

PENERAPAN ALGORITMA *ANT COLONY OPTIMIZATION* (ACO) RUTE TERPENDEK STUDI KASUS DISTRIBUSI MINYAK GORENG TOKO CAHAYA BERKAH

Melani Putri Haidi ^{1, a)} Pardi Affandi ^{2, b)}

^{1,2,3} Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lambung Mangkurat

^{a)} 2211011120002@mhs.ulm.ac.id

^{b)} p_affandi@ulm.ac.id

Abstrak. Distribusi minyak goreng merupakan salah satu layanan logistik penting yang membutuhkan rute pengiriman optimal untuk meningkatkan efisiensi waktu dan menekan biaya operasional. Penelitian ini menggunakan Algoritma Ant Colony Optimization (ACO) untuk mengoptimalkan rute distribusi minyak goreng dari Toko Cahaya Berkah ke beberapa lokasi tujuan. Data jarak antar lokasi diperoleh melalui Google Maps dan dianalisis menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis ACO. Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) meniru perilaku koloni semut dalam mencari jalur terpendek melalui mekanisme *pheromone*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma ini mampu menemukan rute distribusi terbaik dengan panjang rute 52,14 km, yang merupakan rute terpendek di antara rute yang dievaluasi. Penguapan *pheromone* membantu eksplorasi solusi yang lebih luas, sehingga menghindari konvergensi pada solusi lokal yang kurang optimal. Penelitian ini membuktikan bahwa ACO merupakan metode yang efektif untuk mengoptimalkan rute distribusi. Dengan asumsi kondisi jalan yang normal dan tanpa hambatan eksternal, algoritma ini berhasil menghemat waktu dan biaya perjalanan secara signifikan. Hasil ini relevan dalam konteks logistik, khususnya untuk meningkatkan efisiensi pengiriman minyak goreng.

Kata Kunci: Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO), Optimisasi, Rute Terpendek

1. Pendahuluan

Masalah optimasi termasuk hal penting dalam sebuah industri. Selain itu masalah transportasi [1] juga banyak membahas tentang pendistribusian barang [2], salah satunya adalah distribusi minyak goreng. Distribusi minyak goreng dari produsen ke pelanggan, yang dilakukan melalui toko atau agen distribusi, merupakan salah satu layanan penting dalam memenuhi kebutuhan masyarakat. Proses ini melibatkan pengangkutan minyak goreng dari satu lokasi ke lokasi lainnya dengan mempertimbangkan efisiensi waktu dan jarak tempuh. Ketepatan waktu pengiriman dan jarak yang dilalui oleh pengirim menjadi indikator utama keberhasilan distribusi. Salah satu tantangan utama dalam distribusi ini adalah menentukan urutan pengiriman ke alamat-alamat yang ada, sehingga pengirim dapat memilih rute terpendek yang memungkinkan penyelesaian tugas dengan lebih cepat, efisien, dan hemat biaya. Dalam konteks ini, *Algoritma Ant Colony Optimization* (ACO) menjadi salah satu pendekatan yang efektif untuk menyelesaikan permasalahan rute distribusi [3]. Algoritma ini dirancang untuk menyelesaikan berbagai masalah graf menggunakan pendekatan berbasis multi-agen. Inspirasi utama ACO berasal dari perilaku koloni semut, khususnya dalam pencarian makanan. Semut tidak bertindak secara individu, tetapi sebagai bagian dari koloninya. Salah satu kemampuan unik semut adalah menemukan rute optimal antara sarang dan sumber makanan, yang menjadi dasar dari algoritma ini

Ketika semut bergerak menuju atau kembali dari sumber makanan, mereka meninggalkan jejak berupa zat kimia yang disebut *pheromone*. Semut lain dapat mendeteksi jejak ini dan lebih cenderung memilih jalur dengan konsentrasi *pheromone* yang lebih tinggi. Jejak ini berfungsi sebagai panduan untuk kembali ke sarang atau ke sumber makanan. Namun, *pheromone* ini secara bertahap menguap seiring waktu, membuat jalur yang kurang sering dilalui menjadi kurang menarik. Sebaliknya, jalur yang lebih pendek akan menarik lebih banyak semut karena konsentrasi *pheromone*-nya yang lebih cepat meningkat. Penguapan *pheromone* ini memiliki manfaat penting, yaitu mencegah semut hanya terfokus pada solusi awal yang mungkin kurang optimal. Dengan penguapan, jalur lain tetap dapat dieksplorasi untuk menemukan alternatif yang lebih efisien. Jika tidak ada penguapan, jalur pertama yang ditemukan akan menjadi terlalu menarik, membatasi eksplorasi solusi lain. ACO meniru perilaku ini dengan menggunakan "semut buatan" yang menjelajahi graf untuk mencari rute terbaik. Dengan meniru perilaku ini, ACO mampu membantu pengiriman minyak goreng menemukan rute terpendek dan paling efisien. Hal ini memungkinkan penghematan waktu, peningkatan kecepatan distribusi, dan pengurangan biaya perjalanan, menjadikan distribusi minyak goreng lebih efektif dan ekonomis. Selain Algoritma *Ant Colony Optimization* juga dapat menggunakan Algoritma Genetika [4], penyelesaian Metode Pivot dalam masalah optimasi [5]. dan *Firefly Algorithm* (FA) metode metaheuristik untuk pemecahan persoalan optimasi yang ditemukan oleh Yang Xin-She pada tahun 2008 dengan inspirasi dari pergerakan kunang-kunang [6].

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO)

Ant Colony Optimization (ACO) merupakan algoritma yang diperkenalkan oleh Marco Dorigo pada tahun 1996, yang terinspirasi dari perilaku koloni semut dalam mencari jalur terpendek menuju sumber makanan. Setiap semut meninggalkan jejak *pheromone* di jalur yang mereka lalui, dan semut-semut lain lebih cenderung mengikuti jalur dengan jejak *pheromone* yang lebih kuat. Dalam konteks optimisasi rute, semut virtual digunakan untuk mengeksplorasi berbagai jalur di dalam jaringan jalan dan memilih jalur optimal berdasarkan jejak *pheromone* yang diperkuat oleh pergerakan semut lain[7].

2.2 Pencarian Jalur Terpendek

Pencarian jalur terpendek Secara umum penyelesaian masalah pencarian jalur terpendek dapat dilakukan menggunakan dengan dua metode, yaitu metode algoritma konvensional dan metode heuristik. Metode algoritma konvensional diterapkan dengan cara perhitungan matematis seperti biasa, sedangkan metode heuristik diterapkan dengan perhitungan kecerdasan buatan dengan menentukan basis pengetahuan dan perhitungannya[8].

- a. Metode konvensional berupa algoritma yang menggunakan perhitungan matematis biasa. Ada beberapa metode konvensional yang biasa digunakan untuk melakukan pencarian jalur terpendek, diantaranya Dijkstra, FloydWarshall, dan algoritma Bellman-Ford[9].
- b. Metode heuristik adalah sub bidang dari kecerdasan buatan yang digunakan untuk melakukan pencarian dan penentuan jalur terpendek. Ada beberapa algoritma pada metode heuristik yang biasa digunakan dalam pencarian jalur terpendek. Salah satunya adalah algoritma semut.

2.2 Optimisasi

Optimisasi ialah suatu proses untuk mencapai hasil yang ideal atau optimal (nilai efektif yang dapat dicapai). Dalam disiplin matematika optimisasi merujuk pada studi permasalahan yang mencoba untuk mencari nilai minimal atau maksimal dari suatu fungsi riil. Menurut Suprodjo dan Purwandi (1982) dalam Tarmizi (2005), bahwa secara matematis optimasi adalah cara mendapatkan harga ekstrim baik maksimum atau minimum dari suatu fungsi tertentu dengan faktor-faktor pembatasnya(ekonomi manajerial). Optimasi secara umum adalah untuk memaksimalkan atau mengoptimalkan sesuatu hal yang bertujuan untuk mengelola sesuatu yang dikerjakan, sehingga optimasi bisa dikatakan kata benda yang berasal dari kata kerja, dan optimasi bisa dianggap baik sebagai ilmu pengetahuan dan seni menurut tujuan yang ingin dimaksimalkan [10].

3. Metode

3.1 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan memanfaatkan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) untuk menentukan rute distribusi terpendek. Data jarak antar lokasi diperoleh melalui alat pemetaan seperti Google Maps dan dianalisis menggunakan model matematis berbasis ACO. Dalam pelaksanaannya, penelitian ini tidak memperhitungkan faktor eksternal yang dapat memengaruhi kondisi jalan, seperti kepadatan lalu lintas, kerusakan infrastruktur, atau hambatan lainnya. Seluruh jalur diasumsikan berada dalam kondisi normal tanpa kendala, sehingga analisis dapat difokuskan pada optimasi jarak tempuh semata. Pendekatan ini bertujuan untuk meminimalkan jarak tempuh total dalam proses distribusi minyak goreng dari Toko Cahaya Berkah ke beberapa lokasi di Ampah dan Buntok.

3.2 Data Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh dari google maps dan wawancara bersama pemilik toko Cahaya Berkah.

Tabel 1. Data Penelitian

Nama Toko	Lokasi	Jarak dari Titik Pusat (km)
Endang	Ampah	51
H. Unui	Ampah	50,3
Kencana	Ampah	50
Amat	Buntok	0,5
Rifa Rafi	Buntok	1
Rizky Aulia	Buntok	0,14

3.3 Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO)

Langkah-langkah implementasi ACO sebagai berikut :

1. Inisialisasi Parameter

- a. **Intensitas *pheromone* awal (τ_{ij})**

Set nilai awal yang sama untuk semua jalur, biasanya $\tau_{ij} = 1$.

- b. **Visibilitas (η_{ij})**

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

dengan d_{ij} adalah jarak antara lokasi i dan j .

- c. **Parameter Kontrol**

- α : Pengaruh intensitas *pheromone*.
- β : Pengaruh visibilitas.
- ρ : Tingkat penguapan *pheromone*.

- d. **Jumlah semut (k):** Ditentukan sesuai jumlah lokasi yang ada.

2. Proses Iterasi

- a. **Penempatan Awal Semut:** Setiap semut ditempatkan secara acak di salah satu lokasi awal.
 - b. **Pemilihan Rute:** Setiap semut k memilih jalur (i, j) berdasarkan probabilitas

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - \text{tabu}_k\}} [\tau_{ik'}]^\alpha \cdot [\eta_{ik'}]^\beta}, & \text{untuk } j \in \{N - \text{tabu}_k\} \\ 0, & \text{untuk } j \text{ lainnya} \end{cases}$$

- P_{ij}^k : Probabilitas semut k memilih jalur (i, j)
- τ_{ij} : Intensitas *pheromone* pada jalur (i, j) .
- η_{ij} : Visibilitas jalur (i, j) .
- Tabu List : Lokasi yang sudah dikunjungi oleh semut k , sehingga tidak dipertimbangkan lagi dalam pilihan rute.

3. Pembaruan *Pheromone*

Setelah semua semut menyelesaikan perjalanannya, intensitas *pheromone* pada setiap jalur diperbarui:

$$\tau_{ij} = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \sum_k \Delta \tau_{ij}^k$$

di mana:

- $(1 - \rho) \cdot \tau_{ij}$: Bagian *pheromone* yang tersisa setelah penguapan.
- $\Delta \tau_{ij}^k$: Kontribusi *pheromone* dari semut kkk, dihitung sebagai:

$$\Delta \tau_{ij}^k = \frac{Q}{L_k}$$

- Q : Konstanta.
- L_k : Total jarak tempuh semut k .

4. Evaluasi Rute Terbaik

Setelah *pheromone* diperbarui, evaluasi dilakukan untuk menentukan rute terbaik berdasarkan jarak tempuh terpendek.

5. Pengulangan

Proses iterasi ini diulang hingga mencapai jumlah iterasi maksimum atau rute konvergen.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Inisialisasi Parameter-parameter Algoritma

Tabel 2. Parameter Algoritma

Parameter	Nilai
α	1
β	1
ρ	0,1
k	6

Penginisialisasian tempat antara lain:

- v_1 : Toko Endang
- v_2 : Toko H. Unui
- v_3 : Toko Kencana
- v_4 : Toko Amat
- v_5 : Toko Rifa Rafi
- v_6 : Toko Rizky Aulia

4.2 Representasi Data

Penelitian ini menggunakan data jarak antar lokasi dalam bentuk matriks jarak. Setiap lokasi dianggap sebagai simpul (node) dalam graf, dengan nilai jarak sebagai bobot antar simpul.

Tabel 3. Matriks Jarak

Titik	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6
v_1	0	0,7	1	50,5	51	51,14
v_2	0,7	0	0,3	50,3	50,8	50,94
v_3	1	0,3	0	50	50,5	50,64
v_4	50,5	50,3	50	0	0,5	0,14
v_5	51	50,8	50,5	0,5	0	0,86
v_6	51,14	50,94	50,64	0,14	0,86	0

4.3 Perhitungan Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO)

Memilih titik awal yaitu titik v_1 , hingga memilih langkah selanjutnya yang memiliki jarak yang terpendek maka didapatkan hasil $v_1 \rightarrow v_2 \rightarrow v_3 \rightarrow v_4 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6$ diperoleh jarak minimal

$$C_{greedy} = 0,7 + 0,3 + 50 + 0,5 + 0,86 + 51,14 = 103,5$$

Nilai untuk phoromone awal adalah

$$\tau_0 = \frac{6}{103,5} \approx 0,058$$

Selanjutnya menghitung nilai visibilitas,

$$\eta_{i,j} = \frac{1}{d_{i,j}}$$

$$\eta_{1,2} = \frac{1}{d_{1,2}} = \frac{1}{0,7} \approx 1,43$$

$$\eta_{1,3} = \frac{1}{d_{1,3}} = \frac{1}{1} = 1$$

$$\eta_{1,4} = \frac{1}{d_{1,4}} = \frac{1}{50,5} \approx 0,02$$

$$\eta_{1,5} = \frac{1}{d_{1,5}} = \frac{1}{51} \approx 0,02$$

$$\eta_{1,6} = \frac{1}{d_{1,6}} = \frac{1}{51,14} \approx 0,02$$

Tabel 4. Nilai Visibilitas

Titik	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6
v_1	0	1,43	1	0,02	0,02	0,02
v_2	1,43	0	3,33	0,02	0,02	0,02
v_3	1	3,33	0	0,02	0,02	0,02

v_4	0,02	0,02	0,02	0	2	7,14
v_5	0,02	0,02	0,02	2	0	1,16
v_6	0,02	0,02	0,02	7,14	1,16	0

Lalu menghitung probabilitas pemilihan rute yang mungkin untuk setiap semut berdasarkan visibilitas dan intensitas *pheromone* awal

$$\begin{aligned}
 P_{12} &= \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in N - \text{tabu}_k} [\tau_{ik'}]^\alpha \cdot [\eta_{ik'}]^\beta} \\
 &= \frac{[0,058]^1 \cdot [1,43]^1}{(0,058 \cdot 1,43) + (0,058 \cdot 1) + (0,058 \cdot 0,02) + (0,058 \cdot 0,02) + (0,058 \cdot 0,02)} \\
 &= \frac{0,08294}{0,1442} \\
 &\approx 0,574
 \end{aligned}$$

$$P_{13} = \frac{0,058 \cdot 1}{0,1442} \approx 0,402$$

$$P_{14} = \frac{0,058 \cdot 0,02}{0,1442} \approx 0,008$$

$$P_{15} = \frac{0,058 \cdot 0,02}{0,1442} \approx 0,008$$

$$P_{16} = \frac{0,058 \cdot 0,02}{0,1442} \approx 0,008$$

Dilakukan perhitungan serupa hingga diperoleh probabilitas rute semut yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5. Rute Pertama Semut

Semut	Titik Awal	Probabilitas						Titik Terpilih	Tabu List
		v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6		
k_1	v_1	0	0,574	0,402	0,008	0,008	0,008	v_2	$v_1 \rightarrow v_2$
k_2	v_2	0,178	0	0,355	0,103	0,186	0,103	v_3	$v_2 \rightarrow v_3$
k_3	v_3	0,187	0,324	0	0,170	0,170	0,132	v_2	$v_3 \rightarrow v_2$
k_4	v_4	0,243	0,155	0,179	0	0,262	0,162	v_5	$v_4 \rightarrow v_5$
k_5	v_5	0,156	0,179	0,156	0,289	0	0,198	v_4	$v_5 \rightarrow v_4$
k_6	v_6	0,156	0,136	0,191	0,246	0,271	0	v_5	$v_6 \rightarrow v_5$

Tabel 6. Rute Kedua Semut

Semut	Titik Awal	Probabilitas						Titik Terpilih	Tabu List
		v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6		
k_1	v_2	0	0	0,335	0,103	0,186	0,103	v_3	$v_1 \rightarrow v_2 \rightarrow v_3$
k_2	v_3	0,187	0	0	0,170	0,170	0,132	v_4	$v_2 \rightarrow v_3 \rightarrow v_4$
k_3	v_2	0,178	0	0	0,103	0,186	0,103	v_5	$v_3 \rightarrow v_2 \rightarrow v_5$
k_4	v_5	0,156	0,179	0,156	0	0	0,198	v_6	$v_4 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6$
k_5	v_4	0,243	0,155	0,179	0	0	0,162	v_1	$v_5 \rightarrow v_4 \rightarrow v_1$
k_6	v_5	0,156	0,136	0,191	0,246	0	0	v_4	$v_6 \rightarrow v_5 \rightarrow v_4$

Tabel 7. Rute Ketiga Semut

Semut	Titik Awal	Probabilitas						Titik Terpilih	Tabu List
		v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6		
k_1	v_3	0	0	0	0,170	0,170	0,132	v_4	$v_1 \rightarrow v_2 \rightarrow v_3 \rightarrow v_4$
k_2	v_4	0,243	0	0	0	0,262	0,162	v_5	$v_2 \rightarrow v_3 \rightarrow v_4 \rightarrow v_5$
k_3	v_5	0,156	0	0	0,289	0	0,198	v_6	$v_3 \rightarrow v_2 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6$
k_4	v_6	0,156	0,136	0,191	0	0	0	v_1	$v_4 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6 \rightarrow v_1$
k_5	v_1	0	0,574	0,402	0	0	0,008	v_2	$v_5 \rightarrow v_4 \rightarrow v_1 \rightarrow v_2$
k_6	v_4	0,243	0,155	0,179	0	0	0	v_3	$v_6 \rightarrow v_5 \rightarrow v_4 \rightarrow v_3$

Tabel 8. Rute Keempat Semut

Semut	Titik Awal	Probabilitas						Titik Terpilih	Tabu List
		v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6		
k_1	v_4	0	0	0	0	0,262	0,162	v_5	$v_1 \rightarrow v_2 \rightarrow v_3 \rightarrow v_4 \rightarrow v_5$
k_2	v_5	0,156	0	0	0	0	0,198	v_6	$v_2 \rightarrow v_3 \rightarrow v_4 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6$
k_3	v_6	0,156	0	0	0,246	0	0	v_1	$v_3 \rightarrow v_2 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6 \rightarrow v_1$
k_4	v_1	0	0,574	0,402	0	0	0	v_2	$v_4 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6 \rightarrow v_1 \rightarrow v_2$
k_5	v_2	0	0	0,335	0	0	0,103	v_3	$v_5 \rightarrow v_4 \rightarrow v_1 \rightarrow v_2 \rightarrow v_3$
k_6	v_3	0,187	0,324	0	0	0	0	v_2	$v_6 \rightarrow v_5 \rightarrow v_4 \rightarrow v_3 \rightarrow v_2$

Tabel 9. Rute Kelima Semut

Semut	Titik Awal	Probabilitas						Tabu List
		v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	
k_1	v_5	0	0	0	0	0	1	$v_1 \rightarrow v_2 \rightarrow v_3 \rightarrow v_4 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6$
k_2	v_6	1	0	0	0	0	0	$v_2 \rightarrow v_3 \rightarrow v_4 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6 \rightarrow v_1$
k_3	v_1	0	0	0	1	0	0	$v_3 \rightarrow v_2 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6 \rightarrow v_1 \rightarrow v_4$
k_4	v_2	0	0	1	0	0	0	$v_4 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6 \rightarrow v_1 \rightarrow v_2 \rightarrow v_3$
k_5	v_3	0	0	0	0	0	1	$v_5 \rightarrow v_4 \rightarrow v_1 \rightarrow v_2 \rightarrow v_3 \rightarrow v_6$
k_6	v_2	1	0	0	0	0	0	$v_6 \rightarrow v_5 \rightarrow v_4 \rightarrow v_3 \rightarrow v_2 \rightarrow v_1$

Kemudian dilakukan Perhitungan *pheromone* baru,

$$\Delta\tau_{ij}^k = \frac{Q}{L_k}$$

$$Q = 100$$

Tabel 10. Rute Perjalanan Semut dan Penambahan *Pheromone* Baru

Semut	Tabu List	Panjang (L_k)	$\Delta\tau_{ij}^k$
k_1	$v_1 \rightarrow v_2 \rightarrow v_3 \rightarrow v_4 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6 \rightarrow v_1$	52,36	1,91
k_2	$v_2 \rightarrow v_3 \rightarrow v_4 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6 \rightarrow v_1 \rightarrow v_2$	52,14	1,92
k_3	$v_3 \rightarrow v_2 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6 \rightarrow v_1 \rightarrow v_4 \rightarrow v_3$	52,50	1,90
k_4	$v_4 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6 \rightarrow v_1 \rightarrow v_2 \rightarrow v_3 \rightarrow v_4$	52,28	1,91
k_5	$v_5 \rightarrow v_4 \rightarrow v_1 \rightarrow v_2 \rightarrow v_3 \rightarrow v_6 \rightarrow v_5$	52,60	1,90
k_6	$v_6 \rightarrow v_5 \rightarrow v_4 \rightarrow v_3 \rightarrow v_2 \rightarrow v_1 \rightarrow v_6$	52,48	1,91

Berdasarkan Tabel 10 diperoleh rute terbaik yaitu rute yang dilalui oleh semut k_3 dengan panjang rute 52,14 km dengan rute $v_2 \rightarrow v_3 \rightarrow v_4 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6 \rightarrow v_1 \rightarrow v_2$.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, penerapan Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) terbukti efektif dalam mengoptimalkan rute distribusi minyak goreng dari Toko Cahaya Berkah. Dengan menggunakan pendekatan matematis dan data jarak antar lokasi yang diperoleh dari Google Maps, ACO mampu menentukan rute dengan jarak tempuh terpendek. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma berhasil menemukan rute terbaik dengan panjang rute 52,14 km dengan rute $v_2 \rightarrow v_3 \rightarrow v_4 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6 \rightarrow v_1 \rightarrow v_2$, yang merupakan rute terpendek di antara semua rute yang dievaluasi. Rute ini berhasil menghemat waktu dan biaya pengiriman dengan memanfaatkan mekanisme *pheromone* yang meniru perilaku semut dalam memilih jalur optimal. Selain itu, penguapan *pheromone* membantu algoritma mengeksplorasi berbagai alternatif solusi sehingga mencegah konvergensi ke solusi lokal yang tidak optimal.

5. Referensi

- [1] N. Iftitah, P. Affandi, and A. Yusuf, "Penyelesaian Model Transportasi Menggunakan Metode Asm," *J. Mat. Murni Dan Terap. Epsil.*, vol. 14, no. 1, p. 40, 2020, doi: 10.20527/epsilon.v14i1.2395.
- [2] P. Affandi, *Buku Ajar Riset Operasi*. 2019.
- [3] O. Soesanto, P. Affandi, and N. D. Astuti, "Algoritma Ant Colony Optimization pada Quadratic Assignment Problem," *Jambura J. Math.*, vol. 1, no. 2, pp. 104–110, 2019, doi: 10.34312/jjom.v1i2.2353.
- [4] T. A. Saputra, A. Yusuf, and P. Affandi, "Penyelesaian Optimal Multi Travelling Salesman Problem (M-Tsp) Menggunakan Algoritma Genetika (Pendistribusian Air Mineral Di Banjarmasin)," *Semin. Nas. Ilmu Komput.*, vol. 1, no. September, 2017.
- [5] P. Affandi, "Penerapan Program Linier Pada Permainan Non-Kooperatif," *J. Mat. Murni dan Terap.*, vol. 5, no. 2, pp. 1–12, 2019, [Online]. Available: <https://ppjp.ulm.ac.id/journals/index.php/epsilon/article/view/71%0Ahttps://ppjp.ulm.ac.id/journals/index.php/epsilon/article/download/71/43>
- [6] A. Evolutionary, D. Firefly, A. Dalam, P. Travelling, and S. Problem, "Nila Cahya , 2 Oni Soesanto , 3 Pardi Affandi," vol. 13, no. 1, pp. 46–55, 2019.
- [7] M. Dorigo and L. M. Gambardella, "Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 1, no. 1, pp. 53–66, 1997, doi: 10.1109/4235.585892.

- [8] D. Udjulawa and S. Oktarina, "Penerapan Algoritma Ant Colony Optimization Untuk Pencarian Rute Terpendek Lokasi Wisata," *Klik - J. Ilmu Komput.*, vol. 3, no. 1, pp. 26–33, 2022, doi: 10.56869/klik.v3i1.326.
- [9] D. Y. Fallo, "Pencarian Jalur Terpendek Menggunakan Algoritma Ant Colony Optimization," *J. Pendidik. Teknol. Inf.*, vol. 1, no. 1, pp. 28–32, 2018, doi: 10.37792/jukanti.v1i1.8.
- [10] M. Suprodjo and O. N. Linier, "Optimasi Non Linier," pp. 1–5, 2005.