

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.....	7

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/licenses/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

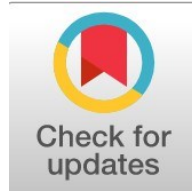
Complete list of editorial team ([link](#))

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

Route Optimization Using Ant Colony for Three-Wheel Vehicle Delivery

Optimasi Rute Menggunakan Koloni Semut untuk Pengiriman Kendaraan Roda Tiga

Fitria Novitasari, fitrianovitaalsi@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 distribution systems are essential in logistics, especially in geographically complex regions like Indonesia. **Specific Background:** PT. Sinar Genta Logistik distributes three-wheeled Viar motorcycles using double-deck trucks but has not yet optimized its delivery routes. **Knowledge Gap:** Although the Ant Colony Optimization (ACO) method has been widely applied in solving distribution problems, its application in routing three-wheeled vehicle shipments with fleet capacity constraints using real industry data is limited. **Aims:** This study aims to optimize delivery routes to reduce travel distance and improve route allocation by applying the ACO algorithm. **Results:** Using Python programming on Google Colab, the ACO method reduced the total travel distance from 1,849.8 km to 1,556.5 km—a reduction of 293.3 km or 15.86%. The new routing model reorganized deliveries into six vehicle routes adjusted to truck capacity. **Novelty:** The research applies ACO specifically for the distribution of Viar three-wheeled vehicles with real-world data, integrating Google Maps-based routing and considering capacity constraints. **Implications:** The findings offer a practical solution for logistics firms to decrease operational distance and adopt algorithm-based distribution strategies for cost efficiency and timely deliveries.

Highlights:

- ACO reduced total delivery distance by 15.86%.
- Delivery restructured into six efficient routes.
- Uses real company data and Python-based ACO.

Keywords: Ant Colony Optimization, Vehicle Routing Problem, Logistics, Fleet Capacity, Viar

Published date: 2025-07-24 00:00:00

Pendahuluan

Dalam dunia logistik, distribusi barang merupakan salah satu aspek kunci yang menentukan efisiensi dan efektivitas operasi. Indonesia, sebagai negara kepulauan, menghadapi tantangan yang signifikan dalam hal logistik dan distribusi barang. Kebutuhan akan sistem distribusi yang efisien menjadi semakin krusial. Distribusi merupakan faktor vital karena memainkan peran sentral dalam mempertahankan operasi bisnis, yang terkait dengan berbagai proses penting [1]. Proses distribusi pada dasarnya menetapkan kegunaan waktu dan lokasi [2]. Distribusi yang efektif dan efisien sangat penting untuk pengiriman produk yang tepat waktu, memastikan produk tiba di lokasi yang ditentukan dalam kondisi yang baik [3]. Beberapa faktor memengaruhi distribusi, termasuk pertukaran, kebutuhan, kekuasaan, sistem sosial, dan nilai-nilai etika [4]. Proses ini melibatkan perencanaan jaringan distribusi, penjadwalan pengiriman, dan membangun hubungan dengan perusahaan pelayaran [5]. Efektivitas distribusi secara signifikan berdampak pada berbagai industri, yang semuanya bergantung pada pengiriman barang yang tepat waktu dan hemat biaya.

Banyak penelitian sebelumnya dalam manajemen operasi yang berfokus pada efisiensi dalam proses distribusi. Faktor kunci dalam mencapai efisiensi distribusi adalah jarak yang ditempuh selama pengiriman [6]. Rute optimal adalah rute yang memenuhi berbagai kendala operasional, khususnya meminimalkan total jarak dan waktu tempuh sambil memenuhi permintaan pelanggan dan memanfaatkan jumlah kendaraan yang terbatas [7]. Salah satu pendekatan yang efektif untuk mencapai efisiensi ini adalah metode *Ant Colony Optimization* (ACO). Teknik ini telah terbukti berhasil dalam menyelesaikan *Vehicle Routing Problem* (VRP) di berbagai skenario, seperti mengoptimalkan rute pengiriman dan menentukan jarak terpendek [8]. Dalam konsep VRP, setiap kendaraan berawal dan berakhir di depot, mengunjungi setiap pelanggan tepat satu kali, dan tidak melebihi kapasitasnya terkait total permintaan yang diangkut [9]. *Ant Colony Optimization* (ACO) adalah algoritme metaheuristik yang digunakan untuk memecahkan masalah optimasi jarak dan merupakan aplikasi utama dari Swarm Intelligence. ACO terinspirasi oleh perilaku koloni semut, yang mencari makanan dengan meninggalkan jejak feromon [10]. Koloni semut berkomunikasi untuk menemukan sumber makanan dengan meninggalkan feromon di sepanjang jalur mereka. Ketika semut menemukan sumber makanan, ia menyimpan feromon dalam perjalanan kembali ke koloni [11]. Proses yang disebut Pembaruan Feromon memungkinkan semut yang telah melintasi suatu jalur meninggalkan jejak feromon. Jejak ini harus diperbarui untuk mencegah penumpukan feromon dan menghindari perulangan pada simpul [12]. Semut menemukan rute terpendek dari sarangnya menuju makanan dengan mengikuti jejak aroma yang ditinggalkan oleh semut lain, selama konsentrasi feromon memadai [13]. Penelitian ini menggunakan metode *Ant Colony Optimization* (ACO) untuk menentukan jarak tempuh terpendek ke suatu tujuan. Meskipun algoritma ACO telah banyak diaplikasikan untuk menyelesaikan permasalahan distribusi, namun kebanyakan penelitian yang ada belum secara spesifik berfokus pada optimasi proses pengiriman kendaraan bermotor roda tiga di dalam jaringan distribusi PT. Sinar Genta Logistik yang berasal dari PT Triangle Motorindo Semarang.

PT. Sinar Genta Logistik adalah perusahaan transportasi dan distribusi yang menawarkan solusi logistik yang cepat, aman, dan terpercaya di berbagai sektor industri. Dikelola oleh para profesional di bidangnya, perusahaan ini mampu menjangkau berbagai daerah, termasuk daerah terpencil yang biasanya sulit diakses. Salah satu layanan unggulan yang disediakan oleh PT. Sinar Genta Logistik adalah pengiriman kendaraan roda tiga Viar Motor dengan menggunakan truk double deck. Truk-truk ini mengambil kendaraan langsung dari pabrik dan mengantarkannya ke tujuan akhir, yaitu dealer. Setiap pengiriman ini biasanya menggunakan total enam kendaraan yang dapat mengangkut hingga 30 unit motor roda tiga sekaligus. Namun, PT. Sinar Genta Logistik menghadapi tantangan dalam proses distribusi yaitu belum mengoptimalkan rute pengiriman, yang semakin mendesak seiring dengan meningkatnya frekuensi pengiriman. Hal ini dikenal dengan istilah *Vehicle Routing Problem*. Meskipun setiap truk double-deck mampu mengangkut hingga lima unit, pengiriman sering kali tidak memaksimalkan kapasitas potensial ini. Akibatnya, waktu tempuh rata-rata untuk pengiriman tetap relatif tinggi. Perusahaan menyadari bahwa masih ada ruang untuk pengoptimalan di area ini, karena meningkatkan efisiensi distribusi sangat penting untuk mempertahankan keunggulan dalam layanan logistik. Oleh karena itu, PT. Sinar Genta Logistik mencari solusi yang efektif untuk meningkatkan pemanfaatan armada dan memperpendek jarak tempuh.

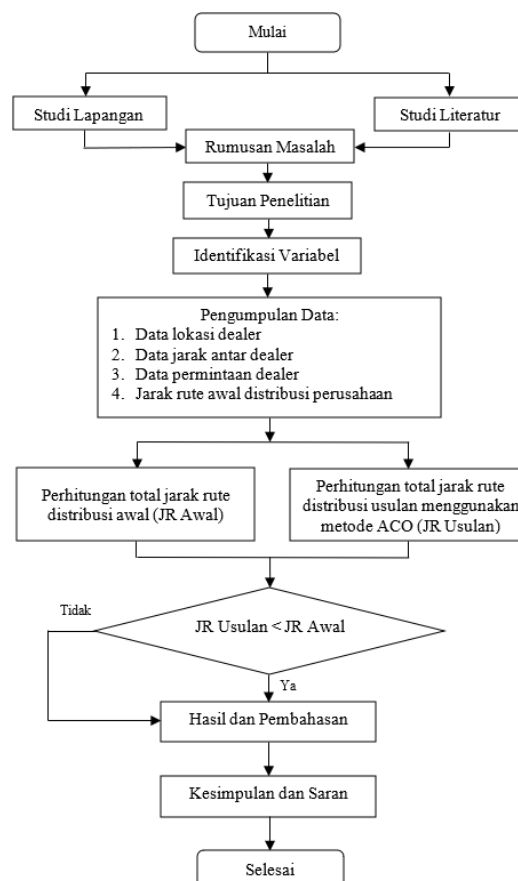
Metode

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT. Sinar Genta Logistik Surabaya yang berlokasi di JL. Ikan Dorang No. 1, Perak Barat., Kec. Krembangan, Surabaya, Jawa Timur 60177, Indonesia. Penelitian ini dilakukan dari bulan Februari 2025 hingga data yang dibutuhkan terkumpul seluruhnya. Tujuan utamanya adalah menentukan rute terpendek untuk mendistribusikan sepeda motor Viar roda tiga dengan menggunakan pendekatan *Ant Colony Optimization*.

B. Alur Pemecahan Masalah

Berikut merupakan alur pemecahan masalah pada penelitian ini yang dimana bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Pemecahan Masalah

Langkah-langkah untuk pemecahan masalah yang perlu dilakukan pada penelitian ini yaitu bisa dilihat pada penjelasan sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan dua jenis data: primer dan sekunder. Data primer bersumber dari internal, diperoleh secara langsung melalui observasi, termasuk pengamatan langsung dan metode lainnya [14]. Sementara itu, data sekunder berfungsi sebagai sumber informasi yang mendukung sumber data primer [15]. Dalam mengumpulkan data, sangat penting untuk memiliki sumber yang dapat diandalkan. Sumber ini mengacu pada subjek dari mana data tersebut diperoleh. Data yang dikumpulkan meliputi informasi lokasi dealer di Provinsi Jawa Tengah, khususnya di kota Semarang, Tegal, Pemalang, Pekalongan, Brebes, Purworejo, Cilacap, dan Surakarta. Selain itu, data juga mencakup jarak dari pabrik ke dealer dan antar dealer, serta jarak rute awal yang digunakan perusahaan untuk mendistribusikan kendaraan roda tiga Viar ke seluruh lokasi dealer di Provinsi Jawa Tengah.

2. Perhitungan Total Jarak Rute Distribusi Awal (JR Awal)

Pada tahap ini, perhitungan jarak dilakukan dengan menggunakan metode perusahaan, yaitu dengan menjumlahkan total jarak awal yang ditempuh oleh perusahaan dari awal hingga akhir perjalanan.

3. Perhitungan Total Jarak Rute Distribusi Usulan Menggunakan Metode ACO (JR Usulan)

Jarak total dari distribusi yang diusulkan dihitung dengan menggunakan metode *Ant Colony Optimization* (ACO). Prosesnya dimulai dengan menilai jarak pandang antar node menggunakan rumus tertentu. Node kemudian dipilih berdasarkan probabilitas, dengan pembangkitan angka acak yang digunakan untuk memilih rute. Prosedur ini terus berlanjut hingga semua node telah dikunjungi. Setelah itu, pembaruan pada jalur feromon dilakukan. Rute terbaik diidentifikasi berdasarkan jarak tempuh terpendek dan intensitas jejak feromon. Terakhir, jarak total dihitung menggunakan matriks jarak.

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

Dimana:

π_{ij} = Visibilitas dari titik i ke titik j

d_{ij} = Jarak dari titik i ke titik j

Adapun parameter yang digunakan dalam pengolahan data yaitu:

N = Banyak node yang ada

Q = Tetapan siklus semut

α = Tetapan pengendali intensitas jejak semut

β = Tetapan pengendali visibilitas

π_{ij} = Visibilitas antar titik = 1/jarak

M = Banyak semut

ρ = Tetapan penguapan jejak semut

NC_{max} = Jumlah siklus maksimum

4. JR Usulan < JR Awal

Tujuan dari langkah ini adalah untuk membandingkan total jarak distribusi sebelum dan sesudah optimasi menggunakan metode *Ant Colony Optimization* (ACO). Jika hasilnya menunjukkan bahwa Proposed JR (Journey Route) lebih pendek dari Initial JR, maka dapat disimpulkan bahwa metode ACO berhasil meningkatkan efisiensi distribusi. Hasil dari perbandingan ini akan menjadi dasar untuk menarik kesimpulan dan membuat rekomendasi mengenai penerapan model ACO pada sistem distribusi perusahaan.

Hasil dan Pembahasan

A. Pengumpulan Data

Tujuan dari langkah ini adalah untuk membandingkan total jarak distribusi sebelum dan sesudah dioptimasi dengan metode *Ant Colony Optimization* (ACO). Jika hasil optimasi menunjukkan bahwa JR Usulan lebih kecil dari JR Awal, maka dapat disimpulkan bahwa metode ACO berhasil meningkatkan efisiensi distribusi. Temuan dari perbandingan ini akan menjadi dasar untuk menarik kesimpulan dan membuat rekomendasi mengenai penerapan model ACO pada sistem distribusi perusahaan.

No	Nama Dealer	Alamat
1	Pabrik	Semarang
2	Dealer A	Tegal
3	Dealer B	Pemalang
4	Dealer C	Pekalongan
5	Dealer D	Brebes

No	Nama Dealer	Alamat
6	Dealer E	Purworejo
7	Dealer F	Cilacap
8	Dealer G	Surakarta
9	Dealer H	Semarang

Tabel 1. Data Lokasi Dealer

Matrik (KM)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	152	119	90,2	159	109	174	102	19,7
2	152	0	47,2	77,5	10,3	273	125	252	168
3	119	47,2	0	45,2	55,7	241	102	220	135
4	90,2	77,5	45,2	0	85,7	211	133	191	106
5	159	10,3	55,7	85,7	0	282	120	261	177
6	109	273	241	211	282	0	94,8	140	126
7	174	125	102	133	120	94,8	0	234	236
8	102	252	220	191	261	140	234	0	106
9	19,7	168	135	106	177	126	236	106	0

Tabel 2. Matrik Jarak Antar Dealer

No	Nama Dealer	Permintaan Per Minggu (Unit)
1	Dealer A	4
2	Dealer B	3
3	Dealer C	2
4	Dealer D	2
5	Dealer E	2
6	Dealer F	4
7	Dealer G	2
8	Dealer H	4
Total		23

Tabel 3. Rata-Rata Jumlah Permintaan Produk Viar Motor 3 Roda Per Minggu Pada Bulan Januari-Maret 2025

Rute	Rute Pengiriman	Jarak Tempuh (KM)	Total Jarak Tempuh (KM)	Permintaan (Unit)
1	Pabrik - Dealer A - Pabrik	152+152	304	4
2	Pabrik - Dealer B - Pabrik	119+119	238	3
3	Pabrik - Dealer C - Pabrik	90,2+90,2	180,4	2
4	Pabrik - Dealer D - Pabrik	159+159	318	2
5	Pabrik - Dealer E - Pabrik	109+109	218	2
6	Pabrik - Dealer F - Pabrik	174+174	348	4
7	Pabrik - Dealer G - Pabrik	102+102	204	2
8	Pabrik - Dealer H - Pabrik	19,7+19,7	39,4	4
Total			1849,8	23

Tabel 4. Jarak Rute Awal Distribusi

B. Perhitungan Total Jarak Rute Distribusi Awal (JR Awal)

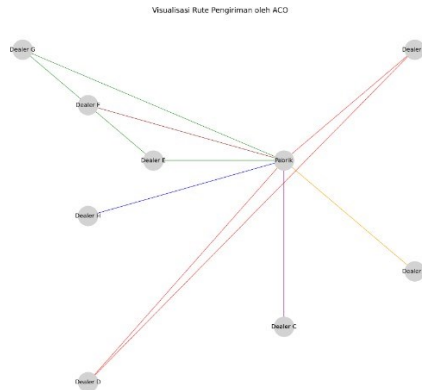
Perhitungan jarak melibatkan penjumlahan total jarak yang ditempuh oleh perusahaan dari awal hingga akhir perjalanan. Untuk menentukan total jarak yang harus ditempuh, kami menjumlahkan semua jarak dari titik awal.

Rute	Rute Pengiriman	Jarak Tempuh (KM)
1	Pabrik - Dealer A - Pabrik	304
2	Pabrik - Dealer B - Pabrik	238
3	Pabrik - Dealer C - Pabrik	180,4
4	Pabrik - Dealer D - Pabrik	318
5	Pabrik - Dealer E - Pabrik	218
6	Pabrik - Dealer F - Pabrik	348
7	Pabrik - Dealer G - Pabrik	204
8	Pabrik - Dealer H - Pabrik	39.4
Total		1.849,8

Tabel 5. Rute Distribusi Perusahaan

C. Perhitungan Total Jarak Rute Distribusi Usulan Menggunakan Metode ACO (JR Usulan)

Pada bagian ini, akan menjelaskan tentang pengolahan data untuk menyelesaikan permasalahan dalam penelitian ini dengan metode *Ant Colony Optimization* menggunakan bantuan pemrograman Google Colab.



Gambar 2. Output Program Ant Colony Optimization

Gambar di atas mengilustrasikan sebuah rute yang dihasilkan dengan menggunakan algoritma *Vehicle Routing Problem* (VRP), yang menggunakan enam armada sepeda motor roda tiga. Setiap sepeda motor memiliki kapasitas maksimum lima unit. Tabel berikut ini memberikan ringkasan hasil dari program *Ant Colony Optimization*.

Rute Pengiriman	Jarak Tempuh (KM)	Total Jarak Tempuh (KM)	Permintaan (Unit)
Pabrik-Dealer H-Dealer C-Dealer B-Dealer D-Dealer A-Dealer F-Dealer E-Dealer G-Pabrik	19,7+106+ 45,2+55,7+ 10,3+125+ 94,8+140+ 102	698,7	23

Tabel 6. Rute Awal Hasil Program Ant Colony Optimization

Setiap armada pengangkutan produk memiliki kapasitas yang terbatas untuk menjangkau setiap dealer. Oleh karena itu, proses pengiriman diatur ke dalam enam rute, sebagai berikut:

Rute Usulan	Jarak Tempuh (KM)	Total Jarak (KM)
Pabrik-Dealer H- Pabrik	19,7+19,7	39,4 KM
Pabrik- Dealer C - Pabrik	45,2+45,2	180,4 KM
Pabrik-Dealer B-Dealer D- Pabrik	119+55,7+159	333,7 KM
Pabrik-Dealer A- Pabrik	152+152	304 KM
Pabrik- Dealer F-Pabrik	174+174	348 KM
Pabrik-Dealer E-Dealer G-Pabrik	109+140+102	351 KM

Total	1.556,5
--------------	----------------

Tabel 7. Rute Akhir Hasil Program Ant Colony Optimization

D. JR Usulan < JR Awal

Berdasarkan hasil program ACO, dapat diketahui bahwa JR Usulan < JR Awal yaitu $1.556,5 < 1.849,8$ km. Berikut hasil perbandingan jarak dan biaya distribusi setelah dan sebelum menggunakan metode *Ant Colony Optimization*.

Rute	Rute Awal	Total Jarak (KM)	Rute Usulan	Total Jarak (KM)
1	Pabrik - Dealer A - Pabrik	304	Pabrik-Dealer H- Pabrik	39,4
2	Pabrik - Dealer B - Pabrik	238	Pabrik- Dealer C - Pabrik	180,4
3	Pabrik - Dealer C - Pabrik	180,4	Pabrik-Dealer B-Dealer D- Pabrik	333,7
4	Pabrik - Dealer D - Pabrik	318	Pabrik-Dealer A- Pabrik	304
5	Pabrik - Dealer E - Pabrik	218	Pabrik- Dealer F-Pabrik	348
6	Pabrik - Dealer F - Pabrik	348	Pabrik-Dealer E-Dealer G-Pabrik	351
7	Pabrik - Dealer G - Pabrik	204	-	-
8	Pabrik - Dealer H - Pabrik	39,4	-	-
Total		1.849,8	Total	1.556,5

Tabel 8. Pengukuran Waktu Baku

Keterangan:

Selisih jarak = Jarak Rute Awal – Jarak Rute Usulan
 $= 1849,8 - 1556,5$
 $= 293,3$ KM

Efisiensi jarak $= \frac{JRA-JRU}{JRA} \times 100\%$
 $= \frac{1849,8-1556,5}{1849,8} \times 100\%$
 $= 15,86\%$

E. Analisis Risiko Implementasi

Berdasarkan hasil pengolahan data dapat diketahui bahwa metode Ant Colony Optimization cukup optimal dibandingkan dengan metod eperusahaan karena metode ACO berhasil menciptakan rute pengiriman viar motor 3 roda dari pabrik ke dealer menggunakan truck double deck. Meskipun rute optimal telah ditemukan, implementasi di lapangan dapat mengalai beberapa hambatan, seperti jalan sempit yang tidak mendukung truk double deck, keterlambatan saat bongkar muat di dealer, serta kondisi cuaca yang mempengaruhi waktu tempuh. Oleh karena itu, perlu dilakukan penyesuaian berdasarkan kondisi aktual di lapangan.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, total jarak rute distribusi awal Perseroan adalah 1.849,8 km. Sedangkan total jarak rute usulan dengan menggunakan metode *Ant Colony Optimization* (ACO) adalah 1.556,5 km, sehingga menghasilkan penghematan jarak sebesar 184,3 km atau 15,86%. Hal ini menunjukkan bahwa metode ACO secara efektif menghasilkan total jarak rute distribusi yang lebih efisien. Setelah disesuaikan dengan kapasitas angkut masing-masing armada, enam rute pengiriman yang diusulkan diidentifikasi:

1. Rute pengiriman pertama adalah dari Pabrik ke Dealer H, dengan total jarak tempuh 39,4 km.
2. Rute pengiriman kedua adalah dari Pabrik ke Dealer C, dengan total jarak 180,4 km.
3. Rute ketiga dari Pabrik ke Dealer B dan Dealer D, dengan total jarak tempuh 333,7 km.
4. Rute pengiriman keempat adalah dari Pabrik ke Dealer A, dengan total jarak tempuh 304 km.
5. Rute kelima adalah dari Pabrik ke Dealer F, dengan total jarak tempuh 348 km.
6. Rute pengiriman keenam adalah dari Pabrik ke Dealer E dan Dealer G, dengan total jarak tempuh 351 km.

Total jarak tempuh rute yang diusulkan mencapai 1.556,5 km.

Penelitian ini menggunakan pendekatan statis berdasarkan jarak antar titik. Untuk penelitian lanjutan, disarankan integrasi data dinamis seperti waktu tempuh real-time, dan durasi bongkar muat guna memperoleh hasil optimasi yang lebih realistis. Selain itu, metode ACO dapat dikombinasikan dengan parameter tambahan seperti prioritas pengiriman, deadline pelanggan, serta penghitungan biaya operasional secara menyeluruh untuk menghasilkan solusi distribusi yang lebih komprehensif dan adaptif terhadap dinamika permintaan.

References

- [1] H. O. Zupemungkas and W. Handayani, "Optimalisasi Rute Distribusi Menggunakan Metode Traveling Salesman Problem (TSP) untuk Meminimasi Biaya Distribusi," *Jurnal Ekonomi dan Bisnis*, vol. 8, pp. 163–178, 2021.
- [2] E. P. Jaya, Sissah, and Agusriandi, "Analisis Saluran Distribusi Produk CV. Adila Snack Jambi," *Jurnal Ilmiah Ekonomi dan Manajemen*, vol. 2, no. 2, pp. 410–422, 2024, doi: 10.61722/jiem.v2i2.981.
- [3] L. E. Marpaung, J. Arifin, and W. Winarno, "Optimalisasi Rute Distribusi Menggunakan Algoritma Clarke and Wright Savings," *Jurnal Media Teknik dan Sistem Industri*, vol. 6, no. 2, p. 76, Sep. 2022, doi: 10.35194/jmtsi.v6i2.1784.
- [4] M. Iqbal, M. Zarlis, and H. Mawengkang, "Model Pendekatan Metaheuristik dalam Penyelesaian Optimisasi Kombinatorial," in *Proc. Seminar Nasional Teknologi Komputer dan Sains (SAINTEKS)*, 2020, pp. 92–97.
- [5] B. D. Febrianti, M. N. Musyaafa, K. R. Azis, and P. Harliana, "Implementasi Algoritma Ant Colony dalam Menentukan Rute Terpendek dari Johor ke Universitas Negeri Medan," *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, vol. 9, no. 1, pp. 243–249, 2025.
- [6] N. Hulu, L. M. Harahap, S. Marbun, and D. A. Putri, "Efisiensi Distribusi Melalui Optimasi Biaya dan Jarak dengan Pendekatan Metode Transportasi," *ECONOBIS: Jurnal Economics, Business and Management*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2025.
- [7] A. Ferdiansyah et al., "Analisis Perencanaan Rute Pengiriman Barang Menggunakan Metode Vehicle Routing Problem (VRP)," *Jurnal Sistem Transportasi dan Logistik*, vol. 1, no. 1, pp. 32–37, 2021.
- [8] 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.
- [9] J. J. James and A. J. Nugroho, "Penyelesaian Vehicles Routing Problem dalam Meminimumkan Waktu Transportasi PT Petrogas Prima Services," *Sci-Tech Journal*, vol. 3, no. 1, pp. 60–73, 2024.
- [10] R. Yosua, C. Sianturi, B. Rahayudi, and A. W. Widodo, "Implementasi Algoritme 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. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [11] S. N. Jumaedi and W. Abidin, "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. 108–115, 2024.
- [12] A. Haris et al., "Implementasi Ant Colony Optimization (ACO) pada Sistem Irigasi Lahan Tadah Hujan," *KILAT*, vol. 10, no. 2, pp. 336–348, Oct. 2021, doi: 10.33322/kilat.v10i2.1518.
- [13] D. E. A. Manuputty, C. E. J. C. Montolalu, and T. Manurung, "Penentuan Jalur Terpendek Distribusi Air Mineral Menggunakan Ant Colony Optimization," *d'Cartesian: Jurnal Matematika dan Aplikasinya*, vol. 10, no. 2, pp. 76–82, 2021. [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/decartesian>
- [14] Y. S. Siregar et al., "Peningkatan Minat Belajar Peserta Didik dengan Menggunakan Media Pembelajaran yang Menarik pada Masa Pandemi Covid-19 di SD Swasta HKBP 1 Padang Sidempuan," *Jurnal Ilmiah Kampus Mengajar*, vol. 2, pp. 69–75, Apr. 2022, doi: 10.56972/jikm.v2i1.33.
- [15] R. K. Yuniendel et al., "Analisis Strategi Lightening the Learning Climate pada Pembelajaran Pendidikan Agama Islam," *Journal of Innovation Research and Knowledge*, vol. 1, no. 11, pp. 1497–1504, 2022.