologi, ACO memungkinkan kita untuk menyelesaikan permasalahan kompleks secara praktis. Namun, dalam penerapannya, tidak hanya aspek teknis yang perlu diperhatikan, tetapi juga nilai-nilai etika dan prinsip-prinsip yang mendasarinya. Dalam Islam, banyak ajaran yang berkaitan dengan efisiensi dan kerja sama yang sejalan dengan konsep optimasi dalam distribusi. Oleh karena itu, penting untuk melihat hubungan antara

topik optimasi rute dengan ajaran-ajaran yang terdapat dalam Al-Qur'an, sebagai upaya untuk menyeimbangkan antara kemajuan teknologi dan nilai-nilai moral dalam kehidupan sehari-hari.

Islam mendorong efisiensi dalam setiap aspek kehidupan, termasuk dalam pengelolaan sumber daya dan waktu. Hal ini dapat dikaitkan dengan optimasi rute pendistribusian susu. Dalam Qur'an Kemenag (2022), Allah SWT berfirman dalam surah Al-Furqan ayat 62 yang berbunyi:

وَهُوَ الَّذِي جَعَلَ اللَّيْلَ وَالنَّهَارَ خِلْفَةً لِّمَنۢ أَرَادَ أَنۢ يَذَّكَّرَ أَوْ أَرَادَ شُكُورًا ﴿٦٢﴾

Artinya:

*“Dia (pula) yang menjadikan malam dan siang silih berganti bagi orang yang ingin mengambil pelajaran atau ingin bersyukur.”* (Q.S Al-Furqan [25]: 62)

Menurut Az-Zuhaili (2013), makna ayat ini yaitu menjelaskan pergantian siang dan malam bukan hanya fenomena alam biasa, melainkan tanda keagungan Allah SWT. Malam digunakan untuk istirahat, sementara siang untuk bekerja dan beraktivitas. Pergantian ini memberi manusia kesempatan untuk memperbaiki diri, mengambil hikmah, dan mempergunakan waktu untuk ketaatan. Orang yang mau mengambil pelajaran akan melihat pergantian waktu sebagai pengingat akan keterbatasan hidup, waktu yang terus berlalu, dan perlunya memanfaatkan waktu dengan bijak untuk berbuat kebaikan dan beribadah kepada Allah SWT. Bersyukur atas nikmat waktu berarti memanfaatkannya untuk hal-hal yang bermanfaat, seperti memenuhi tanggung jawab, beribadah, dan meningkatkan kualitas hidup. Malam dan siang adalah nikmat besar yang harus disyukuri karena memberi kesempatan manusia untuk beristirahat dan berusaha.

Dalam konteks modern, ayat ini mengajarkan pentingnya efisiensi waktu dan keseimbangan hidup. Penelitian tentang optimasi jalur distribusi mencerminkan usaha untuk memanfaatkan nikmat waktu dengan cara yang baik,

sehingga menghasilkan manfaat yang lebih besar bagi masyarakat, sesuai dengan perintah untuk bersyukur dan mengambil pelajaran dari pergantian waktu.

Waktu adalah salah satu nikmat terbesar yang diberikan Allah SWT kepada manusia. Setiap detik yang berlalu memiliki nilai yang tak ternilai harganya dan tidak akan pernah bisa dikembalikan. Oleh karena itu, pemanfaatan waktu secara efisien menjadi bagian penting dalam kehidupan seorang muslim. Dalam menjalankan aktivitas sehari-hari, termasuk dalam pekerjaan, ibadah, maupun kegiatan sosial, Islam mendorong umatnya untuk selalu menghargai waktu dan menggunakannya sebaik mungkin. Rasulullah SAW telah memberikan peringatan penting agar manusia tidak lalai dalam memanfaatkan waktu yang telah dianugerahkan Allah SWT. Hal ini tercermin dalam sebuah hadits yang diriwayatkan oleh Al-Bukhari (Najiyah, 2015):

عَنْ ابْنِ عَبَّاسٍ، قَالَ: قَالَ النَّبِيُّ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ: نِعْمَتَانِ مَعْبُودٌ فِيهِمَا كَثِيرٌ مِنَ النَّاسِ: الصِّحَّةُ وَالْفَرَاغُ  
Artinya:  
"Dari Ibnu Abbas RA, Rasulullah SAW bersabda: Ada dua nikmat yang sering dilalaikan oleh banyak manusia: kesehatan dan waktu luang." (HR. Al-Bukhari, No. 6412)

Hadits ini menekankan bahwa waktu luang adalah salah satu nikmat terbesar yang sering disia-siakan oleh manusia. Rasulullah SAW mengingatkan bahwa waktu adalah aset berharga yang harus digunakan dengan sebaik-baiknya, karena setiap detik yang berlalu tidak akan pernah bisa kembali. Efisiensi dalam memanfaatkan waktu, seperti dalam distribusi atau aktivitas sehari-hari, merupakan bagian dari upaya menghargai nikmat tersebut (Nasich, 2021).

الْفَرَاغُ yang artinya waktu luang. Waktu luang adalah kesempatan yang Allah SWT berikan untuk melakukan hal-hal yang positif. Dalam kehidupan sehari-hari, sering kali waktu luang digunakan untuk hal-hal yang kurang bermanfaat,

seperti bermalas-malasan atau kegiatan yang sia-sia. Padahal, waktu luang adalah aset berharga yang dapat diisi dengan kegiatan produktif, seperti memperdalam ilmu, beribadah, atau membantu orang lain. Rasulullah SAW melalui hadits ini mengingatkan bahwa kelalaian dalam memanfaatkan waktu luang adalah bentuk kerugian yang besar, karena waktu yang berlalu tidak dapat kembali (Nasich, 2021).

Hadits ini mendukung prinsip efisiensi waktu yang diupayakan dalam optimasi rute distribusi menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO). Dengan memanfaatkan teknologi untuk menemukan rute terpendek, turut berusaha memaksimalkan penggunaan waktu agar lebih efektif dan produktif, sesuai dengan anjuran Rasulullah SAW untuk tidak menyia-nyiakan waktu luang.

## **2.8 Kajian Topik dengan Teori Pendukung**

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang membahas algoritma *Ant Colony Optimization* di antaranya penelitian Silalahi dkk. (2019), menunjukkan bahwa algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) memiliki efisiensi yang jauh lebih baik dibandingkan metode eksak seperti *Integer Linear Programming* (ILP) dalam menyelesaikan masalah *Traveling Salesman Problem* (TSP). Hasilnya menunjukkan bahwa ACO dapat menghasilkan solusi dengan waktu eksekusi yang secara signifikan lebih cepat, bahkan hingga ratusan kali lipat lebih singkat pada kasus dengan jumlah node yang besar. Meskipun solusi yang dihasilkan ACO adalah pendekatan dan memiliki perbedaan jarak 1–8% dibandingkan solusi optimal dari metode eksak, kecepatan dan kemudahannya menjadikannya alternatif yang sangat efektif untuk masalah optimisasi yang kompleks. Hal ini mengindikasikan bahwa ACO sangat cocok digunakan untuk kasus nyata dengan

kompleksitas tinggi, seperti penentuan rute distribusi barang dan layanan.

Kemudia berdasarkan penelitian Risqiyanti & Rizkia (2020) algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) berhasil diterapkan untuk mencari rute terpendek guna mendukung pemantauan dan pendistribusian kegiatan *Sustainable Development Goals* (SDGs) di wilayah Jawa Tengah. Penelitian ini menghasilkan rute dengan total jarak tempuh 1.253,25 kilometer dan waktu perjalanan selama 35,47 jam menggunakan transportasi darat. Dengan bantuan GUI MATLAB, proses pencarian rute menjadi lebih mudah dan cepat. Rute yang dihasilkan dapat menjadi rujukan bagi penyelenggara SDGs untuk meminimalkan jarak dan waktu tempuh, sehingga meningkatkan efisiensi dalam proses pemantauan dan pendistribusian kegiatan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menjadi kelanjutan dari penerapan algoritma *Ant Colony Optimization* dalam pemecahan masalah *Travelling Salesman Problem*, tetapi juga merupakan langkah maju dalam mendukung efisiensi pemantauan dan pendistribusian. Penelitian ini memperkaya pemahaman tentang pengoptimalan rute dalam konteks nyata, khususnya untuk meningkatkan efektivitas distribusi dan pengelolaan waktu pada wilayah yang luas dan kompleks.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Jenis Penelitian**

Penelitian ini merupakan penelitian dengan kombinasi pendekatan kuantitatif dan studi literatur. Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan referensi dan sumber daya yang relevan dengan topik penelitian. Sumber-sumber ini mencakup buku, artikel dan jurnal yang digunakan sebagai dasar untuk memahami konteks penelitian. Sedangkan pendekatan kuantitatif mencakup pengumpulan data berupa angka atau variabel yang sesuai dengan kebutuhan penelitian ini. Data-data tersebut kemudian diproses dan dianalisis menggunakan metode ACO untuk menghasilkan sebuah kesimpulan secara kuantitatif.

#### **3.2 Data dan Sumber Data**

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa informasi terkait lokasi-lokasi Jabmart yang berada di Kabupaten Malang, yang mencakup nama tempat, alamat lengkap, dan jarak antar Jabmart. Data ini diperoleh menggunakan layanan *Google Maps*, yang menyediakan fitur untuk menentukan lokasi dengan koordinat geografis dan menghitung jarak antar titik secara akurat. Pengambilan data dilakukan pada tanggal 24 Juli 2024 untuk keperluan penelitian dan lokasi Jabmart dikumpulkan berdasarkan data publik yang tersedia di *Google*, kemudian diolah menjadi matriks jarak antar lokasi. Matriks ini menyajikan jarak antar setiap pasangan Jabmart dalam satuan kilometer.

Selain itu, data ini melibatkan total jumlah Jabmart yang ada di Kabupaten

Malang, distribusi geografisnya, serta konektivitas antar lokasi yang menjadi dasar penghitungan rute terpendek. Data ini kemudian digunakan sebagai *input* utama dalam simulasi menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) untuk menentukan rute distribusi susu yang paling efisien. Dengan pendekatan ini, penelitian bertujuan untuk mengoptimalkan proses distribusi sehingga dapat meminimalkan waktu tempuh dan biaya operasional.

### 3.3 Tahapan Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian yang disusun secara terstruktur agar proses implementasi algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) berjalan sesuai dengan metodologi yang telah dirancang yaitu sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data
  - a. Identifikasi lokasi Jabmart, dimana penelitian dimulai dengan mengidentifikasi semua lokasi Jabmart yang terdapat di Kabupaten Malang. Data ini diperoleh menggunakan *Google Maps* dengan cara mencari dan mencatat titik-titik Jabmart yang menjadi bagian dari distribusi produk susu Jabmilk.
  - b. Setelah semua lokasi Jabmart diidentifikasi, langkah selanjutnya adalah menentukan jarak antar setiap lokasi. Jarak ini dihitung menggunakan fitur pengukuran jarak yang tersedia di *Google Maps*, yang memberikan hasil dalam satuan kilometer. Hasil pengukuran tersebut disusun dalam bentuk matriks jarak untuk mempermudah analisis.

2. Inisialisasi Parameter

- a. Jumlah semut ( $k$ ) : 13
- b. Intensitas feromon semut ( $\alpha$ ) = 1
- c. Daya tarik heuristik atau parameter control jarak ( $\beta$ ) = 2
- d. Koefisien penguapan feromon  $\rho \in \{0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1\}$

3. Proses simulasi ACO

- a. Perhitungan nilai visibilitas
- b. Penentuan probabilitas pemilihan jalur

$$P_{ij}^k(t) = \frac{(\tau_{ij}(t))^\alpha \cdot (\eta_{ij}(t))^\beta}{\sum_{j \in N_i^k} (\tau_{ij}(t))^\alpha \cdot (\eta_{ij}(t))^\beta}, \text{ jika } j \in N_j^k$$

dimana:

$P_{ij}^k(t)$  : Probabilitas semut  $k$  dari titik  $i$  menuju titik  $j$  pada waktu

$t$ ,

$\tau_{ij}(t)$  : Jumlah feromon semut dari titik  $i$  menuju titik  $j$  pada

waktu  $t$ ,

$\eta_{ij}(t)$  : Invers jarak antara titik  $i$  menuju titik  $j$  pada waktu  $t$ ,

$N_i^k$  : Daftar tetangga titik  $i$  yang belum dikunjungi oleh semut

ke- $k$

c. Update Konstanta Feromon

Setelah semua semut menyelesaikan iterasi nya, kemudian memperbarui nilai feromon, dengan

$$\tau_{ij}(t) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t)$$

dengan  $\Delta\tau_{ij}(t)$  merupakan nilai feromon pada titik  $(i, j)$  yang

dilewati oleh semut  $k$ , yang diberikan oleh formula berikut:

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{1}{L_k}, & \text{jika semut } k \text{ berjalan dari titik } i \text{ ke titik } j \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases}$$

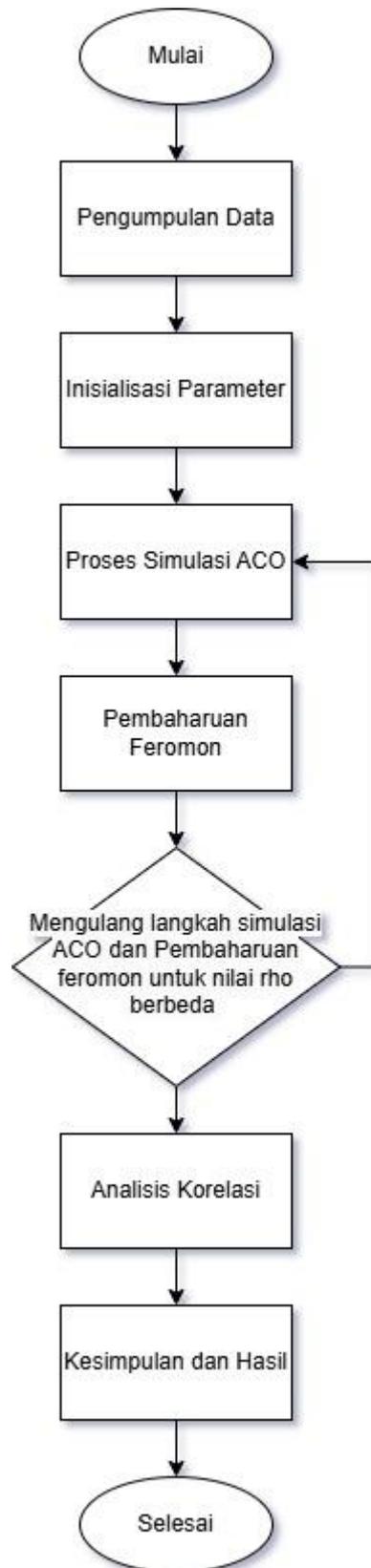
dan  $L_k$  adalah panjang perjalanan atau jarak tempuh semut  $k$  dari titik awal sampai titik terakhir.

4. Evaluasi Solusi Persamaan

Hitung panjang rute total yang dilalui setiap semut. Kemudian, simpan solusi terbaik jika ada yang lebih optimal dibandingkan iterasi sebelumnya.

5. Algoritma berhenti jika iterasi telah mencapai *maxIter* yang ditetapkan atau tidak terdapat perbaikan solusi setelah *maxIter* yang ditetapkan.
6. Melakukan atau mengulang langkah-langkah 3 untuk nilai  $\rho$  yang berbeda.
7. Analisis korelasi untuk memperoleh hubungan nilai  $\rho$  dengan nilai rute terpendek yang dihasilkan.
8. Menyimpulkan hasil penelitian terkait efisiensi algoritma ACO dalam menentukan rute distribusi susu di Kabupaten Malang.

### 3.4 Flowchart



**Gambar 3.1** Flowchart Algoritma Ant Colony Optimization

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Deskripsi Data**

Penelitian ini menggunakan data yang mencakup titik lokasi Jabmart dan jarak antara masing-masing lokasi. Berikut adalah deskripsi dari data tersebut:

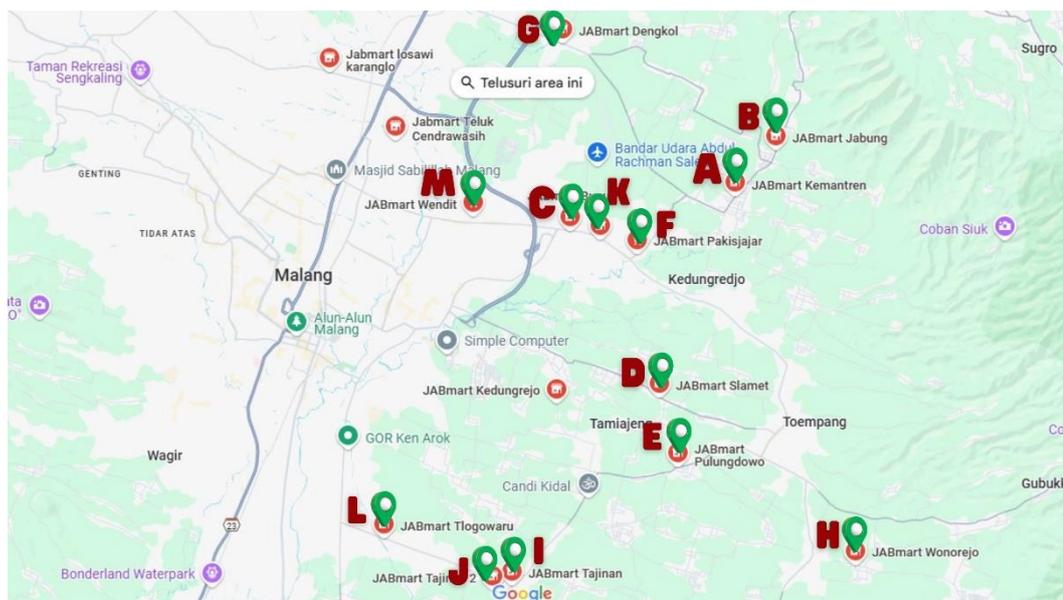
##### **4.1.1 Data Titik Lokasi Jabmart**

Penelitian ini mengkaji beberapa lokasi Jabmart di Kabupaten Malang, di mana setiap cabang atau tempat Jabmart yang ada terus mengalami perbaikan, peningkatan fasilitas, atau perluasan area layanan, sehingga lebih banyak masyarakat yang bisa mengakses atau menikmati layanan Jabmart tersebut. Namun, informasi mengenai rute distribusi terbaik ke seluruh lokasi Jabmart tersebut belum tersedia. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pencarian rute distribusi terpendek untuk mencapai setiap lokasi Jabmart. Pada tabel 4.1, disajikan daftar lokasi Jabmart beserta permisalan yang digunakan.

Gambar 4.1 merupakan visualisasi persebaran lokasi Jabmart di wilayah Kabupaten Malang yang menjadi tujuan distribusi susu JabMilk. Peta ini diambil dari layanan *Google Maps* dan telah ditandai dengan penanda berinisial huruf A sampai M yang merepresentasikan masing-masing titik lokasi Jabmart yang terlibat dalam penelitian. Setiap lokasi Jabmart memiliki posisi geografis yang berbeda, mulai dari wilayah utara seperti Jabmart Dengkol (G) dan Jabmart Jabung (B), hingga wilayah selatan seperti Jabmart Wonorejo (H) dan Jabmart Tlogowaru (L).

Tabel 4.1 Data Titik Lokasi Jabmart

No.	Tempat Pendistribusian	Misalkan
1.	Jabmart Kemantren	A
2.	Jabmart Jabung	B
3.	Jabmart Bunut	C
4.	Jabmart Slamet	D
5.	Jabmart Pulungdowo	E
6.	Jabmart Pakisjajar	F
7.	Jabmart Dengkol	G
8.	Jabmart Wonorejo	H
9.	Jabmart Tajinan 1	I
10.	Jabmart Tajinan 2	J
11.	Jabmart Pakis Kembar	K
12.	Jabmart Tlogowaru	L
13.	Jabmart Wendit	M



Gambar 4.1 Peta Persebaran Lokasi Jabmart di Kabupaten Malang

Pemetaan ini bertujuan untuk memberikan gambaran visual terhadap rute distribusi yang dianalisis dalam penelitian menggunakan algoritma *Ant Colony*

*Optimization* (ACO). Titik-titik lokasi tersebut menjadi simpul (*node*) dalam graf yang akan digunakan untuk simulasi dan perhitungan rute distribusi optimal berdasarkan parameter penguapan feromon yang dianalisis.

#### 4.1.2 Data Jarak Antar Titik Jabmart

Tabel 4.2 merupakan data jarak antar titik distribusi susu JabMilk ke beberapa lokasi JabMart di wilayah Kabupaten Malang. Setiap titik diberi label dari A hingga M yang mewakili lokasi tertentu. Nilai pada tabel menunjukkan jarak antar dua titik dalam satuan kilometer, yang diperoleh berdasarkan perhitungan melalui *Google Maps*. Nilai diagonal (dari satu titik ke dirinya sendiri) adalah nol, sedangkan nilai lainnya merepresentasikan jarak riil antar lokasi. Data ini digunakan sebagai dasar perhitungan dalam penerapan algoritma optimasi seperti *Ant Colony Optimization (ACO)* untuk menemukan rute distribusi terpendek dan paling efisien.

**Tabel 4.2** Data Jarak antar Titik Jabmart

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
A	0	1,8	6,5	9,3	13	4,2	10	14	20	20	5,6	21	9,7
B	1,8	0	8,3	11	14	6	8,8	16	21	21	7,4	22	11
C	6,5	8,3	0	8,2	14	2,3	17	17	17	18	1	14	3,1
D	9,3	11	8,2	0	2,8	6,5	19	9,5	8,3	9	7,1	13	10
E	13	14	14	2,8	0	9,3	22	6,8	6,7	7,4	11	11	13
F	4,2	6	2,3	6,5	9,3	0	14	13	15	16	1,3	16	5,4
G	10	8,8	17	19	22	14	0	24	27	27	11	23	13
H	14	16	17	9,5	6,8	13	24	0	12	12	14	16	18
I	20	21	17	8,3	6,7	15	27	12	0	0,7	15	4,4	16
J	20	21	18	9	7,4	16	27	12	0,7	0	16	3,7	16
K	5,6	7,4	1	7,1	11	1,3	11	14	15	16	0	15	4,1
L	21	22	14	13	11	16	23	16	4,4	3,7	15	0	13
M	9,7	11	3,1	10	13	5,4	13	18	16	16	4,1	13	0

## 4.2 Inisialisasi Parameter

Pada tahap awal penerapan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO), diperlukan inisialisasi parameter-parameter yang berpengaruh terhadap proses pencarian solusi. Parameter-parameter tersebut ditentukan berdasarkan studi literatur serta dilakukan penyesuaian agar sesuai dengan karakteristik permasalahan yang diteliti. Adapun parameter-parameter yang digunakan dalam simulasi ACO seperti pada tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Parameter Inisialisasi

Parameter	Nilai
Jumlah semut	13
Jumlah Iterasi	13
Alpha ( $\alpha$ )	1
Beta ( $\beta$ )	2
Rho ( $\rho$ ),	0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1
Nilai Feromon awal ( $\tau_0$ )	1

## 4.3 Proses Simulasi ACO

Proses simulasi algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dilakukan melalui beberapa tahap sebagai berikut:

1. Perhitungan Nilai Visibilitas

Nilai visibilitas antar titik  $i$  dan  $j$  dihitung menggunakan rumus:

$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$$

Dengan  $d_{ij}$  merupakan jarak dari titik  $i$  dan  $j$ . Nilai ini menunjukkan daya tarik dari titik  $j$  jika semut saat ini berada di titik  $i$ .

$$\eta_{A,B} = \frac{1}{1,8} = 0,555556$$

$$\eta_{A,C} = \frac{1}{6,5} = 0,153846$$

$$\eta_{A,D} = \frac{1}{9,3} = 0,107527$$

$$\eta_{A,E} = \frac{1}{13} = 0,076923$$

....

$$\eta_{L,M} = \frac{1}{4,2} = 0,076923$$

Nilai visibilitas lainnya dihitung dengan cara yang sama menggunakan rumus  $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$  menghasilkan tabel nilai visibilitas, yaitu:

	A	B	...	L	M
A	0	0,555556	...	0,047619	0,103093
B	0,555556	0	...	0,045455	0,090909
⋮	⋮	⋮	0	⋮	⋮
L	0,047619	0,045455	...	0	0,076923
M	0,103093	0,090909	...	0,076923	0

Tabel lengkap nilai visibilitas antar titik dapat dilihat pada Lampiran 1.

## 2. Penentuan Probabilitas Pemilihan Jalur

Pada tahap ini dilakukan perhitungan probabilitas pemilihan jalur oleh semut berdasarkan pengaruh feromon dan nilai visibilitas (kebalikan dari jarak antar titik). Probabilitas pemilihan jalur dari titik  $i$  ke titik  $j$  dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P_{ij}^k(t) = \frac{(\tau_{ij}(t))^\alpha \cdot (\eta_{ij}(t))^\beta}{\sum_{j \in N_i^k} (\tau_{ij}(t))^\alpha \cdot (\eta_{ij}(t))^\beta}, \text{ jika } j \in N_j^k$$

dengan:

- a.  $\tau_{ij}$  merupakan intensitas feromon pada jalur antara titik  $i$  dan  $j$ ,

- b.  $\eta_{ij}$  adalah visibilitas dari titik  $i$  ke titik  $j$  yang dihitung sebagai  $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}'}$
- c.  $\alpha$  adalah parameter yang mengontrol pengaruh feromon,
- d.  $\beta$  adalah parameter yang mengontrol pengaruh jarak (visibilitas),
- e.  $j \in N_i^k$  adalah himpunan titik yang belum dikunjungi oleh titik  $i$ .

Sebagai ilustrasi, berikut diberikan contoh perhitungan manual untuk iterasi 1 pada semut pertama yang melalui perjalanan dari titik A. Eksperimen dalam penelitian ini, akan dilakukan pengujian terhadap beberapa koefisien penguapan feromon  $\rho \in \{0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1\}$ , untuk melihat bagaimana pengaruh masing-masing nilai tersebut terhadap hasil dan konvergensi algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO). Contoh perhitungan manual yang disajikan pada bagian ini menggunakan nilai  $\rho = 0,1$  sebagai simulasi awal.

Contoh perhitungan iterasi 1 dengan nilai  $\rho = 0,1$ :

$$\begin{aligned}
 P_{A,B}^1(1) &= \frac{(\tau_{A,B}(1))^1 \cdot (\eta_{AB}(1))^2}{\sum_{B \in N_A^1} (\tau_{A,B}(1))^1 \cdot (\eta_{AB}(1))^2} \\
 P_{A,B}^1(1) &= \frac{(1)^1 \cdot (0,555556)^2}{(1)^1 \cdot (0,555556)^2 + (1)^1 \cdot (0,153846)^2 + \dots + (1)^1 \cdot (0,103093)^2} \\
 &= \frac{1 \cdot 0,308642}{1 \cdot 0,308642 + 1 \cdot 0,023669 + \dots + 1 \cdot 0,010628} \\
 &= \frac{0,308642}{0,471365} \\
 &= 0,654783
 \end{aligned}$$

$$P_{A,D}^1(1) = 0,025$$

$$P_{A,E}^1(1) = 0,013$$

$$P_{A,F}^1(1) = 0,12$$

$$P_{A,G}^1(1) = 0,021$$

$$P_{A,H}^1(1) = 0,011$$

$$P_{A,I}^1(1) = 0,005$$

$$P_{A,J}^1(1) = 0,005$$

$$P_{A,K}^1(1) = 0,068$$

$$P_{A,L}^1(1) = 0,005$$

$$P_{A,M}^1(1) = 0,023$$

Semut memilih titik F karena memiliki probabilitas tertinggi (0,12) dan lanjut menghitung probabilitas pada titik yang belum dikunjungi,

$$P_{F,B}^1(1) = 0,031$$

$$P_{F,C}^1(1) = 0,21$$

$$P_{F,D}^1(1) = 0,026$$

$$P_{F,E}^1(1) = 0,013$$

$$P_{F,G}^1(1) = 0,006$$

$$P_{F,H}^1(1) = 0,07$$

$$P_{F,I}^1(1) = 0,005$$

$$P_{F,J}^1(1) = 0,004$$

$$P_{F,K}^1(1) = 0,656$$

$$P_{F,L}^1(1) = 0,004$$

$$P_{F,M}^1(1) = 0,038$$

Semut memilih titik C meskipun terdapat titik dengan probabilitas lebih tinggi.

$$P_{C,B}^1(1) = 0,013$$

$$P_{C,D}^1(1) = 0,013$$

$$P_{C,E}^1(1) = 0,004$$

$$P_{C,G}^1(1) = 0,003$$

$$P_{C,H}^1(1) = 0,003$$

$$P_{C,I}^1(1) = 0,003$$

$$P_{C,J}^1(1) = 0,003$$

$$P_{C,K}^1(1) = 0,864$$

$$P_{C,L}^1(1) = 0,004$$

$$P_{C,M}^1(1) = 0,09$$

Semut memilih titik D.

$$P_{D,B}^1(1) = 0,039$$

$$P_{D,E}^1(1) = 0,601$$

$$P_{D,G}^1(1) = 0,013$$

$$P_{D,H}^1(1) = 0,052$$

$$P_{D,I}^1(1) = 0,068$$

$$P_{D,J}^1(1) = 0,058$$

$$P_{D,K}^1(1) = 0,093$$

$$P_{D,L}^1(1) = 0,028$$

$$P_{D,M}^1(1) = 0,047$$

Semut memilih titik E.

$$P_{E,B}^1(1) = 0,056$$

$$P_{E,G}^1(1) = 0,023$$

$$P_{E,H}^1(1) = 0,236$$

$$P_{E,I}^1(1) = 0,243$$

$$P_{E,J}^1(1) = 0,199$$

$$P_{E,K}^1(1) = 0,09$$

$$P_{E,L}^1(1) = 0,09$$

$$P_{E,M}^1(1) = 0,064$$

Semut memilih titik J.

$$P_{J,B}^1(1) = 0,001$$

$$P_{J,G}^1(1) = 0,001$$

$$P_{J,H}^1(1) = 0,003$$

$$P_{J,I}^1(1) = 0,957$$

$$P_{J,K}^1(1) = 0,002$$

$$P_{J,L}^1(1) = 0,034$$

$$P_{J,M}^1(1) = 0,002$$

Semut memilih titik L.

$$P_{L,B}^1(1) = 0,03$$

$$P_{L,G}^1(1) = 0,027$$

$$P_{L,H}^1(1) = 0,056$$

$$P_{L,I}^1(1) = 0,739$$

$$P_{L,K}^1(1) = 0,064$$

$$P_{L,M}^1(1) = 0,085$$

Semut memilih titik I.

$$P_{I,B}^1(1) = 0,12$$

$$P_{I,G}^1(1) = 0,072$$

$$P_{I,H}^1(1) = 0,367$$

$$P_{I,K}^1(1) = 0,235$$

$$P_{I,M}^1(1) = 0,206$$

Semut memilih titik K.

$$P_{K,B}^1(1) = 0,2$$

$$P_{K,G}^1(1) = 0,091$$

$$P_{K,H}^1(1) = 0,056$$

$$P_{K,M}^1(1) = 0,653$$

Semut memilih titik B.

$$P_{B,G}^1(1) = 0,515$$

$$P_{B,H}^1(1) = 0,156$$

$$P_{B,M}^1(1) = 0,329$$

Semut memilih titik G.

$$P_{G,H}^1(1) = 0,227$$

$$P_{G,M}^1(1) = 0,773$$

Semut memilih titik M.

$$P_{M,H}^1(1) = 1,0$$

sehingga iterasi 1 menyimpan rute sebagai berikut:

$$A \rightarrow F \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow J \rightarrow L \rightarrow I \rightarrow K \rightarrow B \rightarrow G \rightarrow M \rightarrow H \rightarrow A$$

### 3. Update Konstanta Feromon

Setelah semut menyelesaikan konstruksi rute pada satu iterasi, dilakukan proses pembaharuan feromon pada setiap sisi. Proses ini

mempertimbangkan penguapan feromon dari iterasi sebelumnya serta penambahan feromon baru yang ditinggalkan oleh semut berdasarkan kualitas rute yang dilalui.

Adapun formula pembaharuan feromon dinyatakan sebagai berikut:

$$\tau_{ij}(t) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t)$$

dengan  $\Delta\tau_{ij}(t)$  merupakan nilai feromon pada titik  $(i, j)$  yang dilewati oleh semut  $k$ , yang diberikan oleh formula berikut:

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{1}{L_k}, & \text{jika semut } k \text{ berjalan dari titik } i \text{ ke titik } j \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases}$$

Dari iterasi 1 menyimpan rute sebagai berikut:

$$A \rightarrow F \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow J \rightarrow L \rightarrow I \rightarrow K \rightarrow B \rightarrow G \rightarrow M \rightarrow H \rightarrow A$$

Kemudian dihitung nilai  $L_k$  terlebih dahulu dari rute iterasi 1

$$\begin{aligned} L_k &= 4,2 + 2,3 + 8,2 + 2,8 + 7,4 + 3,7 + 4,4 + 15 + 7,4 + 8,8 + 13 + 18 \\ &\quad + 14 \\ &= 109,2 \end{aligned}$$

Pada iterasi pertama ditemukan nilai  $L_k = 109,2$

$$\begin{aligned} \Delta\tau_{ij}(t) &= \frac{1}{L_k} \\ &= \frac{1}{109,2} \\ &= 0,009157 \end{aligned}$$

Pembaharuan feromon untuk rute yang dilewati pada iterasi 1 dengan nilai  $\rho = 0,1$  sebagai berikut:

$$\tau_{A,F}(t) = (1 - 0,1) \cdot 1 + 0,009157 = 0,909157$$

$$\tau_{F,C}(t) = (1 - 0,1) \cdot 1 + 0,009157 = 0,909157$$

$$\tau_{C,D}(t) = (1 - 0,1) \cdot 1 + 0,009157 = 0,909157$$

$$\tau_{D,E}(t) = (1 - 0,1) \cdot 1 + 0,009157 = 0,909157$$

$$\tau_{E,J}(t) = (1 - 0,1) \cdot 1 + 0,009157 = 0,909157$$

$$\tau_{J,L}(t) = (1 - 0,1) \cdot 1 + 0,009157 = 0,909157$$

$$\tau_{L,I}(t) = (1 - 0,1) \cdot 1 + 0,009157 = 0,909157$$

$$\tau_{I,K}(t) = (1 - 0,1) \cdot 1 + 0,009157 = 0,909157$$

$$\tau_{K,B}(t) = (1 - 0,1) \cdot 1 + 0,009157 = 0,909157$$

$$\tau_{B,G}(t) = (1 - 0,1) \cdot 1 + 0,009157 = 0,909157$$

$$\tau_{G,M}(t) = (1 - 0,1) \cdot 1 + 0,009157 = 0,909157$$

$$\tau_{M,H}(t) = (1 - 0,1) \cdot 1 + 0,009157 = 0,909157$$

Pembaharuan feromon untuk rute yang tidak dilewati pada iterasi 1 dengan nilai  $\rho = 0,1$  sebagai berikut:

$$\tau_{A,B}(t) = (1 - 0,1) \cdot 1 = 0,9$$

Dengan demikian, perhitungan manual pada algoritma *Ant Colony Optimization* dilakukan sebagaimana telah dicontohkan sebelumnya. Perhitungan secara manual ditampilkan hanya untuk satu semut pada iterasi pertama sebagai contoh. Adapun untuk iterasi-iterasi selanjutnya proses perhitungan dilakukan secara otomatis dengan menggunakan bantuan program komputer berbasis *Python*.

#### 4.4 Hasil Simulasi Setiap Nilai $\rho$ yang Berbeda

Setelah dilakukan simulasi secara manual pada iterasi pertama dengan satu semut, proses iterasi selanjutnya dan pengujian dengan berbagai nilai parameter dilakukan menggunakan program komputer berbasis *python*. Implementasi program ini ditujukan untuk mengotomatisasi seluruh tahapan dalam algoritma *Ant*

*Colony Optimization* (ACO), mulai dari inialisasi parameter, perhitungan probabilitas pemilihan jalur, konstruksi solusi oleh setiap semut, hingga pembaruan nilai feromon.

Adapun simulasi ini menggunakan parameter tetap untuk jumlah semut, nilai alpha ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ), dan nilai awal feromon ( $\tau_0$ ). Sementara untuk nilai rho ( $\rho$ ), dilakukan pengujian bertahap menggunakan 10 nilai berbeda, yaitu: 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, dan 1. Hal ini bertujuan untuk menganalisis sejauh mana pengaruh tingkat penguapan feromon terhadap hasil akhir pencarian rute terpendek.

Tahapan dalam proses simulasi menggunakan *python* adalah sebagai berikut:

1. Membuat tabel data jarak antar jabmart seperti pada tabel 4.2
2. Inialisasi parameter seperti pada subbab 4.2
3. Perulangan algoritma ACO sebanyak iterasi maksimum untuk setiap nilai  $\rho$

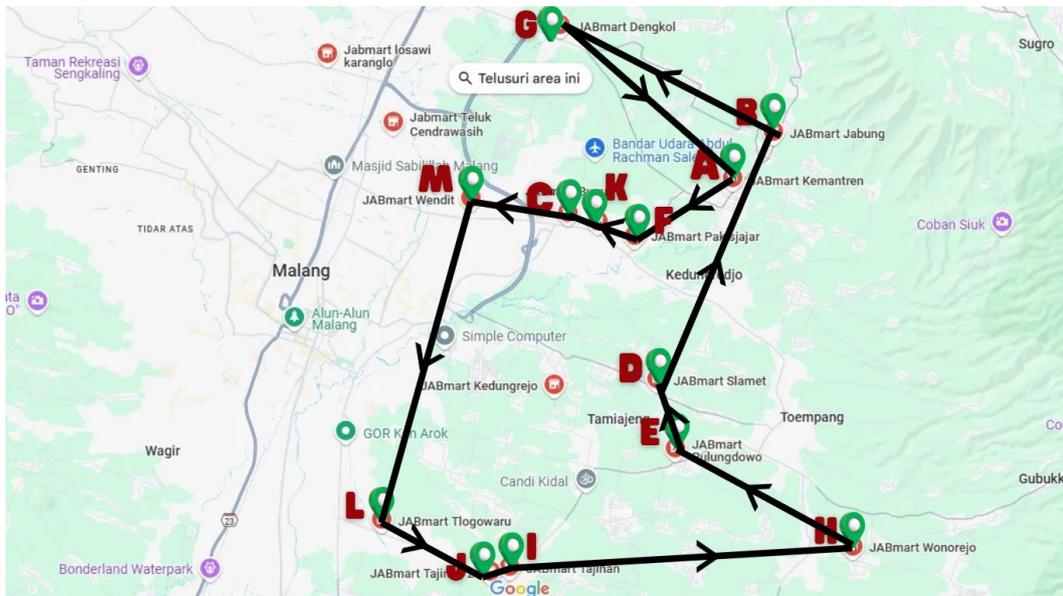
Tabel 4.4 merupakan hasil perhitungan menggunakan bantuan program *python* dengan nilai  $\rho = 0,1$

Gambar 4.2 menunjukkan rute distribusi optimal susu JabMilk ke seluruh titik lokasi Jabmart di Kabupaten Malang yang dihasilkan melalui implementasi algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dengan parameter penguapan feromon sebesar 0,1. Peta ini diambil dari layanan *Google Maps* dan telah ditambahkan garis berarah untuk menggambarkan urutan rute distribusi dari satu lokasi ke lokasi lainnya.

Tabel 4.4 Rute dan Jarak Tempuh dengan Nilai  $\rho = 0,1$

Iterasi	Rute yang Ditempuh	Total Jarak Tempuh (km)
1	A, B, M, C, K, F, H, E, L, J, I, D, G, A	90,7
2	A, F, K, C, M, L, J, I, E, H, D, B, G, A	79,8
3	A, F, K, C, M, L, J, I, E, H, D, B, G, A	79,8
4	A, F, K, C, M, L, J, I, E, H, D, B, G, A	79,8
5	A, F, K, C, M, L, J, I, E, H, D, B, G, A	79,8
6	A, F, K, C, M, L, J, I, E, H, D, B, G, A	79,8
7	A, F, K, C, M, L, J, I, E, H, D, B, G, A	79,8
8	A, F, K, C, M, L, J, I, E, H, D, B, G, A	79,8
9	A, F, K, C, M, L, J, I, H, E, D, B, G, A	78,4
10	A, F, K, C, M, L, J, I, H, E, D, B, G, A	78,4
11	A, F, K, C, M, L, J, I, H, E, D, B, G, A	78,4
12	A, F, K, C, M, L, J, I, H, E, D, B, G, A	78,4
13	A, F, K, C, M, L, J, I, H, E, D, B, G, A	78,4

Gambar 4.2 menunjukkan rute terpendek yang dihasilkan pada iterasi ke-9 dengan jarak 78,4 km.



Gambar 4.2 Rute Terpendek dengan Nilai  $\rho = 0,1$

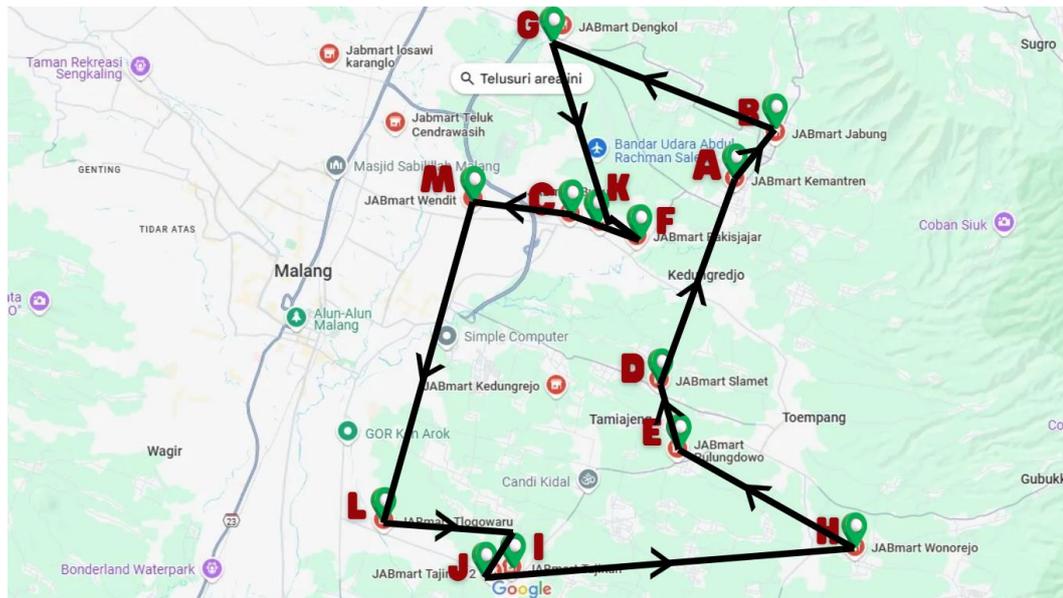
Setiap titik pada peta mewakili lokasi Jabmart yang telah diberi label huruf A sampai M. Arah panah menunjukkan jalur yang dilalui berdasarkan hasil optimasi ACO, dimulai dari simpul awal menuju simpul-simpul berikutnya secara efisien dengan mempertimbangkan nilai feromon dan jarak antar lokasi. Dengan nilai  $\rho$  yang rendah (0,1), penguapan feromon berlangsung lambat sehingga semut cenderung mengikuti jalur yang sudah dilewati sebelumnya, memungkinkan terjadinya eksploitasi jalur yang dianggap optimal pada iterasi sebelumnya.

Tabel 4.5 merupakan hasil perhitungan menggunakan bantuan program *python* dengan nilai  $\rho = 0,2$

**Tabel 4.5** Rute dan Jarak Tempuh dengan Nilai  $\rho = 0,2$

<b>Iterasi</b>	<b>Rute yang Ditempuh</b>	<b>Total Jarak Tempuh (km)</b>
1	A, F, K, C, M, D, E, I, J, L, H, G, B, A	84,1
2	A, F, K, C, M, D, E, I, J, L, H, G, B, A	84,1
3	A, B, G, M, C, K, F, D, E, J, I, L, H, A	80,8
4	A, B, G, M, C, K, F, D, E, J, I, L, H, A	80,8
5	A, B, G, M, C, K, F, D, E, J, I, L, H, A	80,8
6	A, B, G, M, C, K, F, D, E, J, I, L, H, A	80,8
7	A, B, G, M, C, K, F, D, E, J, I, L, H, A	80,8
8	A, B, G, M, C, K, F, D, E, J, I, L, H, A	80,8
9	A, B, G, M, C, K, F, D, E, J, I, L, H, A	80,8
10	A, B, G, M, C, K, F, D, E, J, I, L, H, A	80,8
11	A, B, G, M, C, K, F, D, E, J, I, L, H, A	80,8
12	A, B, G, K, F, C, M, L, I, J, H, E, D, A	77,3
13	A, B, G, K, F, C, M, L, I, J, H, E, D, A	77,3

Gambar 4.3 menunjukkan rute terpendek yang dihasilkan pada iterasi ke-12 dengan jarak 77,3 km



**Gambar 4.3** Rute Terpendek dengan Nilai  $\rho = 0,2$

Gambar 4,3 menampilkan rute distribusi optimal yang dihasilkan melalui penerapan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dengan nilai parameter penguapan feromon sebesar 0,2. Peta yang digunakan diperoleh dari *Google Maps*, dengan rute ditandai oleh garis berarah yang menghubungkan titik-titik distribusi Jabmart yang dilambangkan dengan huruf A sampai M. Dengan nilai  $\rho = 0,2$ , tingkat penguapan feromon sedikit lebih tinggi dibandingkan nilai sebelumnya ( $\rho = 0,1$ ), yang memungkinkan algoritma untuk memberikan peluang eksplorasi rute alternatif yang lebih besar. Hal ini bertujuan untuk menghindari ketergantungan pada jalur awal dan membuka kemungkinan pencarian solusi yang lebih optimal secara global.

Panah pada gambar menunjukkan urutan kunjungan kendaraan distribusi dalam menyampaikan produk susu JabMilk ke setiap lokasi Jabmart di Kabupaten Malang. Visualisasi ini memberikan gambaran konkret bagaimana perubahan nilai  $\rho$  mempengaruhi pola rute distribusi dalam pencarian solusi optimal.

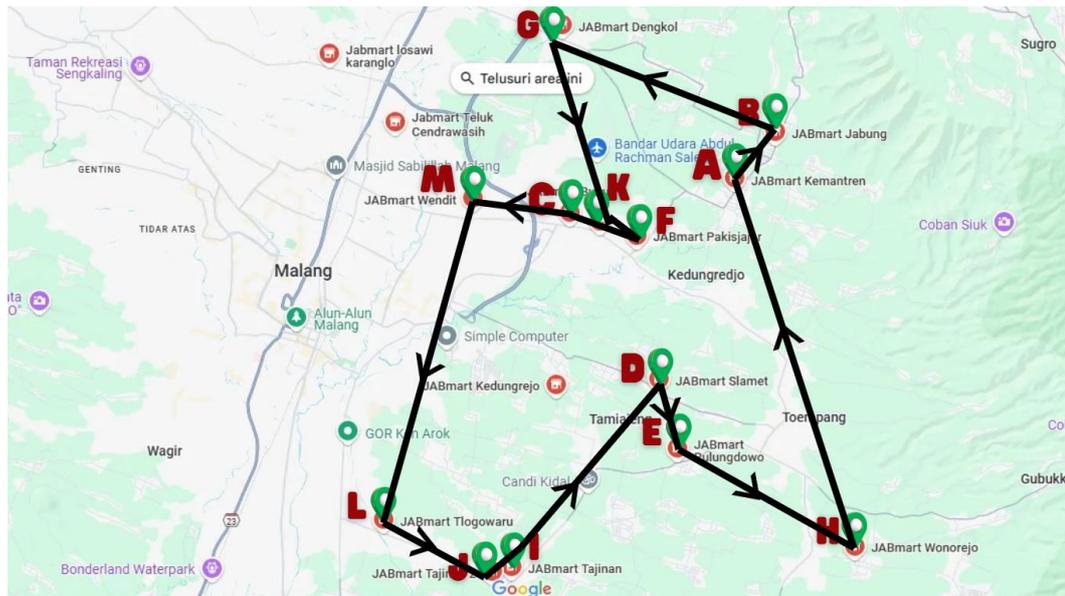
Berikut hasil perhitungan menggunakan bantuan program *python* dengan nilai  $\rho = 0,3$

**Tabel 4.6** Rute dan Jarak Tempuh dengan Nilai  $\rho = 0,3$

Iterasi	Rute yang Ditempuh	Total Jarak Tempuh (km)
1	A, B, K, C, F, H, E, D, I, J, L, M, G, A	83,8
2	A, B, K, C, F, H, E, D, I, J, L, M, G, A	83,8
3	A, B, K, C, F, H, E, D, I, J, L, M, G, A	83,8
4	A, B, K, C, F, H, E, D, I, J, L, M, G, A	83,8
5	A, F, K, C, H, E, D, I, J, L, M, G, B, A	82,4
6	A, F, K, C, H, E, D, I, J, L, M, G, B, A	82,4
7	A, F, K, C, H, E, D, I, J, L, M, G, B, A	82,4
8	A, F, K, C, H, E, D, I, J, L, M, G, B, A	82,4
9	A, F, K, C, H, E, D, I, J, L, M, G, B, A	82,4
10	A, B, F, K, C, M, D, E, H, I, J, L, G, A	82,2
11	A, B, F, K, C, M, D, E, H, I, J, L, G, A	82,2
12	A, F, K, C, M, L, J, I, D, E, H, B, G, A	79,7
13	A, B, G, K, F, C, M, L, J, I, D, E, H, A	77,6

Gambar 4.4 memperlihatkan hasil visualisasi rute distribusi optimal untuk pengiriman susu JabMilk ke seluruh titik lokasi Jabmart di Kabupaten Malang dengan menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) pada nilai penguapan feromon sebesar 0,3 dengan jarak minimum 77,6 km. Data peta diperoleh dari *Google Maps* dan dimodifikasi dengan menambahkan garis berarah sebagai representasi jalur distribusi berdasarkan hasil algoritma. Nilai  $\rho = 0,3$  menunjukkan tingkat penguapan feromon yang lebih tinggi dibandingkan kondisi sebelumnya, sehingga semut-semut dalam algoritma ACO akan mengurangi ketergantungan terhadap jalur yang telah dilewati dan cenderung mulai mengeksplorasi rute-rute baru. Ini memungkinkan ditemukannya rute alternatif

yang berpotensi lebih efisien dan mendekati solusi global optimum.



**Gambar 4.4** Rute Terpendek dengan Nilai  $\rho = 0,3$

Panah-panah pada gambar menunjukkan urutan lokasi yang dikunjungi dalam proses distribusi. Pola distribusi ini merefleksikan hasil optimasi dari proses iteratif ACO dengan mempertimbangkan bobot jarak dan intensitas feromon yang tersisa di setiap lintasan.

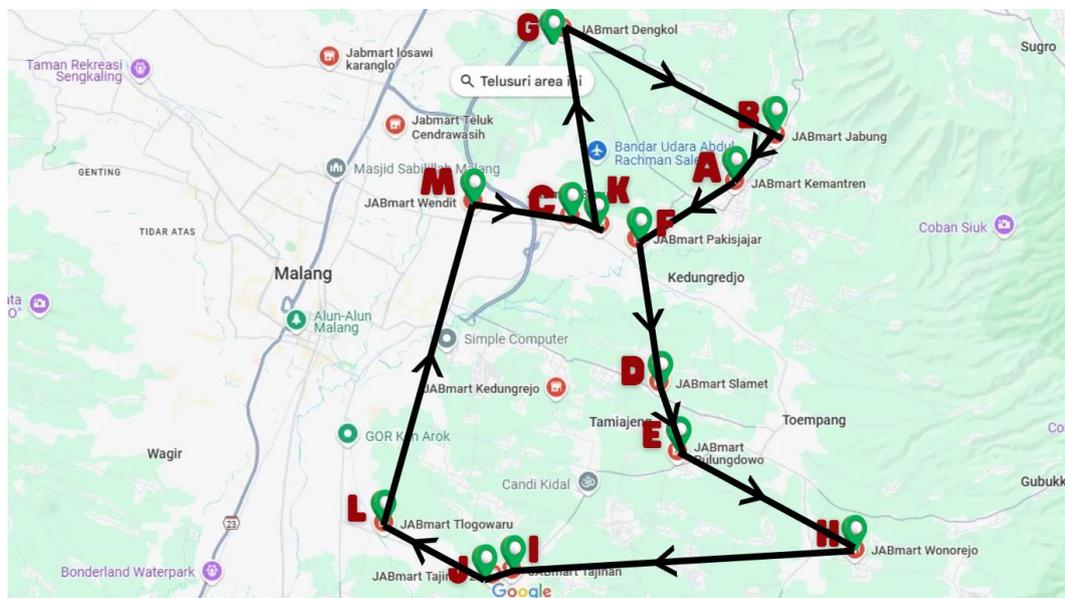
Tabel 4.7 merupakan hasil perhitungan menggunakan bantuan program *python* dengan nilai  $\rho = 0,4$

**Tabel 4.7** Rute dan Jarak Tempuh dengan Nilai  $\rho = 0,4$

Iterasi	Rute yang Ditempuh	Total Jarak Tempuh (km)
1	A, B, C, F, K, D, H, E, L, J, I, M, G, A	91,5
2	A, B, G, K, M, C, F, D, H, E, I, J, L, A	86,0
3	A, F, C, K, M, L, J, I, D, E, H, G, B, A	81,5
4	A, B, F, K, C, M, L, J, I, H, E, D, G, A	81,2
5	A, F, K, C, M, L, J, I, E, D, H, B, G, A	80,8
6	A, F, K, C, M, L, J, I, E, D, H, B, G, A	80,8

Iterasi	Rute yang Ditempuh	Total Jarak Tempuh (km)
7	A, F, K, C, M, L, J, I, E, D, H, B, G, A	80,8
8	A, F, K, C, M, L, J, I, E, D, H, B, G, A	80,8
9	A, F, K, C, M, L, J, I, E, D, H, B, G, A	80,8
10	A, F, K, C, M, L, J, I, E, D, H, B, G, A	80,8
11	A, F, K, C, M, L, J, I, H, E, D, G, B, A	78,2
12	A, F, D, E, H, I, J, L, M, C, K, G, B, A	75,4
13	A, F, D, E, H, I, J, L, M, C, K, G, B, A	75,4

Gambar 4.5 menunjukkan rute terpendek yang dihasilkan pada iterasi ke-12 dengan jarak 75,4 km.



Gambar 4.5 Rute Terpendek dengan Nilai  $\rho = 0,4$

Gambar 4.5 menunjukkan rute distribusi optimal yang diperoleh dari hasil implementasi algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dengan parameter penguapan feromon sebesar 0,4. Peta dasar diambil dari *Google Maps* dan telah dimodifikasi dengan menambahkan garis panah yang menggambarkan urutan rute distribusi susu JabMilk ke titik-titik lokasi Jabmart di Kabupaten Malang.

Peningkatan nilai  $\rho$  menjadi 0,4 menyebabkan feromon pada jalur yang telah dilalui sebelumnya menguap lebih cepat. Kondisi ini mendorong semut-semut dalam algoritma ACO untuk mengeksplorasi lebih banyak kemungkinan jalur baru, yang pada akhirnya dapat membantu menghindari solusi lokal dan mencari solusi global yang lebih optimal.

Panah yang menghubungkan setiap titik menunjukkan urutan perjalanan distribusi dari satu lokasi Jabmart ke lokasi berikutnya. Perubahan pola rute dibandingkan dengan nilai  $\rho$  sebelumnya menunjukkan bahwa parameter penguapan feromon memiliki pengaruh signifikan dalam membentuk pola distribusi yang efisien dan adaptif.

Tabel 4.8 merupakan hasil perhitungan menggunakan bantuan program *python* dengan nilai  $\rho = 0,5$

**Tabel 4.8** Rute dan Jarak Tempuh dengan Nilai  $\rho = 0,5$

<b>Iterasi</b>	<b>Rute yang Ditempuh</b>	<b>Total Jarak Tempuh (km)</b>
1	A, K, F, C, M, L, J, I, D, E, H, B, G, A	82,4
2	A, B, K, C, F, D, E, H, J, I, L, M, G, A	81,7
3	A, B, K, C, F, D, E, H, J, I, L, M, G, A	81,7
4	A, B, K, C, F, D, E, H, J, I, L, M, G, A	81,7
5	A, B, K, C, F, D, E, H, J, I, L, M, G, A	81,7
6	A, B, K, C, F, D, E, H, J, I, L, M, G, A	81,7
7	A, B, K, C, F, D, E, H, J, I, L, M, G, A	81,7
8	A, B, C, K, F, D, E, H, I, J, L, M, G, A	80,9
9	A, F, K, C, M, L, J, I, H, E, D, B, G, A	78,4
10	A, F, K, C, M, L, J, I, H, E, D, B, G, A	78,4
11	A, F, K, C, M, L, J, I, H, E, D, B, G, A	78,4
12	A, B, G, K, C, M, L, J, I, H, E, D, F, A	75,4
13	A, B, G, K, C, M, L, J, I, H, E, D, F, A	75,4

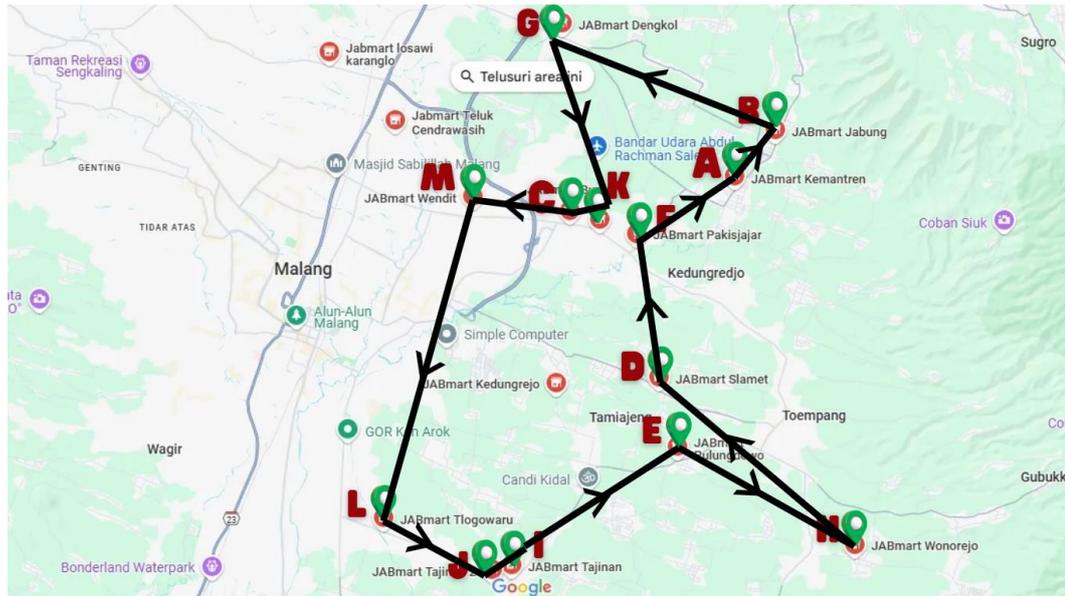


Tabel 4.9 merupakan hasil perhitungan menggunakan bantuan program *python* dengan nilai  $\rho = 0,6$

**Tabel 4.9** Rute dan Jarak Tempuh dengan Nilai  $\rho = 0,6$

Iterasi	Rute yang Ditempuh	Total Jarak Tempuh (km)
1	A, B, G, C, K, F, M, D, E, I, J, L, H, A	89,2
2	A, F, C, K, M, D, I, J, L, E, H, B, G, A	86,9
3	A, F, K, C, M, I, J, L, H, E, D, B, G, A	85,4
4	A, F, K, C, D, E, H, I, J, L, M, B, G, A	83,5
5	A, F, K, C, M, D, E, H, J, I, L, G, B, A	79,9
6	A, B, G, K, C, M, L, J, I, E, H, D, F, A	76,8
7	A, B, G, K, C, M, L, J, I, E, H, D, F, A	76,8
8	A, B, G, K, C, M, L, J, I, E, H, D, F, A	76,8
9	A, B, G, K, C, M, L, J, I, E, H, D, F, A	76,8
10	A, B, G, K, C, M, L, J, I, E, H, D, F, A	76,8
11	A, B, G, K, C, M, L, J, I, E, H, D, F, A	76,8
12	A, B, G, K, C, M, L, J, I, E, H, D, F, A	76,8
13	A, B, G, K, C, M, L, J, I, E, H, D, F, A	76,8

Gambar 4.7 menunjukkan pola distribusi susu JabMilk berdasarkan hasil algoritma ACO dengan parameter  $\rho$  sebesar 0,6 dengan jarak minimum 76,8 km. Data peta diambil dari *Google Maps* dan ditambahkan jalur panah untuk menunjukkan urutan pengiriman ke lokasi Jabmart. Pada nilai  $\rho = 0,6$ , penguapan feromon terjadi lebih cepat, mendorong semut untuk lebih aktif mengeksplorasi jalur-jalur baru. Hasil optimasi cenderung lebih bervariasi, dan rute distribusi mungkin menunjukkan perubahan signifikan dari iterasi sebelumnya. Ini menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai  $\rho$ , semakin besar kecenderungan algoritma untuk menghindari jebakan solusi lokal.



Gambar 4.7 Rute Terpendek dengan Nilai  $\rho = 0,6$

Tabel 4.10 merupakan hasil perhitungan menggunakan bantuan program *python* dengan nilai  $\rho = 0,7$

Tabel 4.10 Rute dan Jarak Tempuh dengan Nilai  $\rho = 0,7$

Iterasi	Rute yang Ditempuh	Total Jarak Tempuh (km)
1	A, B, K, F, C, L, J, I, D, E, H, M, G, A	90,1
2	A, B, G, M, K, F, C, L, I, J, D, E, H, A	83,0
3	A, B, G, M, K, F, C, L, I, J, D, E, H, A	83,0
4	A, B, G, M, C, K, F, D, E, L, J, I, H, A	79,7
5	A, B, G, F, K, C, M, L, J, I, D, E, H, A	79,3
6	A, D, E, H, I, J, L, M, C, K, F, B, G, A	78,5
7	A, B, G, K, C, M, L, J, I, H, E, D, F, A	75,4
8	A, B, G, K, C, M, L, J, I, H, E, D, F, A	75,4
9	A, B, G, K, C, M, L, J, I, H, E, D, F, A	75,4
10	A, B, G, K, C, M, L, J, I, H, E, D, F, A	75,4
11	A, B, G, K, C, M, L, J, I, H, E, D, F, A	75,4
12	A, B, G, K, C, M, L, J, I, H, E, D, F, A	75,4
13	A, B, G, K, C, M, L, J, I, H, E, D, F, A	75,4

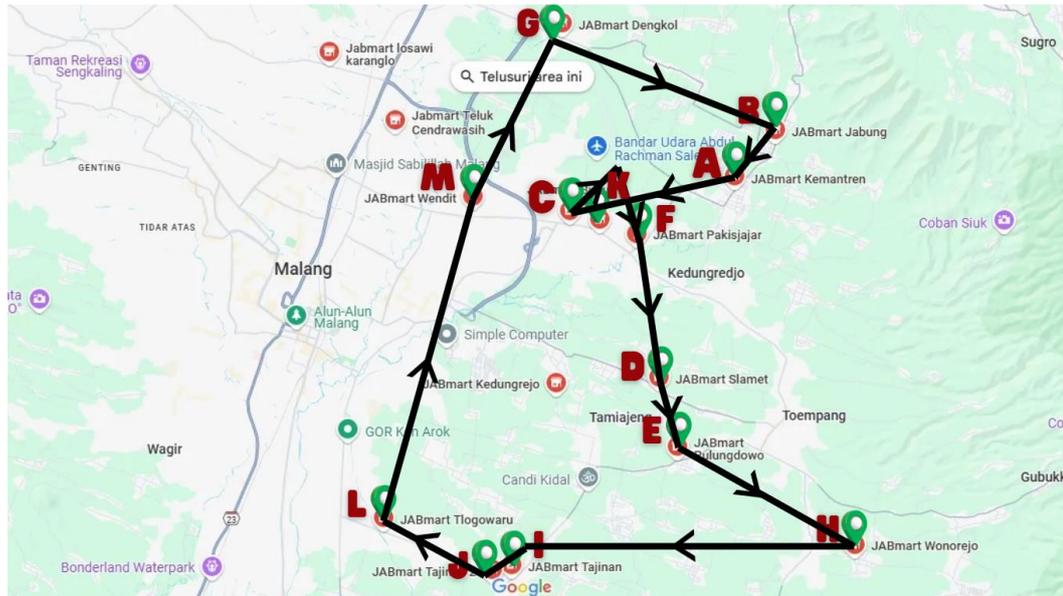


Berikut hasil perhitungan menggunakan bantuan program *python* dengan nilai  $\rho = 0,8$

**Tabel 4.11** Rute dan Jarak Tempuh dengan Nilai  $\rho = 0,8$

Iterasi	Rute yang Ditempuh	Total Jarak Tempuh (km)
1	A, B, F, K, C, M, L, I, J, H, D, E, G, A	87,6
2	A, B, F, K, C, M, L, I, J, H, E, D, G, A	81,9
3	A, C, K, F, D, E, H, I, J, L, M, G, B, A	77,9
4	A, C, K, F, D, E, H, I, J, L, M, G, B, A	77,9
5	A, C, K, F, D, E, H, I, J, L, M, G, B, A	77,9
6	A, C, K, F, D, E, H, I, J, L, M, G, B, A	77,9
7	A, C, K, F, D, E, H, I, J, L, M, G, B, A	77,9
8	A, C, K, F, D, E, H, I, J, L, M, G, B, A	77,9
9	A, C, K, F, D, E, H, I, J, L, M, G, B, A	77,9
10	A, C, K, F, D, E, H, I, J, L, M, G, B, A	77,9
11	A, C, K, F, D, E, H, I, J, L, M, G, B, A	77,9
12	A, C, K, F, D, E, H, I, J, L, M, G, B, A	77,9
13	A, C, K, F, D, E, H, I, J, L, M, G, B, A	77,9

Gambar 4.9 memperlihatkan hasil pencarian rute optimal distribusi susu JabMilk menggunakan ACO dengan nilai  $\rho = 0,8$  dengan jarak minimum 77,9 km. Sumber peta berasal dari *Google Maps*, dan rute ditunjukkan dengan panah penghubung antar lokasi Jabmart. Dengan penguapan feromon sebesar 0,8, informasi jalur sebelumnya cepat hilang, sehingga semut-semut cenderung menjelajah secara agresif. Hal ini membuat pola distribusi menjadi lebih dinamis dan tidak stabil, tetapi dapat membantu menemukan solusi yang mungkin tidak terlihat pada nilai  $\rho$  yang lebih rendah.



Gambar 4.9 Rute Terpendek dengan Nilai  $\rho = 0,8$

Tabel 4.12 merupakan hasil perhitungan menggunakan bantuan program *python* dengan nilai  $\rho = 0,9$

Tabel 4.12 Rute dan Jarak Tempuh dengan Nilai  $\rho = 0,9$

Iterasi	Rute yang Ditempuh	Total Jarak Tempuh (km)
1	A, B, F, K, C, M, G, L, J, I, D, E, H, A	87,2
2	A, B, F, K, C, M, L, J, I, E, D, H, G, A	83,6
3	A, D, E, H, I, J, L, M, C, K, F, B, G, A	78,5
4	A, D, E, H, I, J, L, M, C, K, F, B, G, A	78,5
5	A, D, E, H, I, J, L, M, C, K, F, B, G, A	78,5
6	A, D, E, H, I, J, L, M, C, K, F, B, G, A	78,5
7	A, D, E, H, I, J, L, M, C, K, F, B, G, A	78,5
8	A, D, E, H, I, J, L, M, C, K, F, B, G, A	78,5
9	A, D, E, H, I, J, L, M, C, K, F, B, G, A	78,5
10	A, D, E, H, I, J, L, M, C, K, F, B, G, A	78,5
11	A, D, E, H, I, J, L, M, C, K, F, B, G, A	78,5
12	A, D, E, H, I, J, L, M, C, K, F, B, G, A	78,5
13	A, D, E, H, I, J, L, M, C, K, F, B, G, A	78,5

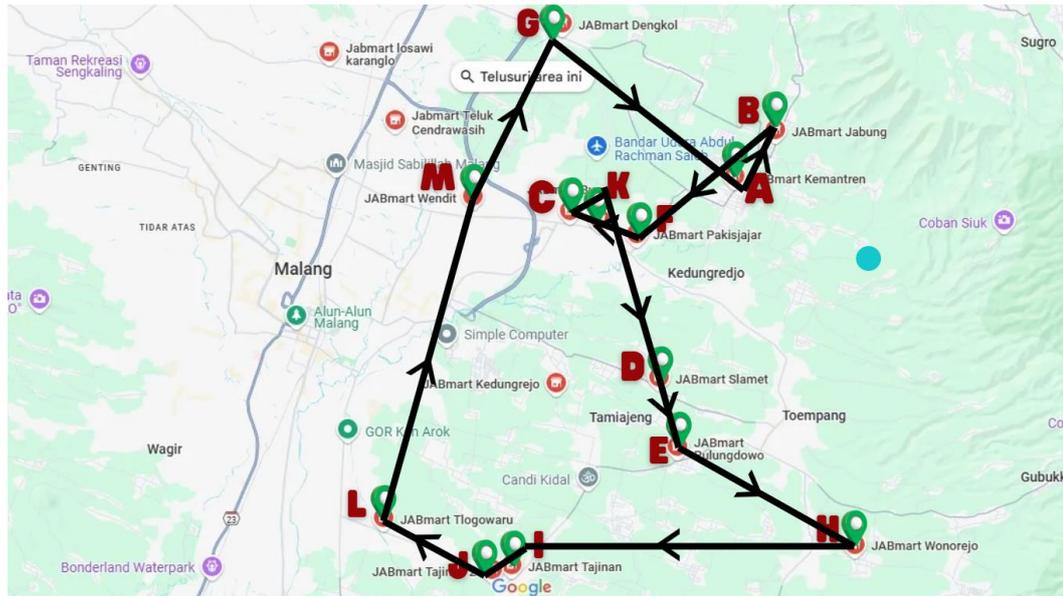


Tabel 4.13 merupakan hasil perhitungan menggunakan bantuan program *python* dengan nilai  $\rho = 1$

**Tabel 4.13** Rute dan Jarak Tempuh dengan Nilai  $\rho = 1$

Iterasi	Rute yang Ditempuh	Total Jarak Tempuh (km)
1	A, B, F, C, K, D, E, H, I, J, L, M, G, A	80,2
2	A, B, F, C, K, D, E, H, I, J, L, M, G, A	80,2
3	A, B, F, C, K, D, E, H, I, J, L, M, G, A	80,2
4	A, B, F, C, K, D, E, H, I, J, L, M, G, A	80,2
5	A, B, F, C, K, D, E, H, I, J, L, M, G, A	80,2
6	A, B, F, C, K, D, E, H, I, J, L, M, G, A	80,2
7	A, B, F, C, K, D, E, H, I, J, L, M, G, A	80,2
8	A, B, F, C, K, D, E, H, I, J, L, M, G, A	80,2
9	A, B, F, C, K, D, E, H, I, J, L, M, G, A	80,2
10	A, B, F, C, K, D, E, H, I, J, L, M, G, A	80,2
11	A, B, F, C, K, D, E, H, I, J, L, M, G, A	80,2
12	A, B, F, C, K, D, E, H, I, J, L, M, G, A	80,2
13	A, B, F, C, K, D, E, H, I, J, L, M, G, A	80,2

Gambar 4.11 memperlihatkan hasil akhir distribusi susu JabMilk dengan menggunakan algoritma ACO pada parameter penguapan feromon maksimum ( $\rho = 1,0$ ) dengan jarak minimum 80,2 km. Peta berasal dari *Google Maps* dan telah diberi visualisasi arah rute distribusi. Pada nilai  $\rho = 1,0$ , semua feromon pada setiap iterasi langsung menguap sepenuhnya. Hal ini membuat algoritma tidak mempertahankan ingatan jalur terbaik sebelumnya, sehingga seluruh proses pencarian solusi bergantung sepenuhnya pada eksplorasi acak. Rute yang dihasilkan bisa sangat bervariasi dan tidak stabil, namun tetap berguna untuk membandingkan efektivitas nilai  $\rho$  lainnya yang lebih rendah.



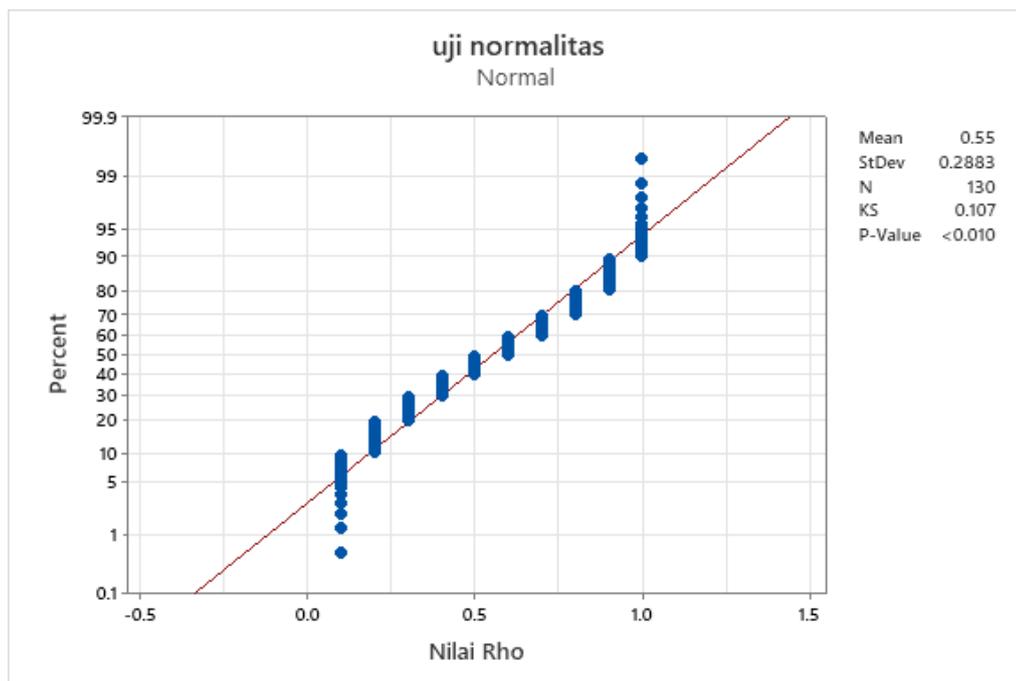
Gambar 4.11 Rute Terpendek dengan Nilai  $\rho = 1$

#### 4.5 Analisis Korelasi

Analisis korelasi dilakukan untuk mengetahui sejauh mana hubungan antara nilai  $\rho$  (tingkat penguapan feromon) terhadap jarak tempuh yang dihasilkan dalam proses pencarian jalur optimal menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO). Nilai  $\rho$  merupakan parameter penting dalam algoritma ACO yang berperan dalam mengatur kecepatan penguapan feromon, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi perilaku semut dalam memilih jalur.

Dengan melakukan analisis korelasi, dapat diketahui apakah terdapat hubungan yang signifikan antara nilai  $\rho$  yang digunakan dengan hasil jarak tempuh yang diperoleh. Jika terdapat hubungan yang kuat, maka nilai  $\rho$  dapat dipertimbangkan sebagai faktor utama dalam pengoptimalan jalur. Namun, sebelum dilakukan uji korelasi, terlebih dahulu dilakukan uji normalitas terhadap data untuk menentukan metode korelasi yang sesuai.

Hasil uji normalitas dari data nilai  $\rho$  dapat dilihat pada gambar 4.1.



**Gambar 4.12** Uji Normalitas Nilai  $\rho$

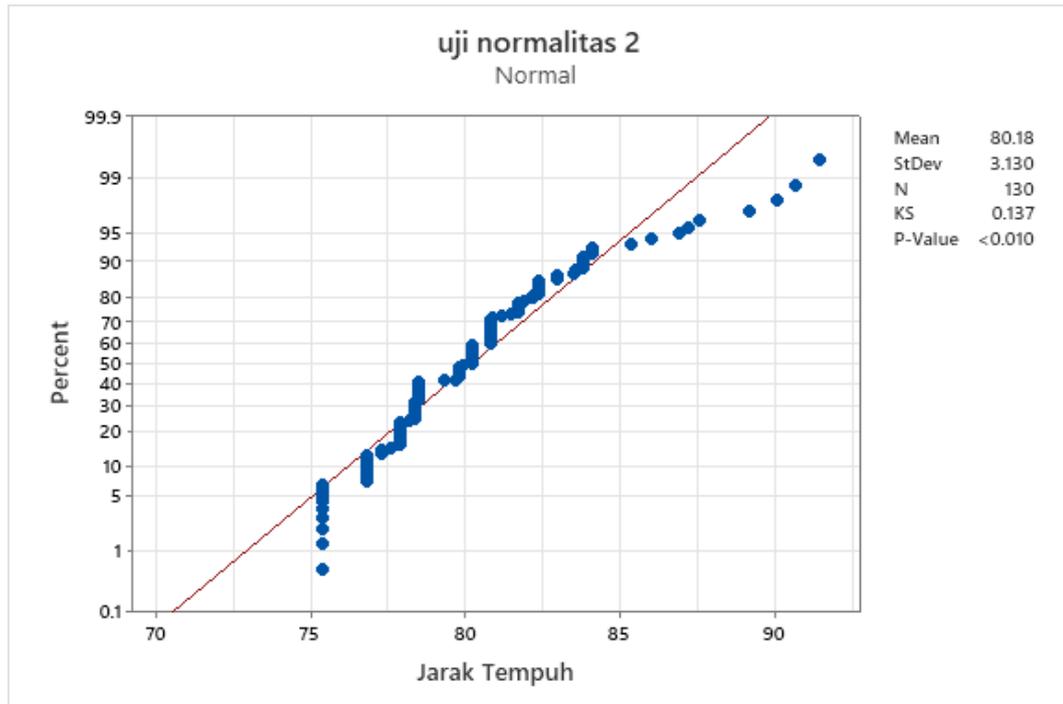
1. Jika p-value  $< 0,05$ , maka data tidak berdistribusi normal.
2. Jika p-value  $\geq 0,05$ , maka data berdistribusi normal.

Karena p-value  $< 0,010$ , maka dapat disimpulkan bahwa data tidak berdistribusi normal secara statistik pada taraf signifikansi 5%.

Gambar 4.13 merupakan hasil uji normalitas dari data nilai jarak tempuh:

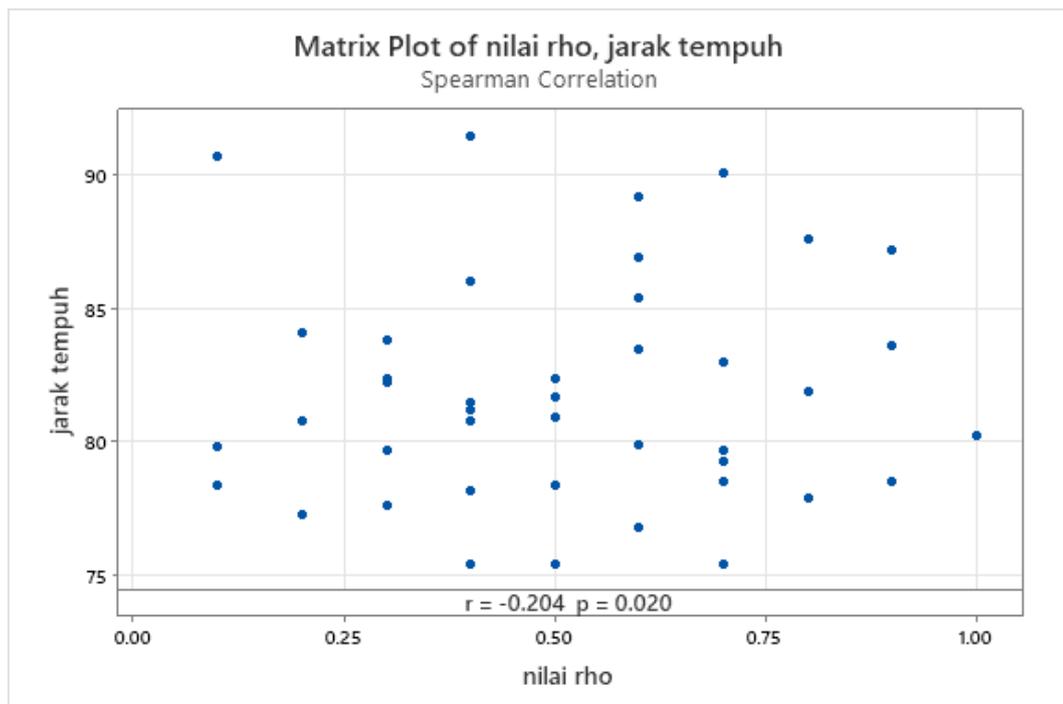
Karena p-value  $< 0010$ , maka data tidak berdistribusi normal secara statistik pada taraf signifikansi 5%. Titik-titik yang cukup banyak menyimpang dari garis lurus mendukung hasil bahwa distribusi data berbeda dari distribusi normal.

Hasil uji normalitas menunjukkan bahwa data tidak berdistribusi normal, sehingga metode korelasi yang digunakan adalah korelasi *Spearman* yang bersifat non-parametrik dan tidak mensyaratkan asumsi distribusi normal. Korelasi *Spearman* digunakan untuk mengukur keeratan hubungan antara dua variabel, dalam hal ini antara nilai  $\rho$  dan jarak tempuh.



**Gambar 4.13** Uji Normalitas Nilai Jarak Tempuh

Hasil dari uji korelasi *Spearman* seperti pada gambar :



**Gambar 4.14** Uji Korelasi *Spearman*

Nilai korelasi ( $r$ ) = -0,204 dimana ini menunjukkan bahwa terdapat korelasi negatif

lemah antara nilai  $\rho$  dan jarak tempuh.

#### 4.6 Relevansi Topik dengan Al-Qur'an dan Hadist

Penerapan algoritma semut (ACO) sebagai metode pencarian jalur optimal memiliki makna yang selaras dengan prinsip-prinsip Islam, khususnya dalam hal ketekunan, kerja sama, dan upaya pencarian jalan terbaik oleh semut. Allah SWT berfirman dalam surah Al-An'am ayat 38 yang berbunyi:

وَمَا مِنْ دَابَّةٍ فِي الْأَرْضِ وَلَا طَائِرٍ يَطِيرُ بِجَنَاحَيْهِ إِلَّا أُمَمٌ أَمْثَلُكُمْ مَا فَرَّطْنَا فِي الْكِتَابِ مِنْ شَيْءٍ ثُمَّ إِلَىٰ رَبِّهِمْ يُحْشَرُونَ ﴿٣٨﴾

Artinya:

*“Tidak ada seekor hewan pun (yang berada) di bumi dan burung-burung yang terbang dengan kedua sayapnya, melainkan semuanya merupakan umat (juga) seperti kamu. Tidak ada sesuatu pun yang Kami luputkan di dalam kitab, kemudian kepada Tuhannya mereka dikumpulkan.”* (Q.S Al-An'am [7]: 38)

Seperti halnya semut yang bekerja sama dalam mencari makanan dan membentuk jalur terbaik menuju sumber tersebut, hasil yang diperoleh bukanlah hasil dari kerja individu semata, melainkan buah dari kerja sama kolektif yang saling mendukung. Kepadatan jalur yang terbentuk dalam algoritma ACO mencerminkan akumulasi kontribusi setiap semut yang saling memperkuat jejak feromon satu sama lain. Hal ini menunjukkan bahwa kerja sama dan sinergi dapat menghasilkan solusi yang optimal dan efisien.

Menurut Al Mahalli & As Suyuti (2003) Ayat ini menunjukkan bahwa menyatakan bahwa Allah SWT menguasai segala sesuatu, ilmu-Nya melingkupi seluruh makhluk yang ada, Dialah yang mengatur alam semesta. Semua yang melata di permukaan bumi, semua yang terbang di udara, semua yang hidup di lautan, dari yang terkecil sampai yang terbesar, dari yang nampak sampai yang tersembunyi, hanya Dialah yang menciptakan, mengembangkan, mengatur dan

memeliharanya. Makhhluk Allah SWT yang hidup di dunia ini tidak hanya terbatas pada jenis manusia, tetapi masih terdapat banyak macam dan ragam makhhluk-makhhluk lain. Bahkan masih banyak yang belum diketahui oleh manusia. Semuanya itu tunduk dan menghambakan diri kepada Allah SWT, mengikuti perintah-perintah-Nya dan menghentikan larangan-larangan-Nya.

Dan tidak satupun makhhluk bergerak yang bernyawa di bumi melainkan semuanya dijamin Allah SWT rezekinya. Dia mengetahui tempat kediamannya dan tempat penyimpanannya. Semua (tertulis) dalam Kitab yang nyata (Lauh Maḥfuz). Perilaku hewan, termasuk semut, merupakan tanda kekuasaan Allah SWT dan dapat dijadikan pelajaran bagi manusia. Semut dikenal sebagai makhhluk yang bekerja sama dan bersungguh-sungguh dalam mencari makanan dan membangun koloni. Hal ini mencerminkan proses dalam algoritma semut yang mengandalkan kerja kolektif dan pembelajaran dari jejak feromon.

Sejalan dengan itu, Al-Qur'an juga memberikan bimbingan langsung kepada manusia agar meneladani nilai kerja sama tersebut dalam kehidupan sehari-hari, Allah SWT berfirman dalam surah Al-Maidah ayat 2 yang berbunyi:

وَتَعَاوَنُوا عَلَى الْبِرِّ وَالتَّقْوَىٰ وَلَا تَعَاوَنُوا عَلَى الْإِثْمِ وَالْعُدْوَانِ وَاتَّقُوا اللَّهَ إِنَّ اللَّهَ شَدِيدُ الْعِقَابِ ﴿٢﴾

Artinya:

*“Tolong-menolonglah kamu dalam (mengerjakan) kebajikan dan takwa, dan jangan tolong-menolong dalam berbuat dosa dan permusuhan. Bertakwalah kepada Allah, sesungguhnya Allah sangat berat siksaan-Nya”*(Q.S Al-Maidah [6]:2)

Ayat ini menegaskan bahwa kerja sama merupakan perintah Allah SWT, dengan catatan bahwa kerja sama tersebut dilakukan dalam kebaikan dan takwa. Dalam konteks algoritma ACO, kerja sama yang dilakukan semut untuk mencari solusi terbaik menjadi analogi nyata bahwa kolaborasi yang terarah dapat

menghasilkan hasil optimal, dan semestinya juga diterapkan dalam kehidupan manusia termasuk dalam pengembangan ilmu dan teknologi.

Menurut Al Mahalli & As Suyuti (2003) Dan tolong-menolonglah kamu dalam mengerjakan kebajikan, melakukan yang diperintahkan Allah SWT, dan takwa, takut kepada larangannya, dan jangan tolong-menolong dalam berbuat dosa, melakukan maksiat dan permusuhan, sebab yang demikian itu melanggar hukum-hukum Allah. Bertakwalah kepada Allah SWT, takut kepada Allah SWT dengan melakukan perintah-Nya dan meninggalkan larangan-Nya, karena sungguh Allah SWT sangat berat siksaan-Nya kepada orang-orang yang tidak taat kepada-Nya.

Semut yang bekerja secara kolektif untuk mencapai tujuan bersama menjadi representasi nyata dari sistem kehidupan yang Allah ciptakan sebagai pelajaran bagi manusia. Oleh karena itu, pemanfaatan algoritma ACO tidak hanya relevan dalam ilmu komputasi dan matematika, tetapi juga mencerminkan nilai-nilai islami yang luhur, yaitu kerja sama, saling mendukung, dan sinergi untuk mencapai kebaikan bersama.

Dalam Islam, kerja sama dan tolong-menolong adalah nilai utama dalam membangun kehidupan yang harmonis. Sikap ini juga relevan dalam dunia ilmu pengetahuan, di mana kolaborasi menghasilkan solusi yang lebih baik. Nilai tersebut ditegaskan dalam sabda Rasulullah SAW berikut:

كُرِبَ الدُّنْيَا عَنْ أَبِي هُرَيْرَةَ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُ عَنِ النَّبِيِّ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ قَالَ مَنْ نَفَسَ عَنْ مُؤْمِنٍ كُرْبَةً مِنْ نَفْسِ اللَّهِ عَنْهُ كُرْبَةٌ مِنْ كُرْبِ يَوْمِ الْقِيَامَةِ، وَمَنْ يَسَّرَ عَلَى مُعْسِرٍ، يَسِّرَ اللَّهُ عَلَيْهِ فِي الدُّنْيَا وَالْآخِرَةِ، وَمَنْ سَتَرَ مُسْلِمًا، سَتَرَهُ اللَّهُ فِي الدُّنْيَا وَالْآخِرَةِ، وَاللَّهُ فِي عَوْنِ الْعَبْدِ مَا كَانَ الْعَبْدُ فِي عَوْنِ أَخِيهِ. (رواه مسلم)

Artinya:

*“Dari Abu Hurairah radhiyallahu ‘anhu, Rasulullah SAW bersabda: "Barang siapa yang melepaskan satu kesusahan dari seorang mukmin di dunia, maka Allah akan melepaskan darinya satu kesusahan dari kesusahan-kesusahan di hari kiamat. Dan barang siapa yang memudahkan orang yang sedang kesulitan, maka Allah akan*

*memudahkannya di dunia dan akhirat. Dan barang siapa yang menutupi (aib) seorang Muslim, maka Allah akan menutupi (aibnya) di dunia dan akhirat. Dan Allah senantiasa menolong seorang hamba selama hamba itu menolong saudaranya.”( HR. Muslim No. 2699)*

Hadist ini menjadi dasar kuat dalam ajaran Islam mengenai pentingnya tolong-menolong dan solidaritas sosial. Rasulullah SAW menjelaskan bahwa siapa pun yang meringankan beban orang lain, akan diberi balasan oleh Allah SWT dengan kemudahan yang lebih besar, baik di dunia maupun di akhirat. Nilai-nilai ini mencerminkan etika kerja sama dalam Islam yang tidak hanya berorientasi pada hasil, tetapi juga pada keikhlasan dalam memberi manfaat kepada sesama.

Dalam konteks penelitian ini, prinsip yang diuraikan dalam hadist tersebut selaras dengan konsep kerja sama dalam algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO). Penerapan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dalam menyelesaikan masalah rute terpendek pada graf. Algoritma ini meniru perilaku koloni semut dalam mencari jalur terpendek menuju sumber makanan. Meskipun setiap semut bekerja secara individu, mereka saling terhubung melalui jejak feromon yang ditinggalkan, sehingga koloni secara kolektif mampu menemukan solusi optimal. Oleh karena itu, nilai-nilai Islam tidak hanya menjadi fondasi moral, tetapi juga dapat menjadi inspirasi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, termasuk dalam bidang komputasi dan optimasi.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa parameter nilai  $\rho$ , yang merepresentasikan tingkat penguapan feromon dalam algoritma *Ant Colony Optimization*, memiliki pengaruh terhadap hasil jarak tempuh yang dihasilkan. Dari hasil uji korelasi Spearman, diperoleh nilai koefisien korelasi sebesar -0,208 dengan interval kepercayaan 95% yaitu (-0,369, -0,036). Nilai tersebut menunjukkan adanya hubungan negatif yang lemah antara nilai  $\rho$  dan jarak tempuh, di mana peningkatan nilai  $\rho$  cenderung menghasilkan jarak tempuh yang lebih pendek. Meskipun demikian, hubungan yang terbentuk tidak terlalu kuat.

Selain itu, hasil uji normalitas menunjukkan bahwa data tidak berdistribusi normal, sehingga pendekatan analisis non-parametrik dipilih sebagai metode yang paling tepat. Hasil analisis korelasi menunjukkan bahwa nilai  $\rho$  berpengaruh terhadap jarak tempuh yang dihasilkan oleh algoritma ACO, namun hubungan tersebut tergolong lemah (rendah). Dengan kata lain, perubahan nilai  $\rho$  cenderung mempengaruhi jarak tempuh, tetapi pengaruhnya tidak dominan.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, peneliti selanjutnya disarankan untuk mengkaji lebih dalam pengaruh parameter-parameter lain dalam algoritma *Ant Colony Optimization*, seperti jumlah semut, jumlah iterasi, atau nilai

alfa dan beta. Dengan demikian, dapat diperoleh pemahaman yang lebih menyeluruh mengenai faktor-faktor yang memengaruhi performa algoritma dalam mencari jalur terpendek.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al Mahalli, J., & As Suyuti, J. (2003). *Tafsir Jalalain*.
- Altman, M. (2020). A more scientific approach to applied economics: Reconstructing statistical, analytical significance, and correlation analysis. *Economic Analysis and Policy*, 66, 315–324. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2020.05.006>
- Amir, I. (2018). *Al-Adad*.
- Arthalia Wulandari, I., & Sukmasetyan, P. (2022). Implementasi Algoritma Dijkstra untuk Menentukan Rute Terpendek Menuju Pelayanan Kesehatan. *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi (JISI)*, 1(1), 30–37. <https://doi.org/10.24127/jisi.v1i1.1953>
- Az-Zuhaili, W. (2013). *Tafsir al-Munir: Akidah, Syariah & Manhaj* (1st ed.). Gema Insani.
- Bakar, A., & Usmiati, S. (2009). Teknologi Pengolahan Susu. In *Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian* (Vol. 04, Issue 2). <http://blog.ub.ac.id/penyuluhanfapetkelas/files/2014/05/pengolahan-susu.pdf>
- Buhaerah, Busrah, Z., & Sanjaya, H. (2019). Teori Graf dan Aplikasinya. In *Living Spiritual Quotient*.
- Chartrand, G., & Zhang, P. (2006). *Introduction to Graph Theory*. New York: McGraw Hill.
- Devita, R. N., & Wibawa, A. P. (2020). Sains, Aplikasi, Komputasi dan Teknologi Informasi Teknik-teknik optimasi knapsack problem. *Sains, Aplikasi, Komputasi Dan Teknologi Informasi Vol 2, No 1, April 2020, Pp. 35-40*, 2(1), 35.
- Dorigo, M., & Stützle, T. (2004). *Ant Colony Optimization*. MIT Press.
- Hadist riwayat Muslim no. 2246
- Hadist riwayat Al-Bukhori no. 6412
- Hadist Riwayat Muslim no. 2699
- Harna, & Irawan, A. M. A. (2019). Manfaat Susu untuk Kesehatan. In *Eduvation* (pp. 1–45).
- Hasad, A. (2011). Algoritma optimasi dan aplikasinya. *Sekolah Pascasarjana IPB*, 1–30.
- Hermansyah, B., Sains, F., Teknologi, D. A. N., Islam, U., Sultan, N., & Kasim, S.

- (2011). *Penyelesaian Vehicle Routing Problem (VRP) Menggunakan Algoritma Genetika*.
- Karjono, K. (Karjono), Budiyanto, U. (Utomo), & Luhur, M.-. (Moedjiono). (2016). Aplikasi Penjadwalan Crew Ship Menggunakan Ant Colony Optimization: Studi Kasus PT Scorpa Pranedya. *Jurnal TICOM*, 5(1), 94072. <https://www.neliti.com/publications/94072/>
- Kementrian Agama Republik Indonesia. (2022). *Qur'an Kemenag*. Lajnah Pentashihan mushaf Al-Qur'an.
- Latief, K. A. (2013). Analisis Koefisien Korelasi Rank Spearman. *Analisis Koefisien Korelasi Rank Spearman*, 1–27. <https://repository.ar-raniry.ac.id/id/eprint/480/1/09-Korelasi-Rank-Spearman.pdf>
- Maryati, I., & Wibowo, H. K. (2012). Optimasi penentuan rute kendaraan pada sistem distribusi barang dengan ant colony optimization 1. 2012(Semantik), 163–168.
- Maulana, G. G. (2017). Pembelajaran Dasar Algoritma Dan Pemrograman Menggunakan El-Goritma Berbasis Web. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 8. <https://doi.org/10.22441/jtm.v6i2.1183>
- Munir, R. (2005). *Matematika Diskrit*.
- Najiyah, A. (2015). *Kitab Riqoq Shahih Bukhari*.
- Nasich, D. H. (2021). *Pengadilan Agama Soreang*. <https://pa-soreang.go.id/jangan-terjebak-oleh-rutinitas-yang-membuat-kita-lalai-pesan-dr-h-nasich-salam-dalam-khutbahnya-22-01-21/>
- Novia, C. (2017). *Analisis Hubungan Tingkat Ekonomi Keluarga, Kualitas Pendidikan, Tingkat Kesehatan Dengan Tingkat Kesejahteraan Keluarga Pemulung Kota Depok*. 1–142.
- Nugroho, G. A., Lamaida, A. S., & Ahsana, Y. (2006). Analisis Algoritma Pencarian Rute Terpendek Dengan Algoritma Dijkstra dan Bellman - Ford. *Teknik Informatika ITB*.
- Rahayuningsih, S. (2018). Teori Graph dan Penerapannya. *Program Studi Pendidikan Matematika IKIP Budi Utomo Malang*, 1–151. <https://sriahayuningsih82.wordpress.com/wp-content/uploads/2019/02/buku-ajar-teori-graph.pdf>
- Risqiyanti, V., & Rizkia, A. D. (2020). Pencarian Rute Terpendek Menggunakan Algoritma Ant Colony Optimization Pada Gui Matlab Guna Memantau Sustainable Development Goals. *Seminar Nasional Official Statistics, 2019(1)*, 31–38. <https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2019i1.193>
- Saleh, K., Helmi, & Prihandono, B. (2015). Penentuan Rute Terpendek Dengan

Menggunakan Algoritma Cheapest Insertion Heuristic (Studi Kasus: PT. Wicaksana Overseas International Tbk. Cabang Pontianak). *Buletin Ilmiah Math. Stat. Dan Terapannya (Bimaster)*, 04(3), 295–304. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jbmstr/article/view/11888/11091>

Saputro, R. A. T., Kasanah, Y. U., Marddani, O. R., & Niami, K. (2024). Optimasi Rute Distribusi Unggas Berbasis Network Analysis-GIS Menggunakan Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Window Pickup and Delivery. *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, 10(1), 51–60. <https://doi.org/10.30656/intech.v10i1.7712>

Silalahi, B. P., Fathiah, N., & Supriyo, P. T. (2019). Use of Ant Colony Optimization Algorithm for Determining Traveling Salesman Problem Routes. *Jurnal Matematika "MANTIK,"* 5(2), 100–111. <https://doi.org/10.15642/mantik.2019.5.2.100-111>

Sinabutar, A. J. (2020). *Penerapan Algoritma Floyd Warshall untuk Menentukan Rute Pick-up dalam Layanan Same Day Delivery*. 13519218. <https://www.shopback.co.id/katashopback/tips->

Stephen, Boyd, Lieven, & Vandenberghe. (2013). *Convex Optimization*.

Syahr, L., Khoswara, M., H, H. S. A., & Suseno, S. (2023). Pencarian Rute Optimal Distribusi Melalui Pendekatan Metode Ant Colony Optimization (ACO). *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan*, 2(2), 63–71. <https://doi.org/10.55826/tmit.v2i2.105>

Tahlili, T. (2003). *NU Online*.

## LAMPIRAN

**Lampiran 1 Nilai Visibilitas**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
A	0	0.555556	0.153846	0.107527	0.076923	0.238095	0.1	0.071429	0.05	0.05	0.178571	0.047619	0.103093
B	0.555556	0	0.120482	0.090909	0.071429	0.166667	0.113636	0.0625	0.047619	0.047619	0.135135	0.045455	0.090909
C	0.153846	0.120482	0	0.121951	0.071429	0.434783	0.058824	0.058824	0.058824	0.055556	1	0.071429	0.322581
D	0.107527	0.090909	0.121951	0	0.357143	0.153846	0.052632	0.105263	0.120482	0.111111	0.140845	0.076923	0.1
E	0.076923	0.071429	0.071429	0.357143	0	0.107527	0.045455	0.147059	0.149254	0.135135	0.090909	0.090909	0.076923
F	0.238095	0.166667	0.434783	0.153846	0.107527	0	0.071429	0.076923	0.066667	0.0625	0.769231	0.0625	0.185185
G	0.1	0.113636	0.058824	0.052632	0.045455	0.071429	0	0.041667	0.037037	0.037037	0.090909	0.043478	0.076923
H	0.071429	0.0625	0.058824	0.105263	0.147059	0.076923	0.041667	0	0.083333	0.083333	0.071429	0.0625	0.055556
I	0.05	0.047619	0.058824	0.120482	0.149254	0.066667	0.037037	0.083333	0	1.428571	0.066667	0.227273	0.0625
J	0.05	0.047619	0.055556	0.111111	0.135135	0.0625	0.037037	0.083333	1.428571	0	0.0625	0.27027	0.0625
K	0.178571	0.135135	1	0.140845	0.090909	0.769231	0.090909	0.071429	0.066667	0.0625	0	0.066667	0.243902
L	0.047619	0.045455	0.071429	0.076923	0.090909	0.0625	0.043478	0.0625	0.227273	0.27027	0.066667	0	0.076923
M	0.103093	0.090909	0.322581	0.1	0.076923	0.185185	0.076923	0.055556	0.0625	0.0625	0.243902	0.076923	0

## Lampiran 2 Program Mencari Rute Terpendek Algoritma ACO

```

import numpy as np
import random # Untuk pemilihan acak berdasarkan probabilitas

# Daftar nama simpul (nodes) sesuai indeks pada matriks jarak
nodes = ['A', 'B', 'C', 'D', 'E', 'F', 'G', 'H', 'I', 'J', 'K', 'L', 'M']

# Matriks jarak antar simpul (graph berbobot)
dist = np.array([
    [0, 1.8, 6.5, 9.3, 13, 4.2, 10, 14, 20, 20, 5.6, 21, 9.7],
    [1.8, 0, 8.3, 11, 14, 6, 8.8, 16, 21, 21, 7.4, 22, 11],
    [6.5, 8.3, 0, 8.2, 14, 2.3, 17, 17, 17, 18, 1, 14, 3.1],
    [9.3, 11, 8.2, 0, 2.8, 6.5, 19, 9.5, 8.3, 9, 7.1, 13, 10],
    [13, 14, 14, 2.8, 0, 9.3, 22, 6.8, 6.7, 7.4, 11, 11, 13],
    [4.2, 6, 2.3, 6.5, 9.3, 0, 14, 13, 15, 16, 1.3, 16, 5.4],
    [10, 8.8, 17, 19, 22, 14, 0, 24, 27, 27, 11, 23, 13],
    [14, 16, 17, 9.5, 6.8, 13, 24, 0, 12, 12, 14, 16, 18],
    [20, 21, 17, 8.3, 6.7, 15, 27, 12, 0, 0.7, 15, 4.4, 16],
    [20, 21, 18, 9, 7.4, 16, 27, 12, 0.7, 0, 16, 3.7, 16],
    [5.6, 7.4, 1, 7.1, 11, 1.3, 11, 14, 15, 16, 0, 15, 4.1],
    [21, 22, 14, 13, 11, 16, 23, 16, 4.4, 3.7, 15, 0, 13],
    [9.7, 11, 3.1, 10, 13, 5.4, 13, 18, 16, 16, 4.1, 13, 0]
])

# Parameter ACO
num_ants = 13           # Jumlah semut
num_iterations = 13     # Jumlah iterasi
evaporation_rate = 0.8 # Laju penguapan feromon
alpha = 1               # Pengaruh feromon
beta = 2                # Pengaruh jarak
Q = 1                   # Konstanta untuk memperkuat jalur terbaik

# Inisialisasi feromon awal
pheromone = np.ones(dist.shape)

# Fungsi probabilitas pemilihan simpul berikutnya
def calculate_probabilities(pheromone_row, dist_row, visited, alpha, beta):
    prob = []
    for i in range(len(dist_row)):
        if i in visited or dist_row[i] == 0:
            prob.append(0)
        else:
            prob.append((pheromone_row[i] ** alpha) * ((1.0 / dist_row[i]) ** beta))
    prob_sum = sum(prob)
    if prob_sum == 0:
        valid_indices = [i for i in range(len(dist_row)) if i not in visited and dist_row[i] != 0]
        prob = [1 if i in valid_indices else 0 for i in range(len(dist_row))]
        prob_sum = sum(prob)
    return [p / prob_sum for p in prob]

# Inisialisasi solusi terbaik
best_path = None
best_path_length = float('inf')
best_iteration = -1

# Iterasi utama ACO
for iteration in range(num_iterations):
    all_paths = []
    all_lengths = []

    for ant in range(num_ants):
        path = [0] # Mulai dari simpul A

```

```

length = 0

while len(path) < len(dist):
    current = path[-1]
    probabilities = calculate_probabilities(pheromone[current], dist[current], path, alpha, beta)
    next_node = random.choices(range(len(dist)), probabilities)[0]
    path.append(next_node)
    length += dist[current][next_node]

length += dist[path[-1]][path[0]] # Kembali ke simpul awal
all_paths.append(path)
all_lengths.append(length)

if length < best_path_length:
    best_path = path
    best_path_length = length
    best_iteration = iteration + 1 # Iterasi ke-n (mulai dari 1)

# Penguapan feromon
pheromone *= (1 - evaporation_rate)

# Penambahan feromon
for j in range(len(best_path)):
    from_node = best_path[j]
    to_node = best_path[(j + 1) % len(best_path)]
    pheromone[from_node][to_node] += Q / best_path_length
    pheromone[to_node][from_node] += Q / best_path_length

# Cetak hasil iterasi
named_path = [nodes[i] for i in best_path]

print(f"Iterasi {iteration + 1}: Panjang rute terbaik saat ini = {round(best_path_length, 2)}")
print("Rute:", " -> ".join(named_path) + f" -> {named_path[0]}\n")

# Cetak hasil akhir
named_best_path = [nodes[i] for i in best_path]
print("=== HASIL AKHIR ===")
print("Rute terpendek:", " -> ".join(named_best_path) + f" -> {named_best_path[0]}")
print("Panjang rute terpendek:", round(best_path_length, 2))
print("Ditemukan pada iterasi ke-", best_iteration)

```

## RIWAYAT HIDUP



Emilia Fitriana, yang akrab disapa Emil, lahir di Malang pada tanggal 28 Januari 2003. Penulis merupakan anak kedua dari lima bersaudara, putri dari pasangan Bapak Ahmad Musyaffa' dan Ibu Nur Aini. Riwayat pendidikan penulis dimulai dari Taman Kanak-Kanak Imamussalam dan lulus pada tahun 2009. Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan dasar di SDN Karangsono 02 dan menyelesaikannya pada tahun ajaran 2014–2015. Pendidikan tingkat menengah pertama ditempuh di MTs Al-Khoirot Putri dan diselesaikan pada tahun ajaran 2017–2018. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan di jenjang menengah atas di MA Al-Khoirot Putri dan lulus pada tahun ajaran 2020–2021.

Selama menjalani pendidikan, penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi. Penulis pernah menjadi anggota Himpunan Mahasiswa Program Studi (HMPS) pada Divisi Penalaran dan Keagamaan tahun 2022-2023. Selain itu, sejak tahun 2023 hingga saat ini, penulis dipercaya sebagai pengurus Divisi Keamanan di Pondok Pesantren Tahfidzul Qur'an (PPTQ) Ulin Nuha. Dengan bekal pengalaman akademik dan organisasi tersebut, penulis berkomitmen untuk terus belajar, berkembang, dan memberikan kontribusi positif di berbagai bidang yang digeluti.



**BUKTI KONSULTASI SKRIPSI**

Nama : Emilia Fitriana  
NIM : 210601110036  
Fakultas / Jurusan : Sains dan Teknologi / Matematika  
Judul Skripsi : Implementasi Algoritma Ant Colony Optimization dengan Analisis Penguapan Feromon untuk Mengoptimalkan Rute Distribusi Susu Jabmilk di Kabupaten Malang  
Pembimbing I : Mohammad Nafie Jauhari, M.Si.  
Pembimbing II : Erna Herawati, M.Pd.

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	25 Oktober 2024	Konsultasi Topik dan Data	1.
2.	1 November 2024	Konsultasi Bab I, II, dan III	2.
3.	25 November 2024	Konsultasi Bab I, II, dan III	3.
4.	5 Desember 2024	Konsultasi Bab I, II, dan III	4.
5.	10 Desember 2024	Konsultasi Bab I, II, dan III	5.
6.	18 Desember 2024	ACC Bab I, II, dan III	6.
7.	8 Januari 2025	Konsultasi Kajian Agama Bab I dan II	7.
8.	20 Januari 2025	ACC Kajian Agama Bab I dan II	8.
9.	24 Januari 2025	ACC Seminar Proposal	9.
10.	20 Maret 2025	Konsultasi Revisi Seminar Proposal	10.
11.	24 Maret 2025	Konsultasi Bab IV dan V	11.
12.	10 April 2025	Konsultasi Bab IV dan V	12.
13.	15 April 2025	Konsultasi Bab IV dan V	13.
14.	23 April 2025	Konsultasi Bab IV dan V	14.



KEMENTERIAN AGAMA RI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI  
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
Jl. Gajayana No.50 Dinoyo Malang Telp. / Fax. (0341)558933

15.	25 April 2025	ACC Bab IV dan V	15.
16.	2 Mei 2015	Konsultasi Kajian Agama Bab IV	16.
17.	5 Mei 2025	ACC Kajian Agama Bab IV	17.
18.	8 Mei 2025	ACC Seminar Hasil	18.
19.	9 Mei 2025	ACC Seminar Hasil lanjutan	19.
20.	23 Mei 2025	Konsultasi Revisi Seminar Hasil	20.
21.	26 Mei 2025	ACC Sidang Skripsi	21.
22.	12 Juni 2025	ACC Keseluruhan	22.

Malang, 12 Juni 2025

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Matematika

Dr. Elly Susanti, M.Sc.  
NIP. 19741129 200012 2 005