
Academia Open



By Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Table Of Contents

Journal Cover	1
Author[s] Statement.....	3
Editorial Team	4
Article information	5
Check this article update (crossmark)	5
Check this article impact	5
Cite this article.....	5
Title page.....	6
Article Title	6
Author information	6
Abstract	6
Article content.....	7

Originality Statement

The author[s] declare that this article is their own work and to the best of their knowledge it contains no materials previously published or written by another person, or substantial proportions of material which have been accepted for the published of any other published materials, except where due acknowledgement is made in the article. Any contribution made to the research by others, with whom author[s] have work, is explicitly acknowledged in the article.

Conflict of Interest Statement

The author[s] declare that this article was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright Statement

Copyright © Author(s). This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) licence. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors. The full terms of this licence may be seen at <http://creativecommons.org/licences/by/4.0/legalcode>

Academia Open

Vol. 11 No. 1 (2026): June
DOI: 10.21070/acopen.11.2026.14050

EDITORIAL TEAM

Editor in Chief

Mochammad Tanzil Multazam, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Managing Editor

Bobur Sobirov, Samarkand Institute of Economics and Service, Uzbekistan

Editors

Fika Megawati, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Wiwit Wahyu Wijayanti, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Farkhod Abdurakhmonov, Silk Road International Tourism University, Uzbekistan

Dr. Hindarto, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Evi Rinata, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

M Faisal Amir, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Dr. Hana Catur Wahyuni, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

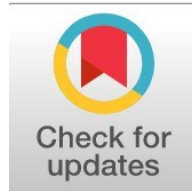
Complete list of editorial team ([link](#))

Complete list of indexing services for this journal ([link](#))

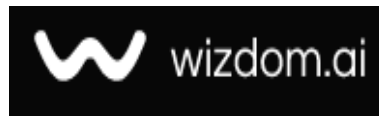
How to submit to this journal ([link](#))

Article information

Check this article update (crossmark)



Check this article impact (*)



Save this article to Mendeley



(*) Time for indexing process is various, depends on indexing database platform

Determination of Woven Bag Delivery Routes Using the Ant Colony Optimization Method: Penentuan Rute Pengiriman Kantong Tenun Menggunakan Metode Optimisasi Koloni Semut

Rossa Lina Astutik, 22032010072@student.upnjatim.ac.id (*)

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Indonesia

R. Rochmoeljati, rochmoeljati@gmail.com

Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Indonesia

(*) Corresponding author

Abstract

General Background Distribution efficiency is essential in logistics because route planning determines travel distance, transportation cost, vehicle utilization, and delivery performance. **Specific Background** A woven bag manufacturer still used experience-based manual route planning, resulting in inefficient shipment routes, high travel distance, multiple daily trips, and unnecessary distribution expenses. **Knowledge Gap** Previous route optimization studies have often used simplified simulations, while practical implementation of Ant Colony Optimization in real industrial woven bag distribution remains limited, particularly when distance, transport cost, and vehicle capacity are considered simultaneously. **Aims** This study determines optimal woven bag distribution routes using the Ant Colony Optimization method within a Vehicle Routing Problem framework. **Results** The analysis used agent locations, distance matrices, average daily demand, initial routes, vehicle capacity, and transportation cost data. The initial distribution condition required 288 km of total travel distance, 4 daily trips, and Rp3,912,000 in transportation cost. After optimization using Ant Colony Optimization, the route distance decreased to 234 km, the number of trips decreased to 3, and transportation cost decreased to Rp3,084,000. These results indicate a distance reduction of 54 km or 18.75% and cost savings of Rp828,000 or 21.17%. **Novelty** This study applies Ant Colony Optimization to real woven bag distribution by integrating distance, cost, demand, and vehicle capacity constraints. **Implications** The proposed routing model can support logistics decision-making, reduce operational expenditure, and improve distribution efficiency in manufacturing supply chains.

Highlights:

- Total travel length decreased by 54 km.
- Daily trips changed from four to three.
- Operational savings reached Rp828,000 or 21.17%.

Keywords: Distribution, Ant Colony Optimization, Optimization, Cost

Published date: 2026-06-19

Pendahuluan

Distribusi memiliki peran strategis dalam aktivitas logistik karena menentukan bagaimana produk dapat sampai ke pelanggan dengan efisiensi waktu dan biaya [1][2]. Ketidaktepatan dalam perencanaan rute pengiriman seringkali menyebabkan peningkatan jarak tempuh, penggunaan armada yang tidak optimal, serta pembengkakan biaya operasional yang berdampak pada menurunnya kinerja perusahaan [3][4][5]. Kondisi tersebut menjadikan optimasi rute distribusi sebagai aspek penting dalam pengelolaan sistem logistik yang efisien [6][7]. Dalam kajian optimasi, permasalahan rute distribusi umumnya direpresentasikan melalui model Traveling Salesman Problem (TSP) yang kemudian berkembang menjadi Vehicle Routing Problem (VRP) dengan mempertimbangkan berbagai kendala seperti kapasitas kendaraan dan jumlah armada [8][9]. Berbagai penelitian terdahulu telah mengusulkan pendekatan optimasi baik menggunakan metode eksak maupun heuristik [10][11]. Seiring meningkatnya kompleksitas permasalahan, pendekatan eksak menjadi kurang efisien sehingga banyak penelitian beralih ke metode heuristik dan metaheuristik. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan adalah Ant Colony Optimization (ACO), yang bekerja dengan meniru perilaku koloni semut dalam menemukan jalur terpendek. Metode ini dinilai mampu memberikan solusi yang mendekati optimal dalam waktu komputasi yang relatif lebih cepat, terutama pada permasalahan dengan skala besar dan kompleksitas tinggi pada rute distribusi [12][13][14]. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya masih terbatas pada simulasi atau studi kasus dengan asumsi yang disederhanakan [15][16]. Implementasi metode optimasi pada kondisi operasional nyata industri masih terbatas, termasuk pada distribusi produk manufaktur seperti woven bag, di mana penerapan ACO belum dilakukan secara komprehensif [17][18][19]. Oleh karena itu, penelitian ini mengimplementasikan metode ACO pada kondisi operasional nyata distribusi woven bag di PT XYZ dengan mempertimbangkan faktor jarak, biaya transportasi, serta kapasitas kendaraan secara simultan.

PT XYZ sebagai perusahaan manufaktur woven bag masih menerapkan penentuan rute distribusi secara manual berbasis pengalaman, sehingga berpotensi menghasilkan rute yang kurang efisien [20]. Hal tersebut berdampak pada tingginya biaya transportasi serta potensi keterlambatan dalam proses pengiriman. Dengan meningkatnya volume permintaan dan luasnya wilayah distribusi, diperlukan pendekatan optimasi yang mampu meningkatkan efisiensi secara terukur [6][21]. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini menerapkan metode Ant Colony Optimization (ACO) dalam penentuan rute distribusi dengan mempertimbangkan kondisi operasional nyata perusahaan [22]. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada penerapan ACO dalam konteks distribusi nyata dengan mempertimbangkan faktor jarak tempuh, biaya transportasi, serta kapasitas kendaraan dalam kerangka Vehicle Routing Problem (VRP) [23]. Oleh karena itu, fokus utama penelitian ini adalah menghasilkan rute distribusi yang lebih efisien sehingga dapat menekan biaya operasional dan meningkatkan kinerja distribusi pada PT XYZ.

Metode

Penelitian ini menggunakan metode pengumpulan data yang terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui wawancara dengan pihak terkait, seperti sopir, divisi *marketing*, dan admin gudang, guna memahami proses distribusi, rute pengiriman yang diterapkan, serta komponen biaya transportasi. Selain itu, observasi langsung dilakukan untuk mengamati proses pengiriman *woven bag* dan kondisi operasional distribusi perusahaan. Data sekunder diperoleh dari dokumen perusahaan yang meliputi data lokasi agen, matriks jarak antar agen, data permintaan, rute awal distribusi, serta biaya pengiriman.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode *Ant Colony Optimization* (ACO) untuk menentukan rute pengiriman optimal. Data yang digunakan mencakup matriks jarak antar agen, data permintaan, kapasitas kendaraan, serta biaya distribusi. Analisis dilakukan untuk meminimalkan total jarak tempuh dan biaya transportasi distribusi *woven bag* di wilayah Jawa Timur.

Penetapan parameter dalam algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) merupakan tahapan krusial karena berpengaruh langsung terhadap kualitas solusi yang dihasilkan. Pada penelitian ini, parameter α (*alpha*) yang mencerminkan intensitas pengaruh *pheromone* ditentukan bernilai 1, sementara parameter β (*beta*) yang merepresentasikan visibilitas atau informasi heuristik ditetapkan sebesar 2. Kombinasi nilai tersebut dipilih untuk mencapai keseimbangan antara proses eksploitasi berdasarkan jejak *pheromone* dan eksplorasi yang dipandu oleh jarak antar node. Selanjutnya, tingkat evaporasi *pheromone* (ρ) ditentukan sebesar 0,5 guna mencegah terjadinya konvergensi yang terlalu cepat sekaligus menjaga keberagaman alternatif solusi. Jumlah semut yang digunakan dalam setiap iterasi ditetapkan sebanyak 4, disesuaikan dengan jumlah rute awal distribusi yang ada, sedangkan jumlah iterasi maksimum ditentukan sebesar 100 untuk memastikan proses pencarian solusi berlangsung hingga mencapai kondisi konvergen. Selain itu, nilai konstanta Q sebesar 100 digunakan sebagai faktor penguat dalam proses pembaruan *pheromone*. Penentuan seluruh parameter tersebut mengacu pada referensi dalam literatur ACO serta disesuaikan dengan karakteristik permasalahan *Vehicle Routing Problem* (VRP) pada kondisi operasional nyata perusahaan.

Validasi model dilakukan sebagai langkah untuk memastikan bahwa hasil optimasi yang diperoleh melalui metode *Ant Colony Optimization* (ACO) memiliki tingkat keandalan, konsistensi, serta dapat diimplementasikan dalam kondisi operasional nyata. Proses validasi dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan awal secara manual dengan hasil optimasi yang diperoleh melalui bantuan perangkat lunak Matlab. Selain itu, rute hasil optimasi juga dianalisis dengan membandingkannya terhadap rute distribusi aktual perusahaan guna menilai peningkatan efisiensi yang dihasilkan. Adapun aspek yang menjadi kriteria evaluasi meliputi kesesuaian rute terhadap batasan kapasitas kendaraan, terpenuhinya kebutuhan permintaan pada setiap agen, serta kemampuan model dalam mengurangi total jarak tempuh dan biaya distribusi. Berdasarkan proses tersebut, dapat disimpulkan bahwa model yang dikembangkan tidak hanya memberikan

solusi yang optimal secara matematis, tetapi juga layak diterapkan secara praktis dalam kegiatan operasional perusahaan.

Langkah-langkah penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data lokasi agen, jarak antar agen, dan permintaan pengiriman
2. Mengidentifikasi rute awal distribusi perusahaan
3. Menghitung total jarak dan biaya distribusi awal
4. Menentukan parameter dan melakukan perhitungan menggunakan metode *Ant Colony Optimization* (ACO)
5. Membentuk rute distribusi optimal menggunakan pendekatan *Vehicle Routing Problem* (VRP)
6. Membandingkan total jarak dan biaya distribusi antara metode perusahaan dan metode ACO

Hasil dan Pembahasan

A. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan cara melakukan observasi secara langsung dan wawancara dengan pihak Perusahaan secara langsung. Adapun data-data yang diperoleh yaitu seperti tabel 1.

Tabel 1. Daftar Lokasi Agen

No	Nama Agen	Alamat
1	PT. XYZ (depot)	Jl. Raya Tropodo No.1, Kepuh, Tropodo, Kec. Waru, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur 61256
2	PT. Cemindo Gemilang	Maspion V Jln Alfa, Tenger, Roomo, Kec. Manyar, Kabupaten Gresik, Jawa Timur 61151
3	PT. Fertilizer Inti <i>Technology</i>	Sejahtera JIPE, Jl. Raya Manyar KM 11, Kawasan Industri Berkah No.10 Blok E, Manyasidorukun, Manyar Sido Rukun, Manyar, Gresik Regency, East Java 61151
4	PT. Japfa Comfeed Indonesia Tbk.	Semambung Lor, Wonoayu, Kec. Wonoayu, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur 61261
5	PT. Santos Premium Krimer	Jl. Raya Panjunan No.KM 3, Babatan, Panjunan, Kec. Sukodono, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur 61258
6	PT. Ajinomoto Indonesia	Jl. Raya Mlirip No.110, Gedong, Mlirip, Kec. Jetis, Kabupaten Mojokerto, Jawa Timur 61352
7	PT. IMR ARC <i>STEEL</i>	Dusun Mojosarirejo, Dusun Inojosari Rejo, Randuharjo, Pungging, Mojokerto Regency, East Java 61384
8	PT. Sumber Yalasamudra	Keputih, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60117
9	PT. Mitra Aneka Lestari	Jl. Petemon I No.73, Petemon, Kec. Sawahan, Surabaya, Jawa Timur 60255

Data jarak antara pabrik dengan agen serta jarak antar agen di Provinsi Jawa Timur pada distribusi pengiriman *woven bag* periode November 2024-Desember 2025 disajikan dalam bentuk matriks jarak pada tabel 2.

Tabel 2. Data Jarak Antar Agen

Matrik (km)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	47	48	28	15	42	43	12	10
2	47	0	1	47	47	55	60	38	39
3	48	1	0	51	52	60	64	43	44
4	28	47	51	0	15	23	17	31	31
5	15	47	52	15	0	33	26	19	19
6	42	55	60	23	33	0	25	47	46
7	43	60	64	17	26	25	0	49	49
8	12	38	43	31	19	47	49	0	2
9	10	39	44	31	19	46	49	2	0

Data rata-rata permintaan agen harian di wilayah Provinsi Jawa Timur yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari periode November 2024 sampai dengan Desember 2025, seperti terlampir pada tabel 3.

Tabel 3. Data Permintaan rata-rata harian *woven bag* 50 kg (A) dan *woven bag* 60 kg (B)

No	Nama	A (Kg)	B (Kg)
1	PT. XYZ	0	0
2	PT Cemindo Gemilang	3.550	3.900
3	PT. Fertilizer Inti <i>Technology</i>	5.120	4.100
4	PT. Japfa Comfeed Indonesia Tbk.	6.050	4.660
5	PT. Santos Premium Krimer	3.080	2.500
6	PT. Ajinomoto Indonesia	4.000	2.450
7	PT. IMR ARC <i>STEEL</i>	3.260	2.740
8	PT Sumber Yalasamudra	2.580	3.000
9	PT. Mitra Aneka Lestari	1.920	1.090
Total		29.560	24.440

Data rute awal distribusi perusahaan yaitu proses sebelum dilakukan optimasi. Rute yang disajikan merupakan pola pengiriman dari depot PT XYZ menuju masing-masing perusahaan tujuan dan kembali ke depot. Total jenis armada yang dimiliki perusahaan yaitu 5 kendaraan pada tabel 4.

Tabel 4. Jenis Armada Perusahaan

Jenis Armada	Jumlah
Truk Kapasitas 2 ton	2
Truk Kapasitas 5 ton	3
Total	5

Untuk pengiriman *woven bag* pada Provinsi Jawa Timur perusahaan hanya menggunakan 4 kendaraan dengan jenis truk kapasitas 2 ton sebanyak 2 armada dan truk kapasitas 5 ton sebanyak 2 armada seperti terlampir pada tabel 5.

Tabel 5. Data Rute Awal Distribusi Perusahaan

No	Rute Perusahaan	Jarak (km)	Jenis Armada	Rata-rata demand (kg)/hari
1	PT XYZ - PT. Fertilizer Inti <i>Technology</i> - PT Cemindo Gemilang- PT XYZ	96	Truk Kapasitas 5 ton	16.670
2	PT XYZ - PT. Japfa Comfeed Indonesia Tbk - PT. Santos Premium Krimer - PT XYZ	58	Truk Kapasitas 5 ton	16.290

No	Rute Perusahaan	Jarak (km)	Jenis Armada	Rata-rata demand (kg)/hari
3	PT XYZ - PT. Ajinomoto Indonesia - PT. IMR ARC <i>STEEL</i> - PT XYZ	110	Truk Kapasitas 2 ton	12.450
4	PT XYZ – PT Sumber Yalasamudra - PT. Mitra Aneka Lestari - PT XYZ	24	Truk Kapasitas 2 ton	8.590
Total		288		54.000

Komponen biaya pengiriman yang digunakan dalam kegiatan distribusi perusahaan. Biaya tersebut meliputi biaya bahan bakar dan parkir untuk truk kapasitas 2 ton maupun truk kapasitas 5 ton, serta biaya operasional pengemudi dan kernet per hari seperti pada tabel 6.

Tabel 6. Data Biaya Distribusi Perusahaan

No	Keterangan	Jumlah
1	Biaya Bahan Bakar Truk Kapasitas 2 ton	Rp 500.000,00
2	Biaya Bahan Bakar Truk Kapasitas 5 ton	Rp 600.000,00
3	Biaya Parkir Truk Kapasitas 2 ton Dan Lain Lain	Rp 100.000,00
4	Biaya Parkir Truk Kapasitas 5 ton Dan Lain Lain	Rp 100.000,00
5	Biaya Supir dan kernet	Rp 328.000,00

B. Pengolahan Data

Pengolahan data yang digunakan untuk mengatasi permasalahan melalui metode *Ant Colony Optimaziton*, bertujuan untuk menghasilkan output sesuai dengan tujuan penelitian.

1. Mengumpulkan data lokasi agen, jarak antar agen, dan permintaan pengiriman

Tahap awal dalam pengolahan data adalah mengumpulkan informasi yang berkaitan dengan sistem distribusi, meliputi data lokasi agen, jarak antar agen, serta permintaan pengiriman. Data lokasi agen digunakan untuk mengetahui titik-titik distribusi, sedangkan data jarak antar agen berfungsi sebagai dasar dalam perhitungan rute pengiriman. Selain itu, data permintaan digunakan untuk menentukan kebutuhan distribusi pada masing-masing agen sehingga dapat mendukung proses optimasi rute secara akurat.

2. Mengidentifikasi rute awal distribusi perusahaan

Tahap selanjutnya adalah mengidentifikasi rute awal distribusi yang digunakan oleh perusahaan. Identifikasi ini bertujuan untuk mengetahui kondisi aktual sistem distribusi yang sedang berjalan, termasuk urutan kunjungan agen dan penggunaan kendaraan. Rute awal tersebut kemudian dijadikan sebagai acuan atau pembandingan dalam mengevaluasi hasil optimasi, sehingga dapat diketahui tingkat efisiensi yang dihasilkan setelah penerapan metode yang diusulkan.

3. Menghitung total jarak dan biaya distribusi awal

Tahap selanjutnya adalah menghitung total jarak tempuh pada gambar 1 dan biaya distribusi pada tabel 7 berdasarkan rute awal yang digunakan oleh perusahaan. Perhitungan total jarak dilakukan dengan menjumlahkan seluruh jarak perjalanan pada setiap rute pengiriman. Sementara itu, biaya distribusi dihitung berdasarkan komponen biaya operasional yang relevan, seperti biaya bahan bakar dan penggunaan kendaraan

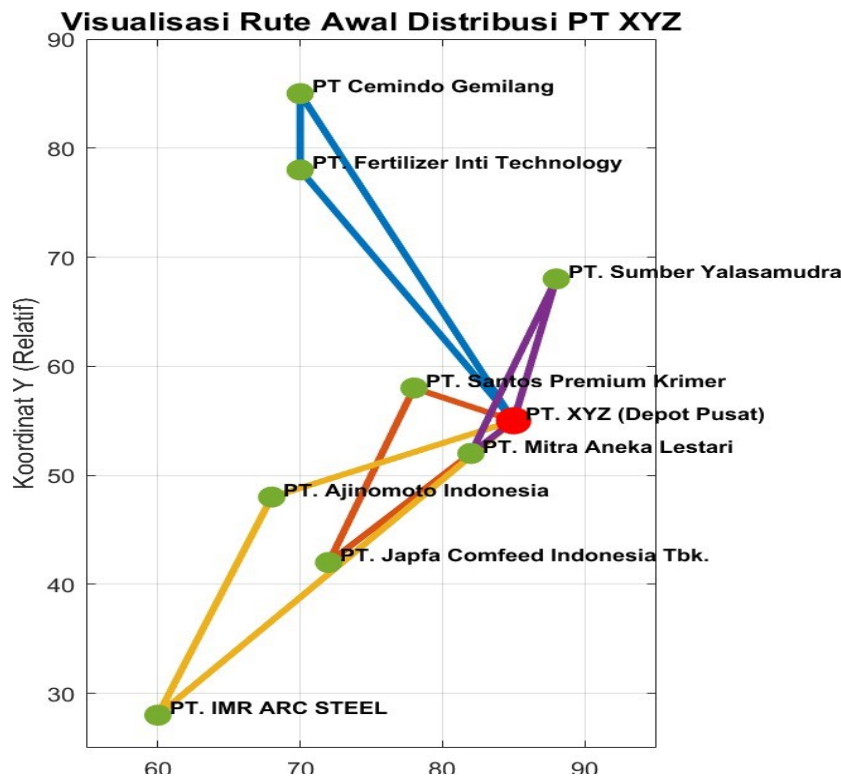


Figure 1. Rute Awal Perusahaan

Tabel 7. Data Biaya Awal Distribusi Perusahaan

No	Keterangan	Jumlah
1	Biaya Bahan Bakar Truk Kapasitas 2 ton	Rp 500.000,00
2	Biaya Parkir Truk Kapasitas 2 ton Dan Lain Lain	Rp 100.000,00
3	Biaya Supir dan kernet	Rp 328.000,00
	Total 1 kendaraan	Rp 928.000,00
	Total seluruh kendaraan kapasitas 2 ton	Rp 1.856.000,00
1	Biaya Bahan Bakar Truk Kapasitas 5 ton	Rp 600.000,00
2	Biaya Parkir Truk Kapasitas 5 ton Dan Lain Lain	Rp 100.000,00
3	Biaya Supir dan kernet	Rp 328.000,00
	Total 1 kendaraan	Rp 1.028.000,00
	Total seluruh kendaraan kapasitas 5 ton	Rp 2.056.000,00
	Total seluruh kendaraan 4 truk	Rp 3.912.000,00

4. Menentukan parameter dan melakukan perhitungan menggunakan metode *Ant Colony Optimization* (ACO)

Pada bagian ini dipaparkan proses pengolahan data yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan penelitian dengan menerapkan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO). Adapun parameter-parameter yang digunakan dalam proses tersebut adalah sebagai berikut pada tabel 8.

Tabel 8. Parameter Algoritma ACO

No	Parameter	Nilai
1	α (pheromone)	1
2	β (visibilitas)	2
3	ρ (evaporasi)	0,5

4	Jumlah Semut	4
5	Iterasi Maksimum	100
6	Q (konstanta)	100

Pada tahap awal implementasi algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dalam penyelesaian *vehicle routing problem* (VRP), dilakukan proses inisialisasi terhadap parameter utama yang memengaruhi mekanisme pencarian solusi, yaitu nilai *pheromone* (τ) dan nilai visibilitas (η). Berdasarkan Tabel 2 seluruh elemen pada matriks *pheromone* diinisialisasi dengan nilai yang sama, yaitu sebesar 1 untuk setiap pasangan node. Berikut merupakan perhitungan mencari nilai visibilitas dengan rumus 1 untuk semua node pengiriman, yang terlampir pada tabel 9.

$$n_{ij} = \frac{1}{d_{ij}} \quad (1)$$

$$n_{ij} = \frac{1}{d_{11}} = \frac{1}{0} = 0$$

$$n_{ij} = \frac{1}{d_{12}} = \frac{1}{47} = 0,021276596$$

$$n_{ij} = \frac{1}{d_{13}} = \frac{1}{48} = 0,020833333$$

$$n_{ij} = \frac{1}{d_{14}} = \frac{1}{28} = 0,035714286$$

$$n_{ij} = \frac{1}{d_{15}} = \frac{1}{15} = 0,066666667$$

$$n_{ij} = \frac{1}{d_{16}} = \frac{1}{42} = 0,023809524$$

$$n_{ij} = \frac{1}{d_{17}} = \frac{1}{43} = 0,023255814$$

$$n_{ij} = \frac{1}{d_{18}} = \frac{1}{12} = 0,083333333$$

$$n_{ij} = \frac{1}{d_{19}} = \frac{1}{10} = 0,1$$

Tabel 9. Visibilitas antar agen

Matrik (km)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0,021276596	0,020833333	0,035714286	0,066666667	0,023809524	0,023255814	0,083333333	0,1
2	0,021276596	0	1	0,021276596	0,021276596	0,018181818	0,016666667	0,026315789	0,025641026
3	0,020833333	1	0	0,019607843	0,019230769	0,016666667	0,015625	0,023255814	0,022727273
4	0,035714286	0,021276596	0,019607843	0	0,066666667	0,043478261	0,058823529	0,032258065	0,032258065
5	0,066666667	0,021276596	0,019230769	0,066666667	0	0,03030303	0,038461538	0,052631579	0,052631579
6	0,023809524	0,018181818	0,016666667	0,043478261	0,03030303	0	0,04	0,021276596	0,02173913
7	0,023255814	0,016666667	0,015625	0,058823529	0,038461538	0,04	0	0,020408163	0,020408163
8	0,083333333	0,026315789	0,023255814	0,032258065	0,052631579	0,021276596	0,020408163	0	0,5
9	0,1	0,025641026	0,022727273	0,032258065	0,052631579	0,02173913	0,020408163	0,5	0

Pada tahap awal pengisian tabu *list*, dilakukan penentuan node yang berfungsi sebagai titik keberangkatan sekaligus titik kembali. Dalam penelitian ini, node 1 ditetapkan sebagai node pabrik yang menjadi titik awal dan titik akhir perjalanan. Agar node 1 tidak ikut terlibat dalam proses perhitungan rute karena perannya sebagai titik awal, maka nilai tingkat visibilitas pada node 1 ditetapkan sebesar 0. Perubahan ini dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. Visibilitas terbaru

Matrik (km)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0,021276596	0,020833333	0,035714286	0,066666667	0,023809524	0,023255814	0,083333333	0,1
2	0	0	1	0,021276596	0,021276596	0,018181818	0,016666667	0,026315789	0,025641026
3	0	1	0	0,019607843	0,019230769	0,016666667	0,015625	0,023255814	0,022727273
4	0	0,021276596	0,019607843	0	0,066666667	0,043478261	0,058823529	0,032258065	0,032258065
5	0	0,021276596	0,019230769	0,066666667	0	0,03030303	0,038461538	0,052631579	0,052631579
6	0	0,018181818	0,016666667	0,043478261	0,03030303	0	0,04	0,021276596	0,02173913
7	0	0,016666667	0,015625	0,058823529	0,038461538	0,04	0	0,020408163	0,020408163
8	0	0,026315789	0,023255814	0,032258065	0,052631579	0,021276596	0,020408163	0	0,5
9	0	0,025641026	0,022727273	0,032258065	0,052631579	0,02173913	0,020408163	0,5	0

Setelah mengetahui nilai visibilitas di atas, langkah selanjutnya adalah menghitung peluang mengunjungi node atau agen selanjutnya dengan menggunakan rumus 2 di bawah:

$$(\tau_{i,j})^{\alpha} X (n_{i,j})^{\beta} \quad (2)$$

Jika rumus tersebut disesuaikan dengan node pertama berubah menjadi:

$$(\tau_{1,j})^1 X (n_{1,j})^2$$

Dari pengolahan dengan rumus tersebut didapatkan nilai sebagai berikut:

Dari node 1 ke node 2 : $1^2 \times 0,0212766^2 = 0,00045$
 Dari node 1 ke node 3 : $1^2 \times 0,0208333^2 = 0,00043$
 Dari node 1 ke node 4 : $1^2 \times 0,0357149^2 = 0,00128$
 Dari node 1 ke node 5 : $1^2 \times 0,0666667^2 = 0,00444$
 Dari node 1 ke node 6 : $1^2 \times 0,0238095^2 = 0,00057$
 Dari node 1 ke node 7 : $1^2 \times 0,0232558^2 = 0,00054$
 Dari node 1 ke node 8 : $1^2 \times 0,0833333^2 = 0,00694$
 Dari node 1 ke node 9 : $1^2 \times 0,1^2 = 0,01$
 Dari jumlah total $(\tau_{1,j})^1 X (n_{1,j})^2 = 0,02465$

Maka peluang semut pergi ke agen lain dapat dihitung dengan rumus 3 sebagai berikut:

$$P_{i,j}^{(k)} = \frac{(\tau_{i,j})^{\alpha} (n_{i,j})^{\beta}}{\sum (\tau_{i,j})^{\alpha} (n_{i,j})^{\beta}} \quad (3)$$

Sehingga apabila diaplikasikan dengan semut 1 maka rumus tersebut akan menjadi:

$$P_{1,j}^{(1)} = \frac{(\tau_{1,j})^{\alpha} (n_{1,j})^{\beta}}{\sum (\tau_{1,j})^{\alpha} (n_{1,j})^{\beta}}$$

Dari node 1 ke node 2 : $\frac{0,00045}{0,02465} = 0,018255578$
 Dari node 1 ke node 3 : $\frac{0,00043}{0,02465} = 0,017444219$
 Dari node 1 ke node 4 : $\frac{0,00128}{0,02465} = 0,051926978$
 Dari node 1 ke node 5 : $\frac{0,00444}{0,02465} = 0,180121704$
 Dari node 1 ke node 6 : $\frac{0,00057}{0,02465} = 0,023123732$
 Dari node 1 ke node 7 : $\frac{0,00054}{0,02465} = 0,021906694$
 Dari node 1 ke node 8 : $\frac{0,00694}{0,02465} = 0,281541582$
 Dari node 1 ke node 9 : $\frac{0,01}{0,02465} = 0,405679513$

Sehingga didapatkan jumlah kumulatif peluang dari perhitungan sebelumnya yaitu:

Node 2 = 0,018255578
 Node 3 = 0,017444219
 Node 4 = 0,051926978
 Node 5 = 0,180121704
 Node 6 = 0,023123732
 Node 7 = 0,021906694

Node 8 = 0,281541582
Node 9 = 0,405679513

Tahap berikutnya dilakukan dengan menghasilkan nilai acak sebagai dasar penentuan proses selanjutnya r untuk menentukan perusahaan yang akan dikunjungi selanjutnya. Bilangan random yang dibangkitkan adalah $r = 0,153284617$ kemudian dibandingkan dengan nilai peluang kumulatif. Dalam proses perhitungan peluang kumulatif, nilai acak tersebut dibandingkan dengan interval probabilitas yang nilainya paling mendekati namun tidak melebihi nilai tersebut 0,153284617 yang merupakan nilai peluang kumulatif pada node 8. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa setelah node pertama, semut akan mengunjungi node 8. Karena node 8 telah dipilih sebagai rute, maka kolom 8 dalam matriks visibilitas harus diubah menjadi 0. Perubahan ini dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Visibilitas terbaru

Matrik (km)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0,0212766	0,02083333	0,03571429	0,06666667	0,02380952	0,02325581	0	0,1
2	0	0	1	0,0212766	0,0212766	0,01818182	0,01666667	0	0,02564103
3	0	1	0	0,01960784	0,01923077	0,01666667	0,015625	0	0,02272727
4	0	0,0212766	0,01960784	0	0,06666667	0,04347826	0,05882353	0	0,03225806
5	0	0,0212766	0,01923077	0,06666667	0	0,03030303	0,03846154	0	0,05263158
6	0	0,01818182	0,01666667	0,04347826	0,03030303	0	0,04	0	0,02173913
7	0	0,01666667	0,015625	0,05882353	0,03846154	0,04	0	0	0,02040816
8	0	0,02631579	0,02325581	0,03225806	0,05263158	0,0212766	0,02040816	0	0,5
9	0	0,02564103	0,02272727	0,03225806	0,05263158	0,02173913	0,02040816	0	0

Dari perubahan tabel visibilitas yang baru dilakukan perhitungan kembali dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Dari pengolahan dengan rumus tersebut didapatkan nilai sebagai berikut:

$$(\tau_{8,j})^1 X (n_{8,j})^2$$

Dari pengolahan dengan rumus tersebut didapatkan nilai sebagai berikut:

Dari node 8 ke node 2 : $1^2 \times 0,026315789^2 = 0,00069$
 Dari node 8 ke node 3 : $1^2 \times 0,023255814^2 = 0,00054$
 Dari node 8 ke node 4 : $1^2 \times 0,032258065^2 = 0,00104$
 Dari node 8 ke node 5 : $1^2 \times 0,052631579^2 = 0,00277$
 Dari node 8 ke node 6 : $1^2 \times 0,021276596^2 = 0,00045$
 Dari node 8 ke node 7 : $1^2 \times 0,020408163^2 = 0,00042$
 Dari node 8 ke node 9 : $1^2 \times 0,25^2 = 0,0625$
 Dari jumlah total $(\tau_{8,j})^1 X (n_{8,j})^2 = 0,06841$

Maka peluang semut pergi ke agen lain dapat dihitung dengan rumus 3 sebagai berikut:

$$P_{i,j}^{(k)} = \frac{(\tau_{i,j})^\alpha (n_{i,j})^\beta}{\sum (\tau_{i,j})^\alpha (n_{i,j})^\beta} \quad (3)$$

Sehingga apabila diaplikasikan dengan semut 1 maka rumus tersebut akan menjadi:

$$P_{8,j}^{(8)} = \frac{(\tau_{8,j})^\alpha (n_{8,j})^\beta}{\sum (\tau_{8,j})^\alpha (n_{8,j})^\beta}$$

Sehingga didapatkan jumlah kumulatif peluang dari perhitungan sebelumnya yaitu:

Dari node 8 ke node 2 : $\frac{0,026315789}{0,06841} = 0,010086245$
 Dari node 8 ke node 3 : $\frac{0,023255814}{0,06841} = 0,007893583$
 Dari node 8 ke node 4 : $\frac{0,032258065}{0,06841} = 0,015202456$
 Dari node 8 ke node 5 : $\frac{0,052631579}{0,06841} = 0,040491156$
 Dari node 8 ke node 6 : $\frac{0,021276596}{0,06841} = 0,006577986$
 Dari node 8 ke node 7 : $\frac{0,020408163}{0,06841} = 0,006139453$
 Dari node 8 ke node 9 : $\frac{0,25}{0,06841} = 0,913609121$

Berdasarkan perhitungan di atas, dihasilkan bilangan acak r untuk menentukan perusahaan yang akan dikunjungi berikutnya. Bilangan acak yang dihasilkan adalah $r = 0,091108861$, kemudian dibandingkan dengan nilai peluang kumulatif. Dalam proses perhitungan peluang kumulatif, bilangan acak ini paling mendekati nilai di bawah 0,091108861, yaitu peluang kumulatif pada node 9. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa setelah mengunjungi node 8, semut akan melanjutkan

perjalanan ke node 9. Karena node 9 telah terpilih sebagai bagian dari rute, maka kolom 9 dalam matriks visibilitas harus diubah menjadi 0. Perubahan ini dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12. Visibilitas terbaru

Matrik (km)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0,0212766	0,02083333	0,03571429	0,06666667	0,02380952	0,02325581	0	0
2	0	0	1	0,0212766	0,0212766	0,01818182	0,01666667	0	0
3	0	1	0	0,01960784	0,01923077	0,01666667	0,015625	0	0
4	0	0,0212766	0,01960784	0	0,06666667	0,04347826	0,05882353	0	0
5	0	0,0212766	0,01923077	0,06666667	0	0,03030303	0,03846154	0	0
6	0	0,01818182	0,01666667	0,04347826	0,03030303	0	0,04	0	0
7	0	0,01666667	0,015625	0,05882353	0,03846154	0,04	0	0	0
8	0	0,02631579	0,02325581	0,03225806	0,05263158	0,0212766	0,02040816	0	0
9	0	0,02564103	0,02272727	0,03225806	0,05263158	0,02173913	0,02040816	0	0

Dari perubahan tabel visibilitas yang baru dilakukan perhitungan kembali dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Dari pengolahan dengan rumus tersebut didapatkan nilai sebagai berikut:

$$(\tau_{9,j})^1 X (n_{9,j})^2$$

Dari pengolahan dengan rumus tersebut didapatkan nilai sebagai berikut:

Dari node 9 ke node 2 : $1^2 \times 0,025641026^2 = 0,00066$

Dari node 9 ke node 3 : $1^2 \times 0,022727273^2 = 0,00052$

Dari node 9 ke node 4 : $1^2 \times 0,032258065^2 = 0,00104$

Dari node 9 ke node 5 : $1^2 \times 0,052631579^2 = 0,00277$

Dari node 9 ke node 6 : $1^2 \times 0,02173913^2 = 0,00047$

Dari node 9 ke node 7 : $1^2 \times 0,020408163^2 = 0,00042$

Dari jumlah total $(\tau_{9,j})^1 X (n_{9,j})^2 = 0,00588$

$$P_{9,j}^{(9)} = \frac{(\tau_{9,j})^\alpha (n_{9,j})^\beta}{\sum (\tau_{9,j})^\alpha (n_{9,j})^\beta}$$

Sehingga didapatkan jumlah kumulatif peluang dari perhitungan sebelumnya yaitu:

Dari node 9 ke node 2 : $\frac{0,025641026}{0,00588} = 0,112244898$

Dari node 9 ke node 3 : $\frac{0,022727273}{0,00588} = 0,088435374$

Dari node 9 ke node 4 : $\frac{0,032258065}{0,00588} = 0,176870748$

Dari node 9 ke node 5 : $\frac{0,052631579}{0,00588} = 0,471088435$

Dari node 9 ke node 6 : $\frac{0,02173913}{0,00588} = 0,079931973$

Dari node 9 ke node 7 : $\frac{0,020408163}{0,00588} = 0,071428571$

Berdasarkan perhitungan di atas, dihasilkan bilangan acak r untuk menentukan perusahaan yang akan dikunjungi berikutnya. Bilangan acak yang dihasilkan adalah $r = 0,959779471$, kemudian dibandingkan dengan nilai peluang kumulatif. Dalam proses perhitungan peluang kumulatif, bilangan acak ini paling mendekati nilai di bawah 0,959779471, yaitu peluang kumulatif pada node 2. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa setelah mengunjungi node 9, semut akan melanjutkan perjalanan ke node 2. Karena node 2 telah terpilih sebagai bagian dari rute, maka kolom 2 dalam matriks visibilitas harus diubah menjadi 0. Perubahan ini dapat dilihat pada tabel 13.

Tabel 13. Visibilitas terbaru

Matrik (km)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0,02083333	0,03571429	0,06666667	0,02380952	0,02325581	0	0
2	0	0	1	0,0212766	0,0212766	0,01818182	0,01666667	0	0
3	0	0	0	0,01960784	0,01923077	0,01666667	0,015625	0	0
4	0	0	0,01960784	0	0,06666667	0,04347826	0,05882353	0	0
5	0	0	0,01923077	0,06666667	0	0,03030303	0,03846154	0	0
6	0	0	0,01666667	0,04347826	0,03030303	0	0,04	0	0
7	0	0	0,015625	0,05882353	0,03846154	0,04	0	0	0
8	0	0	0,02325581	0,03225806	0,05263158	0,0212766	0,02040816	0	0

9	0	0	0,02272727	0,03225806	0,05263158	0,02173913	0,02040816	0	0
---	---	---	------------	------------	------------	------------	------------	---	---

Setelah mengetahui nilai visibilitas di atas, langkah selanjutnya adalah menghitung peluang mengunjungi node atau agen selanjutnya dengan menggunakan persamaan di bawah:

Jika rumus tersebut disesuaikan dengan node pertama berubah menjadi:

Dari pengolahan dengan rumus tersebut didapatkan nilai sebagai berikut:

$$(\tau_{i,j})^{\alpha} X (n_{i,j})^{\beta}$$

Jika rumus tersebut disesuaikan dengan node pertama berubah menjadi:

$$(\tau_{2,j})^1 X (n_{2,j})^2$$

Dari pengolahan dengan rumus tersebut didapatkan nilai sebagai berikut:

Dari node 2 ke node 3 : $1^2 \times 1^2 = 1$

Dari node 2 ke node 4 : $1^2 \times 0,021276596^2 = 0,00045$

Dari node 2 ke node 5 : $1^2 \times 0,021276596^2 = 0,00045$

Dari node 2 ke node 6 : $1^2 \times 0,018181818^2 = 0,00033$

Dari node 2 ke node 7 : $1^2 \times 0,016666667^2 = 0,00028$

Dari jumlah total $(\tau_{2,j})^1 X (n_{2,j})^2 = 1,00151$

Maka peluang semut pergi ke agen lain dapat dihitung dengan rumus 3 sebagai berikut:

$$P_{i,j}^{(k)} = \frac{(\tau_{i,j})^{\alpha} (n_{i,j})^{\beta}}{\sum (\tau_{i,j})^{\alpha} (n_{i,j})^{\beta}} \quad (3)$$

Sehingga apabila diaplikasikan dengan semut 1 maka tersebut akan menjadi:

$$P_{2,j}^{(2)} = \frac{(\tau_{2,j})^{\alpha} (n_{2,j})^{\beta}}{\sum (\tau_{2,j})^{\alpha} (n_{2,j})^{\beta}}$$

Dari node 2 ke node 3 : $\frac{1}{1,00151} = 0,998492277$

Dari node 2 ke node 4 : $\frac{0,021276596}{1,00151} = 0,000449322$

Dari node 2 ke node 5 : $\frac{0,021276596}{1,00151} = 0,000449322$

Dari node 2 ke node 6 : $\frac{0,018181818}{1,00151} = 0,000329502$

Dari node 2 ke node 7 : $\frac{0,016666667}{1,00151} = 0,000279578$

Sehingga didapatkan jumlah kumulatif peluang dari perhitungan sebelumnya yaitu:

Node 3= 0,998492277

Node 4= 0,000449322

Node 5= 0,000449322

Node 6= 0,000329502

Node 7= 0,000279578

Tahap berikutnya dilakukan dengan menghasilkan nilai acak sebagai dasar penentuan proses selanjutnya r untuk menentukan perusahaan yang akan dikunjungi selanjutnya. Bilangan random yang dibangkitkan adalah $r = 0,013291913$ kemudian dibandingkan dengan nilai peluang kumulatif. Dalam proses perhitungan peluang kumulatif, nilai acak tersebut dibandingkan dengan interval probabilitas yang nilainya paling mendekati namun tidak melebihi nilai tersebut 0,013291913 yang merupakan nilai peluang kumulatif pada node 3. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa setelah node 2, semut akan mengunjungi node 3. Karena node 3 telah dipilih sebagai rute, maka kolom 3 dalam matriks visibilitas harus diubah menjadi Perubahan ini dapat dilihat pada tabel 14.

Tabel 14. Visibilitas terbaru

Matrik (km)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0,03571429	0,06666667	0,02380952	0,02325581	0	0
2	0	0	0	0,0212766	0,0212766	0,01818182	0,01666667	0	0
3	0	0	0	0,01960784	0,01923077	0,01666667	0,015625	0	0
4	0	0	0	0	0,06666667	0,04347826	0,05882353	0	0
5	0	0	0	0,06666667	0	0,03030303	0,03846154	0	0
6	0	0	0	0,04347826	0,03030303	0	0,04	0	0

7	0	0	0	0,05882353	0,03846154	0,04	0	0	0
8	0	0	0	0,03225806	0,05263158	0,0212766	0,02040816	0	0
9	0	0	0	0,03225806	0,05263158	0,02173913	0,02040816	0	0

Dari perubahan tabel visibilitas yang baru dilakukan perhitungan kembali dengan menggunakan sebagai berikut:

Dari pengolahan dengan rumus tersebut didapatkan nilai sebagai berikut:

$$(\tau_{3,j})^1 X (n_{3,j})^2$$

Dari node 3 ke node 4: $1^2 \times 0,019607843^2 = 0,00038$

Dari node 3 ke node 5: $1^2 \times 0,019230769^2 = 0,00037$

Dari node 3 ke node 6: $1^2 \times 0,016666667^2 = 0,00028$

Dari node 3 ke node 7: $1^2 \times 0,015625^2 = 0,00024$

Dari jumlah total $(\tau_{3,j})^1 X (n_{3,j})^2 = 0,00127$

$$P_{3,j}^{(3)} = \frac{(\tau_{3,j})^\alpha (n_{3,j})^\beta}{\sum (\tau_{3,j})^\alpha (n_{3,j})^\beta}$$

Sehingga didapatkan jumlah kumulatif peluang dari perhitungan sebelumnya yaitu:

Dari node 3 ke node 4 : $\frac{0,019607843}{0,00127} = 0,299212598$
 Dari node 3 ke node 5 : $\frac{0,019230769}{0,00127} = 0,291338583$
 Dari node 3 ke node 6 : $\frac{0,016666667}{0,00127} = 0,220472441$
 Dari node 3 ke node 7 : $\frac{0,015625}{0,00127} = 0,188976378$

Tabel 15. Visibilitas terbaru

Matrik (km)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0,03571429	0	0,02380952	0,02325581	0	0
2	0	0	0	0,0212766	0	0,01818182	0,01666667	0	0
3	0	0	0	0,01960784	0	0,01666667	0,015625	0	0
4	0	0	0	0	0	0,04347826	0,05882353	0	0
5	0	0	0	0,06666667	0	0,03030303	0,03846154	0	0
6	0	0	0	0,04347826	0	0	0,04	0	0
7	0	0	0	0,05882353	0	0,04	0	0	0
8	0	0	0	0,03225806	0	0,0212766	0,02040816	0	0
9	0	0	0	0,03225806	0	0,02173913	0,02040816	0	0

Dari perubahan tabel visibilitas yang baru dilakukan perhitungan kembali dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Dari pengolahan dengan rumus tersebut didapatkan nilai sebagai berikut:

$$(\tau_{5,j})^1 X (n_{5,j})^2$$

Dari node 5 ke node 4: $1^2 \times 0,066666667^2 = 0,00444$

Dari node 5 ke node 6: $1^2 \times 0,03030303^2 = 0,00092$

Dari node 5 ke node 7: $1^2 \times 0,038461538^2 = 0,00148$

Dari jumlah total $(\tau_{5,j})^1 X (n_{5,j})^2 = 0,00684$

$$P_{5,j}^{(5)} = \frac{(\tau_{5,j})^\alpha (n_{5,j})^\beta}{\sum (\tau_{5,j})^\alpha (n_{5,j})^\beta}$$

Sehingga didapatkan jumlah kumulatif peluang dari perhitungan sebelumnya yaitu:

Dari node 5 ke node 4 : $\frac{0,066666667}{0,00684} = 0,649122807$

$$\begin{aligned} \text{Dari node 5 ke node 6} &: \frac{0,03030303}{0,00684} = 0,134502924 \\ \text{Dari node 5 ke node 7} &: \frac{0,038461538}{0,00684} = 0,216374269 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, dihasilkan bilangan acak r untuk menentukan perusahaan yang akan dikunjungi berikutnya. Bilangan acak yang dihasilkan adalah $r = 0,640112938$, kemudian dibandingkan dengan nilai peluang kumulatif. Dalam proses perhitungan peluang kumulatif, bilangan acak ini paling mendekati nilai di bawah $0,640112938$, yaitu peluang kumulatif pada node 4. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa setelah mengunjungi node 5, semut akan melanjutkan perjalanan ke node 4. Karena node 4 telah terpilih sebagai bagian dari rute, maka kolom 4 dalam matriks visibilitas harus diubah menjadi 0. Perubahan ini dapat dilihat pada tabel 16.

Tabel 16. Visibilitas terbaru

Matrik (km)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0	0	0,02380952	0,02325581	0	0
2	0	0	0	0	0	0,01818182	0,01666667	0	0
3	0	0	0	0	0	0,01666667	0,015625	0	0
4	0	0	0	0	0	0,04347826	0,05882353	0	0
5	0	0	0	0	0	0,03030303	0,03846154	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0,04	0	0
7	0	0	0	0	0	0,04	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0,0212766	0,02040816	0	0
9	0	0	0	0	0	0,02173913	0,02040816	0	0

Dari perubahan tabel visibilitas yang baru dilakukan perhitungan kembali dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Dari pengolahan dengan rumus tersebut didapatkan nilai sebagai berikut:

$$(\tau_{4,j})^1 X (n_{4,j})^2$$

Dari node 4 ke node 6: $1^2 \times 0,043478261^2 = 0,00189$

Dari node 4 ke node 7: $1^2 \times 0,058823529^2 = 0,00346$

Dari jumlah total $(\tau_{4,j})^1 X (n_{4,j})^2 = 0,00535$

$$P_{4,j}^{(4)} = \frac{(\tau_{4,j})^\alpha (n_{4,j})^\beta}{\sum (\tau_{4,j})^\alpha (n_{4,j})^\beta}$$

Sehingga didapatkan jumlah kumulatif peluang dari perhitungan sebelumnya yaitu:

Dari node 4 ke node 6: $\frac{0,043478261}{0,00535} = 0,353271028$

Dari node 4 ke node 7: $\frac{0,058823529}{0,00535} = 0,646728972$

Berdasarkan perhitungan di atas, dihasilkan bilangan acak r untuk menentukan perusahaan yang akan dikunjungi berikutnya. Bilangan acak yang dihasilkan adalah $r = 0,512932617$, kemudian dibandingkan dengan nilai peluang kumulatif. Dalam proses perhitungan peluang kumulatif, bilangan acak ini paling mendekati nilai di bawah $0,512932617$, yaitu peluang kumulatif pada node 7. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa melanjutkan perjalanan ke node 7. Karena node 7 telah terpilih sebagai bagian dari rute, maka kolom 7 dalam matriks visibilitas harus diubah menjadi 0. Perubahan ini dapat dilihat pada tabel 17.

Tabel 17. Visibilitas terbaru

Matrik (km)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0	0	0,02380952	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0,01818182	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0,01666667	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0,04347826	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0,03030303	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0,04	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0,0212766	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0,02173913	0	0	0

Dari perubahan tabel visibilitas yang baru dilakukan perhitungan kembali dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Dari pengolahan dengan rumus tersebut didapatkan nilai sebagai berikut:

$$(\tau_{7,j})^1 X (n_{7,j})^2$$

Dari node 7 ke node 6: $1^2 \times 0,04^2 = 0,0016$

Dari jumlah total $(\tau_{7,j})^1 X (n_{7,j})^2 = 0,0016$

$$P_{7,j}^{(7)} = \frac{(\tau_{7,j})^\alpha (n_{7,j})^\beta}{\sum (\tau_{7,j})^\alpha (n_{7,j})^\beta}$$

Sehingga didapatkan jumlah kumulatif peluang dari perhitungan sebelumnya yaitu:

$$\text{Dari node 7 ke node 6 : } \frac{0,04}{0,0016} = 1$$

Berdasarkan perhitungan di atas, dihasilkan bilangan acak r untuk menentukan perusahaan yang akan dikunjungi berikutnya. Bilangan acak yang dihasilkan adalah $r = 0,239974825$, kemudian dibandingkan dengan nilai peluang kumulatif. Dalam proses perhitungan peluang kumulatif, bilangan acak ini paling mendekati nilai di bawah $0,239974825$, yaitu peluang kumulatif pada node 6. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa setelah mengunjungi node 6, semut akan melanjutkan perjalanan ke node 6. Karena node 6 telah terpilih sebagai bagian dari rute, maka kolom 6 dalam matriks visibilitas harus diubah menjadi 0. Dari seluruh perhitungan visibilitas di atas telah ditemukan bahwa pengiriman optimal terbentuk melalui node 1-8-9-2-3-5-4-7-6-1. Mengingat keterbatasan kapasitas kendaraan dibandingkan dengan total permintaan pengiriman, pelaksanaan distribusi dilakukan dengan sistem *multi truk*. Dengan kondisi tersebut, kendaraan tidak menyelesaikan seluruh rute dalam satu kali perjalanan (*single truk*), melainkan melakukan beberapa kali perjalanan dengan kembali ke depot untuk memuat ulang barang sebelum melanjutkan pengiriman ke node berikutnya. Perubahan intensitas *pheromone* pada setiap jalur antar perusahaan ditentukan melalui suatu formulasi matematis tertentu.

Perhitungan ini memperhitungkan jumlah *pheromone* yang dilepaskan berdasarkan kualitas rute yang dihasilkan, sehingga dapat mengarahkan semut lain menuju jalur yang lebih optimal. *Pheromone* dilepaskan secara individual selama proses perjalanan dan secara kolektif berkontribusi dalam mekanisme pencarian rute terbaik dengan rumus 2.7 :

$$\begin{aligned} \Delta \tau_{ij}^k &= \frac{Q}{L_{Best}} \\ &= \frac{1}{157} \\ &= 0,006369427 \end{aligned}$$

Pembaruan *pheromone* dilakukan untuk memastikan bahwa setiap semut telah menelusuri seluruh rute, dengan tingkat penguapan ρ bernilai 0,5. Proses ini dirumuskan pada rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \tau_{ij} &= (1 - \rho) \tau_{ij} + \Delta \tau_{ij}^k \\ \tau_{ij} &= (1 - 0,5) \tau_{ij} + 0,006369427 \\ \tau_{ij} &= 0,506369427 \end{aligned} \tag{4}$$

5. Membentuk rute distribusi optimal menggunakan pendekatan *Vehicle Routing Problem* (VRP)

Pembentukan rute distribusi optimal dilakukan menggunakan pendekatan *Vehicle Routing Problem* (VRP) dengan mempertimbangkan kendala kapasitas kendaraan, jumlah armada, dan jarak antar lokasi. Tahap awal dilakukan perhitungan manual menggunakan metode *Ant Colony Optimization* (ACO) untuk memahami mekanisme algoritma dan sebagai validasi awal. Selanjutnya, proses optimasi diimplementasikan menggunakan Matlab guna meningkatkan efisiensi perhitungan dan akurasi hasil seperti pada gambar 2.

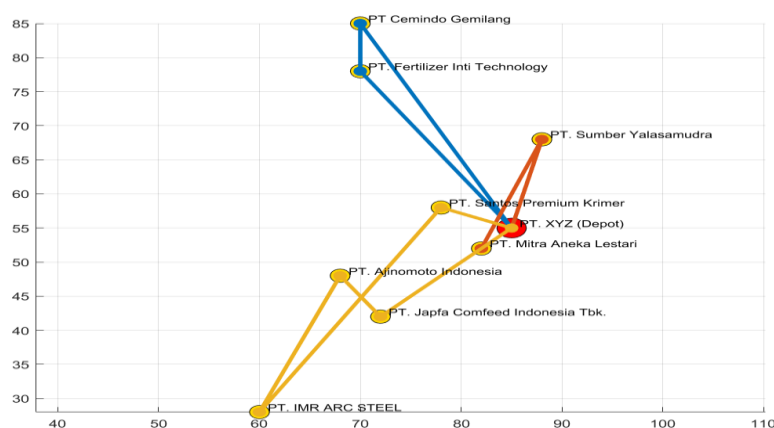


Figure 2. Rute ACO

Rute distribusi hasil optimasi menunjukkan bahwa pengiriman dapat dikelompokkan menjadi tiga rute utama yang efisien. Rute pertama dimulai dari PT XYZ menuju PT Sumber Yalasamudra dan PT Mitra Aneka Lestari, kemudian kembali ke depot dengan total jarak 24 km. Rute kedua meliputi perjalanan dari PT XYZ menuju PT Cemindo Gemilang dan PT Fertilizer Inti *Technology*, lalu kembali ke depot dengan total jarak 48 km. Sementara itu, rute ketiga mencakup distribusi dari PT XYZ ke PT Santos Premium Krimer, PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk, PT IMR ARC *Steel*, dan PT Ajinomoto Indonesia sebelum kembali ke depot, dengan total jarak 114 km. Pembagian rute ini menunjukkan bahwa hasil optimasi mampu mengelompokkan pelanggan secara efektif sehingga menghasilkan distribusi yang lebih terstruktur dan efisien dari segi jarak tempuh seperti tabel 18.

Tabel 18. Data Rute Distribusi Perusahaan Hasil ACO

No	Rute Perusahaan ACO	Jarak (km)	Jenis Armada	Rata-rata demand (kg)/hari
1	PT XYZ - PT Sumber Yalasamudra - PT Mitra Aneka Lestari - PT XYZ	24	Truk Kapasitas 5 ton	8.590
2	PT XYZ - PT. Cemindo Gemilang - PT. Fertilizer Inti <i>Technology</i> - PT XYZ	96	Truk Kapasitas 5 ton	16.670
3	PT XYZ - PT. Santos Premium Krimer - PT. Japfa Comfeed Indonesia Tbk - PT IMR ARC <i>STEEL</i> - PT Ajinomoto Indonesia - PT XYZ	114	Truk Kapasitas 5 ton	28.740
Total		234		54.000

Hasil optimasi menggunakan metode *Ant Colony Optimization* (ACO) Setelah dilakukan optimasi menggunakan metode ACO, total jarak distribusi berkurang menjadi 234 km dengan frekuensi penggunaan kendaraan 3 per hari dan total biaya transportasi sebesar Rp3.084.000 per hari pada tabel 19.

Tabel 19. Data Biaya Distribusi Perusahaan ACO

No	Keterangan	Jumlah
1	Biaya Bahan Bakar Truk Kapasitas 5 ton	Rp 600.000,00
2	Biaya Parkir Truk Kapasitas 5 ton Dan Lain Lain	Rp 100.000,00
3	Biaya Supir dan kernet	Rp 328.000,00
Total 1 kendaraan kapasitas 5 ton		Rp 1.028.000,00
Total seluruh kendaraan 3 truk		Rp 3.084.000,00

6. Membandingkan total jarak dan biaya distribusi antara metode perusahaan dan metode ACO

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa penerapan metode *Ant Colony Optimization* (ACO) mampu mengurangi total jarak distribusi sebesar 18,75% serta menekan biaya transportasi hingga 21,17%. Temuan ini konsisten dengan berbagai studi terdahulu yang menyatakan bahwa ACO merupakan metode yang efektif dalam menyelesaikan permasalahan *Vehicle Routing Problem* (VRP) dengan tingkat kompleksitas tinggi, karena memiliki kemampuan untuk menyesuaikan pencarian solusi secara adaptif melalui mekanisme pembentukan dan penguatan *pheromone*. Apabila dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Ary (2022) serta Jumaedi et al. (2024), penelitian ini menawarkan nilai tambah melalui penggunaan data operasional nyata perusahaan serta mempertimbangkan secara langsung kendala kapasitas kendaraan dalam proses pembentukan rute distribusi. Hal tersebut menunjukkan bahwa pendekatan yang digunakan tidak hanya memberikan solusi yang optimal secara teoritis, tetapi juga relevan dan dapat diimplementasikan dalam kondisi operasional sebenarnya. Dari sisi praktis, hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa perusahaan berpotensi mengurangi jumlah armada yang digunakan tanpa mengorbankan tingkat pelayanan distribusi. Kondisi ini berdampak pada peningkatan efisiensi operasional sekaligus memperkuat daya saing perusahaan, khususnya dalam industri manufaktur seperti terlampir pada tabel 20.

Tabel 20. Perbandingan Jarak dan Biaya Distribusi Perusahaan dengan ACO

Metode	Jarak Total	Truk/hari	Kendaraan	Biaya/bulan
Awal Perusahaan	288 km	4	2 Truk Kp 2 Ton 2 Truk Kp 5 Ton	Rp3.912.000,00
ACO	234 km	3	3 Truk Kp 5 Ton	Rp3.084.000,00
Penghematan	↓ 54 km	↓ 1 truk		Rp828.000

Simpulan

Berdasarkan hasil analisis, penerapan metode *Ant Colony Optimization* (ACO) memberikan peningkatan efisiensi pada sistem distribusi di PT XYZ. Perbaikan ini terlihat dari berkurangnya jumlah kendaraan yang digunakan dari 4 menjadi 3 unit per hari, disertai penurunan biaya transportasi harian dari Rp3.912.000 menjadi Rp3.084.000. Selain itu, total jarak tempuh distribusi juga mengalami penurunan dari 288 km menjadi 234 km, sehingga tercapai penghematan jarak sebesar 54 km (18,75%) serta efisiensi biaya sebesar Rp828.000 per hari (21,17%). Rute distribusi yang dihasilkan setelah optimasi terbagi menjadi tiga jalur utama yang lebih efektif, yaitu: (1) PT XYZ – PT Sumber Yalasamudra – PT Mitra Aneka Lestari – PT XYZ dengan jarak 24 km; (2) PT XYZ – PT Cemindo Gemilang – PT Fertilizer Inti Technology – PT XYZ dengan jarak 96 km; dan (3) PT XYZ – PT Santos Premium Krimer – PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk – PT IMR ARC Steel – PT Ajinomoto Indonesia – PT XYZ dengan jarak 114 km. Pengaturan rute tersebut menunjukkan bahwa pendekatan ACO mampu meningkatkan efisiensi distribusi sekaligus mengoptimalkan penggunaan armada tanpa mengurangi kapasitas pengiriman. Secara praktis, hasil ini dapat dijadikan sebagai referensi dalam merancang sistem distribusi yang lebih terstruktur dan efisien. Implementasi metode ini juga berpotensi mendukung peningkatan kinerja operasional perusahaan serta mengurangi pengeluaran biaya transportasi yang tidak efisien. Untuk penelitian selanjutnya, model yang digunakan dapat dikembangkan lebih lanjut dengan memasukkan faktor waktu tempuh (*time window*), kondisi lalu lintas, serta dinamika permintaan, sehingga hasil yang diperoleh menjadi lebih adaptif dan mencerminkan kondisi operasional yang sebenarnya.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT XYZ atas dukungan serta kesempatan yang telah diberikan, khususnya dalam penyediaan data dan informasi yang dibutuhkan selama pelaksanaan penelitian. Apresiasi juga disampaikan kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, serta masukan yang konstruktif dalam proses penyusunan penelitian ini. Selain itu, penulis turut menyampaikan terima kasih kepada dosen penguji atas berbagai saran dan evaluasi yang berkontribusi dalam penyempurnaan penelitian ini.

References

1. A. Arianto dan B. D. A. Octavia, "Pengaruh Kualitas Pelayanan dan Distribusi terhadap Keputusan Pembelian di PT Ekadharma International TBK Cabang Batam," *Jurnal Disrupsi Bisnis*, vol. 4, no. 2, p. 98, 2021.
2. R. Eduar dan N. Nidyawati, "Saluran Distribusi dan Promosi terhadap Volume Penjualan Motor Honda CB 150R," *Journal of Management and Business (JOMB)*, vol. 3, no. 2, pp. 93–103, 2021, doi: 10.31539/jomb.v3i2.2722.
3. R. Naufal dan M. S. Hasibuan, "Optimization of Distribution Routes Using the Genetic Algorithm in the Traveling Salesman Problem," *Journal of Applied Informatics and Computing*, vol. 9, no. 1, pp. 211–220, 2025, doi: 10.30871/jaic.v9i1.8864.
4. C. D. Kusmindari, A. Alfian, dan S. Hardini, "Production Planning and Inventory Control," *Sustainability*, vol. 11, no. 1, pp. 1–14, 2019.
5. S. Zaferanlouei, V. Lakshmanan, S. Bjarghov, H. Farahmand, dan M. Korpås, "BATTPower Application: Large-Scale Integration of EVs in an Active Distribution Grid – A Norwegian Case Study," *Electric Power Systems Research*, vol. 209, 2022, doi: 10.1016/j.epsr.2022.107967.
6. N. K. Dewi dan R. F. Mashuda, "Analisis Distribusi Paving Blok dengan Metode Capacitated Vehicle Routing Problem dan Metode Tabu Search pada PT. X," *Jurnal Manajemen Logistik dan Transportasi*, vol. 8, no. 3, pp. 138–161, 2022.
7. F. Suryana dan D. Hamdhana, "Implementation of Ant Colony Optimization (ACO) Algorithm for Route Optimization of Tourist Paths in Takengon," vol. 9, no. 4, pp. 1886–1896, 2025.
8. M. Arif, M. Suhaimi, F. Fitra, dan Q. Nurlaila, "Optimasi Vehicle Routing Problem untuk Mengoptimalkan Distribusi Truk Tangki CPO di Kota Dumai," *PROFISIENSI: Jurnal Program Studi Teknik Industri*, vol. 11, no. 2, pp. 107–114, 2023, doi: 10.33373/profis.v11i2.5671.
9. N. Hulu, L. M. Harahap, S. Marbun, dan D. A. Putri, "Analisis Optimasi Jalur Distribusi Menggunakan Pendekatan TSP (Travelling Salesman Problem) untuk Meningkatkan Efisiensi Biaya Distribusi pada Toko Uthe Grosir," *ECONOBIS: Journal of Economics, Business and Management*, vol. 1, no. 6, p. 1, 2025.
10. D. M. S. Nasution, H. Lubis, R. P. S. Siregar, M. Zarlis, dan S. Efendi, "Optimisasi Heuristik Terhadap Jaringan Kompleks," *Juripol (Jurnal Institusi Politeknik Ganesha Medan)*, vol. 5, no. 1, pp. 241–250, 2022, doi: 10.33395/juripol.v5i1.11331.
11. R. Syarif, R. Awaludin, dan M. Mulyana, "Tinjauan atas Penerapan Saluran Distribusi pada Taufik Supplier Buah Lokal," *Jurnal Aplikasi Bisnis Kesatuan*, vol. 2, no. 1, pp. 31–36, 2022, doi: 10.37641/jabkes.v2i1.1360.
12. M. Ary, "Optimasi Vehicle Routing Problem pada Rute Pendistribusian Menggunakan Metode Ant Colony Optimization," *Jurnal Tekno Insentif*, vol. 16, no. 2, pp. 139–149, 2022, doi: 10.36787/jti.v16i2.897.
13. M. R. Cuhanaazriansyah, *Logika dan Algoritma* 1. 2024.
14. A. E. Rizzoli, R. Montemanni, E. Lucibello, dan L. M. Gambardella, "Ant Colony Optimization for Real-World Vehicle Routing Problems: From Theory to Applications," *Swarm Intelligence*, vol. 1, pp. 135–151, 2021.
15. A. Ihsan, T. A. Adlie, dan S. Harliansyah, "Optimalisasi Pencarian Jalur Terpendek Mobile Robot dengan Menggunakan Metode Ant Colony Optimization (ACO)," *Techné: Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, vol. 23, no. 1, pp. 39–54, 2024, doi: 10.31358/techné.v23i1.389.
16. S. N. Jumaedi, W. Abidin, dan T. Nurman, "Penerapan Algoritma Ant Colony Optimization (ACO) Rute Jalur Terpendek (Studi Kasus Distribusi Barang JNE Wilayah Bumi Tamalanrea Permai (BTP)), " *Jurnal Matematika dan Statistika serta Aplikasinya*, vol. 12, no. 1, pp. 109–115, 2024.
17. I. Bagus et al., "A Hybrid Clustered Ant Colony Optimization Approach for the Hierarchical Multi-Switch Multi-Echelon Vehicle Routing Problem with Service Times," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 186, Art. no. 110040, 2024, doi: 10.34133/icomputing.0245.
18. B. Jatmiko, "Strategi Distribusi Produk Teh Botol Sosro oleh PT. Sinar Sosro Cabang Kendari," *Jurnal Komastie*, vol. 1, 2024, doi: 10.34133/icomputing.0245.

no. 1, pp. 15–27, 2020.

19. M. Andini, R. U. Kultsum, M. H. R. Raihan, dan S. Lestari, “Optimasi Pencarian Rute Terpendek Menggunakan Algoritma Dijkstra,” *JISAMAR: Journal of Information System, Applied, Management, Accounting and Research*, vol. 9, no. 1, pp. 1–8, 2025, doi: 10.52362/jisamar.v9i1.1746.
20. M. Fatwa, R. Rizki, P. Sriwinarty, dan E. Supriyadi, “Pengaplikasian Matlab pada Perhitungan Matriks,” *Papanda Journal of Mathematics and Science Research*, vol. 1, no. 2, pp. 81–93, 2022, doi: 10.56916/pjmsr.v1i2.260.
21. D. Wijayati, R. Krisnha, dan S. Dewi, “SISTEMIK: Jurnal Ilmiah Nasional Bidang Ilmu Teknik,” vol. 12, no. 1, pp. 24–31, 2024.
22. W. F. Amanullah, S. Wahyuningsih, dan L. T. Oktoviana, “Ant Colony Optimization (ACO) pada Job Shop Scheduling Problem (JSSP),” *Jurnal MIPA dan Pembelajarannya*, vol. 2, no. 11, p. 9, 2023, doi: 10.17977/umo67v2i112022p9.
23. T. Kinanti dan R. Aprilia, “Optimasi Vehicle Routing Problem (VRP) terhadap Rute Pengangkutan Sampah di Kota Medan dengan Algoritma Ant Colony Optimization,” vol. 7, pp. 1271–1285, 2025.