

Table Of Content

Journal Cover	2
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	8

Academia Open



By Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

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>

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

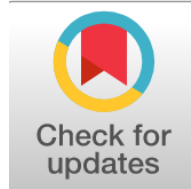
Complete list of editorial team ([link](#))

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

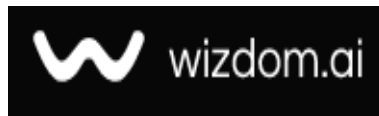
How to submit to this journal ([link](#))

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

Optimizing Spare Part Delivery Routes Using Ant Colony Optimization

Optimasi Rute Pengiriman Suku Cadang Menggunakan Algoritma Koloni Semut

Septia Anggraini, septia.agr@gmail.com, (1)

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

Enny Aryanny, enny.ti@upnjatim.ac.id, (0)

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

⁽¹⁾ Corresponding author

Abstract

General Background: Efficient route planning is a fundamental aspect of logistics, directly impacting operational costs, fuel consumption, and customer satisfaction. **Specific Background:** A logistics company based in Batam has been facing inefficiencies in spare part delivery operations due to suboptimal routing strategies. **Knowledge Gap:** While various routing solutions exist, few are tailored to accommodate dynamic, real-world constraints such as vehicle capacity and varying delivery points in mid-scale logistics operations. **Aim:** This study aims to optimize delivery routes using the Ant Colony Optimization (ACO) algorithm by modeling the problem as a Vehicle Routing Problem (VRP) with specific operational constraints. **Results:** The implementation of ACO significantly reduced total travel distance compared to the company's existing manual routing approach. As a result, fuel consumption was lowered, delivery times improved, and customer service enhanced. **Novelty:** Unlike generic routing systems, the proposed ACO-based model dynamically adapts to real operational variables through pheromone-based local and global updates, improving the solution iteratively with each cycle. **Implications:** This research provides a practical and intelligent decision-support framework for logistics planning, demonstrating that metaheuristic algorithms such as ACO can robustly handle complex delivery challenges and be scaled to broader logistics applications

Highlights:

- Improves route efficiency using ACO in real delivery operations.
- Reduces distance, fuel usage, and delivery time significantly.
- Provides a scalable model for intelligent logistics planning.

Keywords: Ant Colony Optimization, Vehicle Routing Problem, Logistics Efficiency, Route Optimization, Metaheuristic Algorithm

Pendahuluan

Logistik di Indonesia telah menjadi bagian yang tak terpisahkan dari berbagai sektor. Setiap tahunnya, industri logistik terus mengalami perkembangan dan transformasi yang signifikan [1]. Perannya sangat vital dalam memastikan dapat berjalan dengan lancar. Tanpa adanya sistem logistik yang baik, proses distribusi barang tentu akan terhambat [2]. Logistik merupakan kegiatan penting dalam suatu organisasi yang berperan dalam meningkatkan efektivitas dan efisiensi operasional [3]. Dalam era globalisasi dan persaingan pasar yang semakin ketat, perusahaan-perusahaan logistik dituntut untuk melakukan inovasi dalam sistem distribusi untuk menjaga daya saing mereka [4]. Pendistribusian barang atau jasa merupakan suatu proses kegiatan pemasaran yang bertujuan untuk mempermudah kegiatan penyaluran barang atau jasa dari pihak produsen ke pihak konsumen [5]. Salah satu tantangan utama adalah jarak yang jauh yang harus ditempuh dalam distribusi logistik di Indonesia, mengingat negara ini terdiri dari banyak pulau yang tersebar di seluruh wilayah. Jarak yang jauh ini dapat menimbulkan keterlambatan dalam pengiriman logistik, serta menambah biaya transportasi [6]. Optimasi adalah upaya menemukan solusi terbaik untuk suatu permasalahan dengan menggunakan pendekatan tertentu, di mana proses pencarian solusi ini dapat melibatkan sejumlah agen yang secara kolektif membentuk suatu sistem yang berkembang dan beradaptasi [7]. Optimasi rute pengiriman penting untuk dilakukan. Dalam menentukan distribusi yang optimal diperlukan pertimbangan jarak tempuh yang akan dituju. Oleh karena itu, perusahaan memerlukan analisis dalam pemilihan rute untuk mengirim barang [8].

PT T adalah perusahaan yang beroperasi di sektor jasa distribusi logistik yang berlokasi di Provinsi Kepulauan Riau, menyediakan layanan pengelolaan dan pengiriman barang yang efisien. PT T membantu setiap perusahaan yang membutuhkan jasanya dalam pendistribusian, pada permasalahan ini dikhususkan untuk pengiriman *sparepart* di berbagai perusahaan bergerak industri. Pengiriman *sparepart* memiliki karakteristik yang cukup sensitif terhadap waktu. Pada proses pendistribusian *sparepart* yang dilakukan sering terjadi keterlambatan yang memakan waktu. Keterlambatan yang terjadi diakibatkan karena rute pengiriman belum optimal yang berkaitan erat dengan kondisi operasional PT T yang belum menerapkan sistem penjadwalan rute berbasis algoritma optimasi. Dalam praktiknya, perusahaan cenderung menggunakan pendekatan manual atau rute tetap yang tidak mempertimbangkan jarak terpendek, serta urutan pengiriman yang efisien berdasarkan lokasi tujuan. Pada proses pendistribusian *sparepart* yang dilakukan sering terjadi keterlambatan, sehingga aktivitas distribusi menjadi tidak efisien yang mengakibatkan pemborosan sumber daya operasional, seperti bahan bakar, waktu kerja pengemudi, hingga tingginya biaya logistik secara keseluruhan karena mempertimbangkan juga dari kapasitas angkut maksimal kendaraan *truck canterbox* sebesar 10 ton. Selain itu, belum diterapkannya teknologi seperti GPS *tracking* atau algoritma optimasi membuat perusahaan kehilangan peluang untuk memantau, mengevaluasi, dan menyempurnakan sistem pengirimannya secara *real-time*.

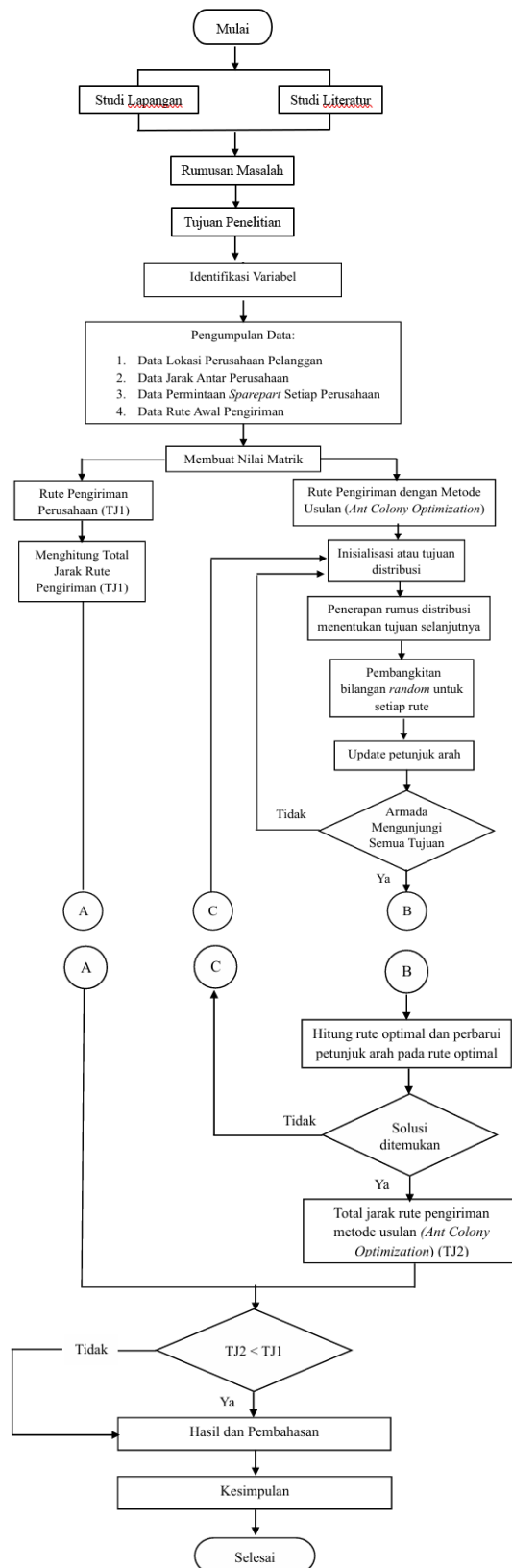
Dalam kondisi seperti ini, pendekatan *Vehicle Routing Problem* (VRP) hadir sebagai solusi yang sangat relevan dan bernilai strategis. VRP merupakan persoalan klasik namun fundamental dalam dunia transportasi dan logistik yang berfokus pada bagaimana merancang rute pengiriman kendaraan secara optimal dengan mempertimbangkan banyak variabel sekaligus [9]. Maka dari itu, pemilihan VRP sebagai pendekatan utama dalam upaya pembenahan sistem distribusi di PT T. Salah satu pendekatan yang terbukti efektif adalah *Ant Colony Optimization* (ACO). Menurut [10] penerapan *Ant Colony Optimization* (ACO) dapat diandalkan untuk menyelesaikan permasalahan distribusi barang. *Ant Colony Optimization* (ACO) sangat cocok menentukan jalur pendistribusian barang karena algoritma ini melakukan pembaruan pada feromon yang dapat menghasilkan simulasi dengan solusi lebih optimal karena memiliki laju konvergensi yang cepat [11]. Dalam penyelesaian

permasalahan pengoptimalkan rute logistik ini, terdapat berbagai macam metode penyelesaian yaitu metode *Tabu Search* yang berfokus pada pencarian lokal dengan menyimpan solusi sebelumnya dalam daftar tabu untuk menghindari pengulangan [12]. *Simulated Annealing* (SA) terinspirasi dari proses fisik pendinginan logam, di mana suhu diturunkan secara perlahan untuk menghindari jatuh ke titik rendah energi (solusi lokal) [13]. Kemudian metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) meniru perilaku kelompok partikel yang bergerak menuju solusi optimal berdasarkan posisi dan kecepatan mereka [14]. Namun, dari semua metode yang digunakan metode *Ant Colony Optimization* (ACO) dipilih dikarenakan metode tersebut ACO dapat mencari solusi secara paralel menggunakan banyak agen (semut) sekaligus [15].

Dengan demikian, penerapan metode *Ant Colony Optimization* (ACO) di PT T diharapkan dapat memberikan solusi yang efektif dalam merancang rute pengiriman yang optimal dalam pengiriman sparepart. Melalui optimasi rute pengiriman yang lebih efisien, perusahaan dapat mempercepat waktu pengiriman dan meningkatkan kepuasan pelanggan. Dengan adanya pendekatan yang berbasis pada perilaku koloni semut ini, penulis berharap perusahaan dapat menghadapi tantangan pengiriman dengan lebih baik, meningkatkan daya saing di pasar, dan mendukung keberlanjutan operasional perusahaan dalam jangka panjang.

Metode

Penelitian ini merupakan studi kuantitatif berbasis eksperimen komputasional yang mengangkat studi kasus di PT T dengan tujuan mengoptimalkan perencanaan rute distribusi sparepart menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO). Permasalahan distribusi dimodelkan sebagai *Vehicle Routing Problem* (VRP) yang mempertimbangkan variabel-variabel seperti lokasi pelanggan, jarak antar titik distribusi, permintaan sparepart, dan kapasitas kendaraan. Data primer dikumpulkan melalui observasi lapangan, wawancara, dan dokumentasi internal perusahaan. Proses penyelesaian dilakukan melalui beberapa tahap, dimulai dari inisialisasi parameter ACO (jumlah semut, intensitas feromon awal, α , β , dan konstanta penguapan ρ), perhitungan visibilitas dan probabilitas transisi, hingga pembaruan feromon secara lokal dan global. Penentuan rute optimal dilakukan secara iteratif melalui mekanisme pencarian jalur terpendek berdasarkan akumulasi jejak feromon dan heuristik jarak. Simulasi dijalankan menggunakan perangkat lunak MATLAB untuk membentuk, menguji, dan memvisualisasikan rute distribusi yang dihasilkan. Efektivitas solusi dievaluasi dengan membandingkan total jarak tempuh dan efisiensi rute hasil ACO terhadap rute aktual perusahaan. Metode ACO dipilih karena kemampuannya dalam mengeksplorasi ruang solusi secara paralel, adaptif terhadap dinamika permasalahan logistik, serta efisien dalam menemukan solusi mendekati optimal pada permasalahan kombinatorial berskala besar.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Hasil dan Pembahasan

A. Rute Awal Pengiriman

Data rute awal pengiriman merupakan data yang didapatkan dari rute yang digunakan dalam pengiriman *sparepart* yang dipesan oleh berbagai perusahaan yang mempercayakan jasa pengiriman di PT T. Berikut merupakan data rute awal yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

No	Rute yang Dilalui	Jarak (KM)
1	PT T (1) – PT K (4) – PT S (10) – PT CK (11) – PT B (12) – PT C (9) – PT T (1)	52,9
2	PT T (1) – PT TM (3) – PT TK (7) – PT TB (5) – PT T (1)	89,1
3	PT T (1) – PT P (2) – PT SI (6) – PT T (1)	211,8
4	PT T (1) – PT M (8) – PT T (1)	191,8
Total Jarak		545,6

Tabel 1. Rute Awal Pengiriman

Data diatas didapatkan dari perhitungan jarak dari perusahaan ke perusahaan dengan menampilkan dalam bentuk matrik, yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Matrik (KM)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	25,2	21,9	7,6	10,7	95,4	19,4	95,9	10,2	17,5	9,4	10,1
2	25,2	0	5,4	18,4	26,6	91,2	29,2	91,7	26,2	33,2	25,4	26
3	21,9	5,4	0	14,3	26,2	89,6	33,4	90,1	22,6	31,6	21,3	22,5
4	7,6	18,4	14,3	0	12,4	95,5	13,5	96	12	11,7	11,1	11,8
5	10,7	26,6	26,2	12,4	0	97	23,1	97,5	2	21,3	4,2	2
6	95,4	91,2	89,6	95,5	97	0	107	1,1	95,8	105	93,5	95,7
7	19,4	29,2	33,4	13,5	23,1	107	0	107	23,9	5,4	22,1	23,8
8	95,9	91,7	90,1	96	97,5	1,1	107	0	96,9	106	94,6	96,8
9	10,2	26,2	22,6	12	2	95,8	23,9	96,9	0	21,1	4	0,5
10	17,5	33,2	31,6	11,7	21,3	105	5,4	106	21,1	0	20,1	21
11	9,4	25,4	21,3	11,1	4,2	93,5	22,1	94,6	4	20,1	0	2,8
12	10,1	26	22,5	11,8	2	95,7	23,8	96,8	0,5	21	2,8	0

Tabel 2. Data Matrik Jarak Antar Perusahaan

B. Rute Pengiriman Dengan Metode *Ant Colony Optimization*

Pada pengerjaan dengan metode *Ant Colony Optimization* tahap pertama yang dilakukan yaitu pada tahap inisialisasi dilakukan perhitungan visibilitas dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

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

Hasil perhitungan dengan menggunakan rumus tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Matrik k (KM)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0,04 0	0,04 6	0,13 2	0,09 3	0,01 0	0,05 2	0,01 0	0,09 8	0,05 7	0,10 6	0,09 9

2	0,04 0	0	0,18 5	0,05 4	0,03 8	0,01 1	0,03 4	0,01 1	0,03 8	0,03 0	0,03 9	0,03 8
3	0,04 6	0,18 5	0	0,07 0	0,03 8	0,01 1	0,03 0	0,01 1	0,04 4	0,03 2	0,04 7	0,04 4
4	0,13 2	0,05 4	0,07 0	0	0,08 1	0,01 0	0,07 4	0,01 0	0,08 3	0,08 5	0,09 0	0,08 5
5	0,09 3	0,03 8	0,03 8	0,08 1	0	0,01 0	0,04 3	0,01 0	0,50 0	0,04 7	0,23 8	0,50 0
6	0,01 0	0,01 1	0,01 1	0,01 0	0,01 0	0	0,00 9	0,90 9	0,01 0	0,01 0	0,01 1	0,01 0
7	0,05 2	0,03 4	0,03 0	0,07 4	0,04 3	0,00 9	0	0,00 9	0,04 2	0,18 5	0,04 5	0,04 2
8	0,01 0	0,01 1	0,01 1	0,01 0	0,01 0	0,90 9	0,00 9	0	0,01 0	0,00 9	0,01 1	0,01 0
9	0,09 8	0,03 8	0,04 4	0,08 3	0,50 0	0,01 0	0,04 2	0,01 0	0	0,04 7	0,25 0	2,00 0
10	0,05 7	0,03 0	0,03 2	0,08 5	0,04 7	0,01 0	0,18 5	0,00 9	0,04 7	0	0,05 0	0,04 8
11	0,10 6	0,03 9	0,04 7	0,09 0	0,23 8	0,01 1	0,04 5	0,01 1	0,25 0	0,05 0	0	0,35 7
12	0,09 9	0,03 8	0,04 4	0,08 5	0,50 0	0,01 0	0,04 2	0,01 0	2,00 0	0,04 8	0,35 7	0

Tabel 3. Tabel Visibilitas Antar Perusahaan

Setelah perhitungan visibilitas antar perusahaan yang menggunakan jasa PT. T dengan rumus visibilitas $1/d$, langkah berikutnya adalah menetapkan nilai *pheromone*. Pada tahap awal, setiap rute pengiriman diberikan nilai *pheromone* sebesar 1, karena belum ada pergerakan semut melalui rute antar perusahaan, sehingga seluruh rute diasumsikan memiliki nilai yang setara.

1. Pengisian Tabu List

Setelah menentukan nilai *pheromone* untuk setiap jarak perusahaan, langkah berikutnya adalah mengisi tabu list, yaitu tabel yang mencatat rute kunjungan yang akan dipakai dan dapat digunakan sebagai referensi dalam pemilihan rute. Pada tahap pengisian tabu list, langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan node keberangkatan sebagai titik awal perjalanan. Dalam hal ini, PT T dipilih sebagai node pertama untuk memulai pengiriman. Karena titik awal tidak memerlukan perhitungan, tingkat visibilitas pada node pertama diatur menjadi 0.

Matri												
k (KM)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0,04 0	0,04 6	0,13 2	0,09 3	0,01 0	0,05 2	0,01 0	0,09 8	0,05 7	0,10 6	0,09 9
2	0	0	0,18 5	0,05 4	0,03 8	0,01 1	0,03 4	0,01 1	0,03 8	0,03 0	0,03 9	0,03 8
3	0	0,18 5	0	0,07 0	0,03 8	0,01 1	0,03 0	0,01 1	0,04 4	0,03 2	0,04 7	0,04 4
4	0	0,05 4	0,07 0	0	0,08 1	0,01 0	0,07 4	0,01 0	0,08 3	0,08 5	0,09 0	0,08 5

5	0	0,03 8	0,03 8	0,08 1	0	0,01 0	0,04 3	0,01 0	0,50 0	0,04 7	0,23 8	0,50 0
6	0	0,01 1	0,01 1	0,01 0	0,01 0	0	0,00 9	0,90 9	0,01 0	0,01 0	0,01 1	0,01 0
7	0	0,03 4	0,03 0	0,07 4	0,04 3	0,00 9	0	0,00 9	0,04 2	0,18 5	0,04 5	0,04 2
8	0	0,01 1	0,01 1	0,01 0	0,01 0	0,90 9	0,00 9	0	0,01 0	0,00 9	0,01 1	0,01 0
9	0	0,03 8	0,04 4	0,08 3	0,50 0	0,01 0	0,04 2	0,01 0	0	0,04 7	0,25 0	2,00 0
10	0	0,03 0	0,03 2	0,08 5	0,04 7	0,01 0	0,18 5	0,00 9	0,04 7	0	0,05 0	0,04 8
11	0	0,03 9	0,04 7	0,09 0	0,23 8	0,01 1	0,04 5	0,01 1	0,25 0	0,05 0	0	0,35 7
12	0	0,03 8	0,04 4	0,08 5	0,50 0	0,01 0	0,04 2	0,01 0	2,00 0	0,04 8	0,35 7	0

Tabel 4. Visibilitas Node Baru

Setelah melakukan perubahan terhadap nilai visibilitas diatas untuk node pertama, maka langkah selanjutnya yaitu melakukan perhitungan peluang semut mengunjungi node berikutnya yaitu dengan rumus sebagai berikut:

$$P_{ij}^k = \frac{(\tau_{ij})^\alpha \times (\eta_{ij})^\beta}{\sum (\tau_{ij})^\alpha \times (\eta_{ij})^\beta} \quad (2)$$

Langkah berikutnya adalah menghasilkan bilangan random r untuk menentukan perusahaan yang akan dikunjungi selanjutnya. Bilangan random yang dibangkitkan adalah $r = 0,283937$, kemudian dibandingkan dengan nilai peluang kumulatif. Dalam perhitungan jumlah kumulatif peluang, bilangan random ini paling sesuai dengan nilai yang berada tepat di bawah 0,317498 yang merupakan nilai peluang kumulatif pada node 4. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa setelah node pertama, semut akan mengunjungi node 4. Karena node 4 telah dipilih sebagai rute, maka kolom 4 dalam matriks visibilitas harus diubah menjadi 0. Perubahan ini dapat dilihat pada tabel di bawah.

Matrik (KM)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0,040	0,046	0	0,093	0,010	0,052	0,010	0,098	0,057	0,106	0,099
2	0	0	0,185	0	0,038	0,011	0,034	0,011	0,038	0,030	0,039	0,038
3	0	0,185	0	0	0,038	0,011	0,030	0,011	0,044	0,032	0,047	0,044
4	0	0,054	0,070	0	0,081	0,010	0,074	0,010	0,083	0,085	0,090	0,085
5	0	0,038	0,038	0	0	0,010	0,043	0,010	0,500	0,047	0,238	0,500
6	0	0,011	0,011	0	0,010	0	0,009	0,909	0,010	0,010	0,011	0,010
7	0	0,034	0,030	0	0,043	0,009	0	0,009	0,042	0,185	0,045	0,042
8	0	0,011	0,011	0	0,010	0,909	0,009	0	0,010	0,009	0,011	0,010
9	0	0,038	0,044	0	0,500	0,010	0,042	0,010	0	0,047	0,250	2,000
10	0	0,030	0,032	0	0,047	0,010	0,185	0,009	0,047	0	0,050	0,048
11	0	0,039	0,047	0	0,238	0,011	0,045	0,011	0,250	0,050	0	0,357

12	0	0,038	0,044	0	0,500	0,010	0,042	0,010	2,000	0,048	0,357	0
----	---	-------	-------	---	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	---

Tabel 5. Visibilitas Node Baru

Setelah tabel visibilitas diperbarui, perhitungan dilakukan kembali menggunakan rumus sebelumnya tanpa menyertakan node 1 dan node 4. Dari perhitungan dengan menggunakan data pada tabel sebelumnya dihasilkan bilangan acak r untuk menentukan perusahaan yang akan dikunjungi berikutnya. Bilangan acak yang dihasilkan adalah $r = 0,597686$, kemudian dibandingkan dengan nilai peluang kumulatif. Dalam proses perhitungan peluang kumulatif, bilangan acak ini paling mendekati nilai di bawah 0,690355, yaitu peluang kumulatif pada node 10. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa setelah mengunjungi node pertama, semut akan menuju node 4, lalu melanjutkan perjalanan ke node 10. Karena node 10 telah terpilih sebagai bagian dari rute, maka kolom 10 dalam matriks visibilitas harus diubah menjadi 0. Perubahan ini dapat dilihat pada tabel di bawah.

Matrik (KM)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0,040	0,046	0	0,093	0,010	0,052	0,010	0,098	0	0,106	0,099
2	0	0	0,185	0	0,038	0,011	0,034	0,011	0,038	0	0,039	0,038
3	0	0,185	0	0	0,038	0,011	0,030	0,011	0,044	0	0,047	0,044
4	0	0,054	0,070	0	0,081	0,010	0,074	0,010	0,083	0	0,090	0,085
5	0	0,038	0,038	0	0	0,010	0,043	0,010	0,500	0	0,238	0,500
6	0	0,011	0,011	0	0,010	0	0,009	0,909	0,010	0	0,011	0,010
7	0	0,034	0,030	0	0,043	0,009	0	0,009	0,042	0	0,045	0,042
8	0	0,011	0,011	0	0,010	0,909	0,009	0	0,010	0	0,011	0,010
9	0	0,038	0,044	0	0,500	0,010	0,042	0,010	0	0	0,250	2,000
10	0	0,030	0,032	0	0,047	0,010	0,185	0,009	0,047	0	0,050	0,048
11	0	0,039	0,047	0	0,238	0,011	0,045	0,011	0,250	0	0	0,357
12	0	0,038	0,044	0	0,500	0,010	0,042	0,010	2,000	0	0,357	0

Tabel 6. Visibilitas Node Baru

Setelah tabel visibilitas diperbarui, perhitungan dilakukan kembali menggunakan rumus sebelumnya tanpa menyertakan node 1, 4 dan node 10. Pada tahap selanjutnya dalam proses perhitungan menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO), dihasilkan bilangan acak atau *random number* $r = 0,825634$ yang digunakan untuk menentukan node atau perusahaan tujuan berikutnya yang akan dikunjungi oleh semut. Nilai ini dibandingkan dengan peluang kumulatif yang telah dihitung berdasarkan fungsi probabilitas transisi, yang mempertimbangkan intensitas feromon dan visibilitas antar node. Nilai r tersebut jatuh tepat di bawah nilai kumulatif 0,844266, yang mengarah pada pemilihan node ke-7 sebagai tujuan berikutnya. Dengan demikian, setelah melewati node awal, semut bergerak menuju node 4, kemudian ke node 10, dan selanjutnya ke node 7. Karena node 7 telah dikunjungi, maka untuk mencegah terjadinya siklus atau kunjungan ulang, dilakukan pembaruan pada matriks visibilitas dengan mengubah nilai pada kolom yang bersesuaian dengan node 7 menjadi nol.

Perhitungan berlanjut sampai semua rute dikunjungi dan semua kolom pada tabel bernilai 0. Jumlah semut yang digunakan disesuaikan dengan jumlah armada yang tersedia, dan perhitungan ini dilakukan berulang kali untuk setiap semut. Dari beberapa kali perulangan, diperoleh rute terbaik yang mampu meminimalkan total jarak tempuh. Setelah semua perhitungan selesai, hasil akhir

menunjukkan bahwa rute optimal yang diperoleh adalah 1 – 4 – 10 – 7 – 9 – 12 – 5 – 8 – 6 – 11 – 2 – 3 – 1, dengan total jarak tempuh 319,9 km.

Setiap kali seekor semut menyelesaikan perjalanannya, ia akan meninggalkan jejak *pheromone* pada jalur yang telah dilewati. *Pheromone* ini berfungsi sebagai sinyal bagi semut lain, membantu mereka dalam mempertimbangkan jalur yang lebih efisien untuk perjalanan berikutnya. Semakin banyak *pheromone* yang tertinggal di suatu jalur, semakin besar kemungkinan jalur tersebut akan dipilih kembali oleh semut lainnya. Untuk menentukan perubahan intensitas *pheromone* di setiap jalur antar perusahaan, digunakan perhitungan khusus. Rumus ini mempertimbangkan jumlah *pheromone* yang dilepaskan berdasarkan kualitas rute yang dipilih, dengan tujuan mengarahkan semut lain ke jalur yang lebih optimal. *Pheromone* ini dihasilkan secara individu selama perjalanan dan berkontribusi pada proses pencarian jalur terbaik. Adapun rumus yang dapat digunakan untuk pembaruan *pheromone* secara lokal adalah sebagai berikut:

$$\Delta\tau_{ij}^k = \frac{Q}{L_{best}} \quad (3)$$

Dengan contoh perhitungan seperti dibawah ini:

$$\begin{aligned} \Delta\tau_{ij}^k &= \frac{Q}{L_{best}} \\ &= \frac{1}{319,9} \\ &= 0,0031 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \tau_{ij2} &= (1 - \rho) \tau_{ij} + \Delta\tau_{ij}^k \quad (4) \\ \tau_{ij2} &= (1 - \rho) \tau_{ij} + \Delta\tau_{ij}^k \\ &= (1 - 0,5) 1 + 0,0031 = 0,5031 \end{aligned}$$

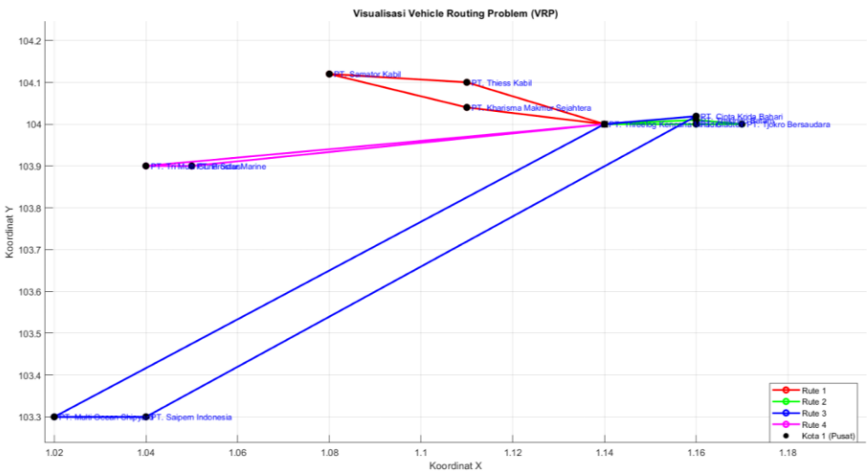
Pada jalur yang tidak dilalui oleh semut dalam suatu iterasi, *pheromone* yang ada akan terus mengalami penguapan tanpa ada tambahan baru. Akibatnya, tingkat *pheromone* pada jalur tersebut semakin berkurang, sehingga kemungkinan jalur tersebut dipilih di iterasi berikutnya menjadi lebih kecil.

Sementara itu, proses iterasi dalam algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) berlangsung secara berkelanjutan hingga seluruh agen (semut) secara konsisten memilih lintasan yang sama, yang diindikasikan sebagai rute dengan nilai fungsi objektif terbaik. Kondisi ini menunjukkan bahwa solusi optimal atau mendekati optimal telah ditemukan. Apabila konvergensi belum tercapai, maka iterasi akan tetap dilanjutkan hingga mencapai batas maksimum iterasi yang telah ditetapkan dalam parameter algoritma. Melalui mekanisme pembaruan feromon secara adaptif dan prinsip eksploitasi serta eksplorasi, algoritma ACO memungkinkan semut-semut untuk secara bertahap memperkuat jalur-jalur yang memberikan hasil paling efisien, sehingga solusi akhir yang dihasilkan mampu meminimalkan total jarak tempuh secara signifikan dalam konteks permasalahan rute.

2. Pembentukan Rute Kunjungan

Adapun hasil rute pengiriman yang telah diperoleh dari *software* MATLAB dapat dilihat pada gambar berikut:

100 319.90
 Rute 1: 1-4-10-7-1-
 Rute 2: 1-9-12-5-1-
 Rute 3: 1-8-6-11-1-
 Rute 4: 1-2-3-1-
 100 319.90
 Rute terbaik:
 {[1 4 10 7 1]} {[1 9 12 5 1]} {[1 8 6 11 1]} {[1 2 3 1]}
 Total jarak: 319.9



Gambar 2. Output Algoritma *Ant Colony Optimization*

Penyusunan rute kunjungan divisualisasikan menggunakan *software* MATLAB. Berdasarkan hasil *output* dari *software* tersebut, diperoleh rute paling optimal setelah melalui beberapa iterasi perhitungan. Visualisasi yang dihasilkan menunjukkan pembagian rute distribusi dari PT T ke berbagai perusahaan tujuan. Dalam proses distribusi ini, digunakan empat armada untuk memastikan pengiriman berjalan secara efektif dan terkoordinasi.

3. Perhitungan Jarak Semua Rute Kunjungan Optimal

Dapat diketahui dengan berdasarkan keterbatasan kapasitas yang ada dari armada pengangkut yang disediakan oleh PT T untuk dapat sampai ke setiap perusahaan tujuan. Dapat terbagi menjadi 4 rute sebagai berikut:

a. Rute Pertama

Dari hasil pengolahan dengan metode *Ant Colony Optimization* didapatkan rute seperti dibawah ini dengan penjelasan rinci tertera pada tabel dibawah ini

Rute Pengiriman	Jarak (KM)	Total Jarak (KM)
PT T (1) – PT. K (4)– PT. S (10) – PT. TK (7) – PT T (1)	7,6 + 11,7 + 5,4 + 19,4	44,1

Tabel 7. Perhitungan Jarak Rute Pertama

Pada rute pengiriman pertama didapatkan hasil yaitu dari PT T – PT. K– PT. S– PT. TK – PT T dengan total jarak 44,1 KM.

b. Rute Kedua

Dari hasil pengolahan dengan metode *Ant Colony Optimization* didapatkan rute seperti dibawah ini dengan penjelasan rinci tertera pada tabel dibawah ini

Rute Pengiriman	Jarak (KM)	Total Jarak (KM)
PT T (1) – PT. C (9) – PT. TB (12) – PT. TB (5) – PT T (1)	$10,2 + 0,5 + 2,0 + 10,7$	23,4

Tabel 8. Perhitungan Jarak Rute Kedua

Pada rute pengiriman kedua didapatkan hasil yaitu dari PT T – PT. C – PT. B – PT. TB – PT T dengan total jarak 23,4 KM.

c. Rute Ketiga

Dari hasil pengolahan dengan metode *Ant Colony Optimization* didapatkan rute seperti dibawah ini dengan penjelasan rinci tertera pada tabel dibawah ini

Rute Pengiriman	Jarak (KM)	Total Jarak (KM)
PT T (1) – PT. M (8) – PT. SI (6) –PT CK (11) – PT T (1)	$95,9 + 1,1 + 93,5 + 9,4$	199,9

Tabel 9. Perhitungan Jarak Rute Ketiga

Pada rute pengiriman ketiga didapatkan hasil yaitu dari PT T– PT. M – PT. SI – PT CK– PT T dengan total jarak 199,9 KM.

d. Rute Keempat

Dari hasil pengolahan dengan metode *Ant Colony Optimization* didapatkan rute seperti dibawah ini dengan penjelasan rinci tertera pada tabel dibawah ini

Rute Pengiriman	Jarak (KM)	Total Jarak (KM)
PT T (1) – PT. P (2) – PT. TM (3) – PT T (1)	$25,2 + 5,4 + 21,9$	52,5

Tabel 10. Perhitungan Jarak Rute Keempat

Pada rute pengiriman keempat didapatkan hasil yaitu dari PT T – PT. P – PT. TM – PT T dengan total jarak 52,5 KM.

Berdasarkan perhitungan menggunakan *software* MATLAB dengan metode *Ant Colony Optimization* (ACO), rute paling optimal ditemukan pada iterasi ke-9. Namun, iterasi tetap dilanjutkan hingga 100 kali untuk memastikan bahwa hasil tersebut benar-benar optimal. Dari *output* yang diperoleh, terlihat bahwa mulai dari iterasi ke-9 hingga iterasi ke-100, rute yang dihasilkan tetap sama, menandakan bahwa solusi optimal telah ditemukan.

e. Rute Pengiriman dengan Jarak Terpendek

Analisis terhadap rute pengiriman yang digunakan oleh PT T menunjukkan adanya ketidakefisienan, dengan total jarak tempuh mencapai 545,6 KM. Hal ini disebabkan belum diterapkannya pendekatan algoritmik dalam perencanaan rute distribusi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dilakukan optimasi menggunakan metode *Ant Colony Optimization* (ACO),

sebuah algoritma metaheuristik yang efektif dalam menyelesaikan *Vehicle Routing Problem* (VRP) dengan cara meniru perilaku semut dalam menemukan jalur terpendek melalui proses iteratif dan pembaruan feromon. Setelah dilakukan pemodelan dan simulasi berbasis data jarak antarlokasi, diperoleh rute paling efisien dengan total jarak hanya 319,9 KM. Pengurangan jarak tempuh sebesar 225,7 KM ini menunjukkan bahwa penerapan ACO secara signifikan dapat meningkatkan efisiensi distribusi dan mendukung pengambilan keputusan logistik yang lebih tepat dan berbasis data. Perbandingan rute perusahaan dengan rute dengan metode usulan dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Rute Awal Perusahaan		<i>Ant Colony Optimization</i> (ACO)	
Rute yang Dilalui	Jarak (KM)	Rute yang Dilalui	Jarak (KM)
PT T – PT K – PT S – PT CK– PT TB – PT C –PT T	52,9	PT T– PT. K – PT. S– PT. TK – PT T	44,1
PT T– PT TM – PT TK – PT TB – PT T	89,1	PT T– PT. C – PT. B – PT. TB – PT T	23,4
PT T– PT P– PT SI – PT T	211,8	PT T – PT. M – PT. SI–PT CK– PT T	199,9
PT T– PT M– PT T	191,8	PT T– PT. P – PT. TM– PT T	52,5
Total Jarak yang Ditempuh	545,6	Total Jarak yang Ditempuh	319,9

Tabel 11. Perbandingan Rute Awal dan *Ant Colony Optimization*

Perbandingan antar rute awal perusahaan dan metode *Ant Colony Optimization* (ACO) didapatkan perbedaan yang cukup signifikan. Untuk lebih jelasnya dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Selisih Jarak} &= \text{Rute Perusahaan} - \text{Rute Metode ACO} \\
 &= 545,6 - 319,9 \\
 &= 225,7 \text{ KM}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase Perubahan Rute} &= \frac{\text{Rute Perusahaan} - \text{Rute Metode ACO}}{\text{Rute Perusahaan}} \times 100\% \\
 &= \frac{545,6 - 319,9}{545,6} \times 100\% \\
 &= 41,4\%
 \end{aligned}$$

Didapatkan jumlah total rute awal perusahaan mencapai 545,6 KM kemudian untuk jumlah total rute dengan metode *Ant Colony Optimization* (ACO) sebesar 319,9 KM. Dari perbandingan antara rute perusahaan dan rute dengan metode *Ant Colony Optimization* (ACO) didapatkan penghematan jarak rute sebesar 225,7 KM atau setara dengan 41,4%, yang berkontribusi pada efisiensi operasional perusahaan.

Simpulan

Didapatkan jumlah total rute awal perusahaan sebesar 545,6 KM kemudian untuk jumlah total rute dengan metode *Ant Colony Optimization* (ACO) sebesar 319,9 KM. Dari perbandingan dari rute perusahaan dan rute menggunakan metode *Ant Colony Optimization* (ACO) terdapat penghematan jarak rute 225,7 KM dapat dinyatakan terjadi presentase penghematan rute pengiriman sebesar 41,4%. Berdasarkan rute awal untuk rute pertama (1 – 4 – 10 – 11 – 12 – 9 – 1) sejauh 52,9 KM, rute dua (1 – 3 – 7 – 5 – 1) sejauh 89,1 KM, rute ketiga (1 – 2 – 6 – 1) sejauh 211,8 KM, dan rute

keempat (1 – 8 – 1) sejauh 191,8 KM. Setelah pengolahan data menggunakan metode *Ant Colony Optimization* didapatkan rute pengiriman yang optimal menggunakan pembagian 4 sub rute, dengan rute pertama (1 – 4 – 10 – 7 – 1) sejauh 42,1 KM, rute kedua (1 – 9 – 12 – 5 – 1) sejauh 23,4 KM, rute ketiga (1 – 8 – 6 – 11 – 1) sejauh 199,9 KM, dan rute keempat (1 – 2 – 3 – 1) sejauh 52,5 KM.

References

- [1] B. Covaci, R. Brejea, and M. Covaci, “The Dynamic of Commerce and Logistic 4.0: Evidences from the European and Romanian,” *Annals of the Academy of Romanian Scientists Series on Agriculture, Silviculture and Veterinary Medicine Sciences*, vol. 11, no. 1, pp. 62–71, 2022.
- [2] M. Tohir, A. Primadi, and S. P. Akmalia, “Analisis Infrastruktur, Distribusi dan Warehousing terhadap Sistem Logistik di Indonesia,” *Jurnal Manajemen dan Pemasaran Digital*, vol. 1, no. 2, pp. 101–109, 2023. [Online]. Available: <https://siberpublisher.org/https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
- [3] B. K. Simpony, S. I. P. Rizaldy, S. Suleman, and P. Widodo, “Sistem Informasi Logistik Menggunakan Metode Prototype,” *Jurnal Khatulistiwa Informatika*, vol. 10, no. 2, pp. 90–98, 2022, doi: 10.31294/jki.v10i2.14093.
- [4] Y. R. Akbar and Mar’aini, “Optimasi Produksi pada Industri Kecil dan Menengah Karya Unisi dengan Penerapan Model Linear Programming,” *JIP: Jurnal Inovasi Penelitian*, vol. 2, no. 8, pp. 2883–2892, 2022.
- [5] A. F. Sidabutar and R. Habibi, *Sistem Optimasi Penjadwalan dan Biaya Transportasi Pengiriman Barang*. Buku Pedia, 2022.
- [6] S. Sahara and Y. Saputra, “Pengaruh Transportasi Darat terhadap Kelancaran Distribusi Logistik,” *Innovation: Journal of Social Science Research*, vol. 3, no. 6, pp. 8794–8800, 2023.
- [7] A. Styawati, A. Nurkholis, Z. Abidin, and H. Sulistiani, “Optimasi Parameter Support Vector Machine Berbasis Algoritma Firefly pada Data Opini Film,” *JRESTI: Jurnal Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi*, vol. 5, no. 5, pp. 904–910, 2021, doi: 10.29207/resti.v5i5.3380.
- [8] N. F. Lakutu, M. R. Katili, S. L. Mahmud, and N. I. Yahya, “Algoritma Dijkstra dan Algoritma Greedy untuk Optimasi Rute Pengiriman Barang pada Kantor Pos Gorontalo,” *Euler: Jurnal Ilmiah Matematika, Sains dan Teknologi*, vol. 11, no. 1, pp. 55–65, 2023, doi: 10.34312/euler.v11i1.18244.
- [9] S. S. N. Amida, Sahriyal, and L. Trisnawati, “Perencanaan Rute Pengangkutan Sampah dengan Metode Vehicle Routing Problem,” *Innovation: Journal of Social Science Research*, vol. 4, no. 1, pp. 4059–4072, 2024.
- [10] R. Y. C. Sianturi, B. Rahayudi, and A. W. Widodo, “Implementasi Algoritma Ant Colony Optimization untuk Optimasi Rute Distribusi Produk Kebutuhan Pokok dari Toko Sasana Bonafide Mojoroto,” *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 5, no. 7, pp. 3190–3197, 2021.
- [11] M. D. Khairansyah, M. L. Ashari, and I. Mufidah, “Penentuan Jalur Evakuasi Terpendek pada Industri Plastik Menggunakan Ant Colony Optimization,” *Jurnal Keselamatan Transportasi Jalan (Indonesian Journal of Road Safety)*, vol. 8, no. 1, pp. 53–61, 2021, doi: 10.46447/ktj.v8i1.312.
- [12] S. D. R. Ramadhani, H. A. Tanggono, and R. Yusuf, “Optimasi Rute Distribusi Menggunakan Metode Tabu Search pada Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirta Bangun Kulon Progo,” *Proceeding Series of Physics and Formal Sciences*, vol. 1, pp. 56–60, 2021, doi: 10.30595/pspfs.v1i1.134.

- [13] M. K. P. Santoso, H. A. Kurlillah, Purwanti, A. T. Anggita, N. S. B. Nk, and N. A. D. Prahesti, “Penentuan Rute Distribusi LPG Menggunakan Teknik Simulated Annealing pada PT XYZ,” *Jurnal Penelitian Rumpun Ilmu Teknik*, vol. 3, no. 4, pp. 68–76, 2024.
- [14] A. Mufliq, A. K. Alhaq, and R. A. Nugroho, “Optimasi Rute Distribusi Bantuan Sosial di Kabupaten Pacitan Menggunakan Algoritma Particle Swarm Optimization,” *Ilkom: Jurnal Computer Science and Applications Informatics*, vol. 6, no. 3, pp. 252–259, 2024.
- [15] D. A. F. Anggraeni, V. R. Dianutami, and R. Tyasnurita, “Investigation of Simulated Annealing and Ant Colony Optimization to Solve Delivery Routing Problem in Surabaya, Indonesia,” *Procedia Computer Science*, vol. 234, pp. 592–601, 2024, doi: 10.1016/j.procs.2024.03.044.