



Optimasi Rute Distribusi Spare Part Motor Menggunakan Ant Colony Optimization untuk Efisiensi Jarak Tempuh

Nani Agustina, Entin Sutinah*, Martini

Teknik dan Informatika, Sistem Informasi, Universitas Bina Sarana Informatika, Jakarta
Jl. Kamal Raya No.18, Cengkareng Tim., Kecamatan Cengkareng, Kota Jakarta Barat, Daerah Khusus Ibukota Jakarta, Indonesia

Email: ¹nani.nna@bsi.ac.id, ^{2,*}entin.esh@bsi.ac.id, ³martini.mtn@bsi.ac.id

Email Penulis Korespondensi: entin.esh@bsi.ac.id

Submitted: 09/04/2026; Accepted: 11/07/2026; Published: 20/07/2026

Abstrak—Efisiensi logistik dalam pengiriman barang menjadi tantangan utama bagi perusahaan distributor untuk menekan biaya operasional. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan rute distribusi spare part motor pada PD. Tri Jaya Motor menggunakan algoritma Ant Colony Optimization (ACO). Masalah utama yang dihadapi adalah penentuan rute manual yang tidak sistematis, menyebabkan inefisiensi jarak tempuh. Metodologi yang digunakan mencakup pemodelan Traveling Salesman Problem (TSP) pada enam titik distribusi dengan parameter $\alpha = 1$, $\beta = 1$, dan $\rho = 0,1$. Hasil simulasi menunjukkan bahwa ACO berhasil menemukan rute optimal dengan total jarak 206,6 km, memberikan penghematan signifikan dibandingkan rute awal. Penelitian ini memberikan kontribusi berupa strategi pengambilan keputusan berbasis metaheuristik untuk skala distribusi menengah.

Kata Kunci: Ant Colony Optimization; Distribusi; Logistik; Optimasi Rute; Traveling Salesman Problem

Abstract—Logistics efficiency in goods distribution has become a major challenge for distribution companies in reducing operational costs. This study aims to optimize the distribution routes of motorcycle spare parts at PD. Tri Jaya Motor using the Ant Colony Optimization (ACO) algorithm. The main issue faced by the company is the use of unsystematic manual route determination, which results in inefficient travel distances. The methodology employed in this research involves modeling the Traveling Salesman Problem (TSP) across six distribution points using parameters of $\alpha = 1$, $\beta = 1$, and $\rho = 0.1$. The simulation results demonstrate that the ACO algorithm successfully identified the optimal route with a total distance of 206.6 km, resulting in significant savings compared to the initial route. This study contributes by providing a metaheuristic-based decision-making strategy for medium-scale distribution systems.

Keywords: Ant Colony Optimization; Distribution; Logistics; Route Optimization; Traveling Salesman Problem.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan pesat teknologi informasi, khususnya teknologi komputer, telah mendorong pengelolaan informasi menjadi lebih efisien, cepat, dan real-time [1] [2]. Transformasi digital ini juga mendorong perubahan besar dalam sektor logistik dan distribusi, terutama seiring dengan meningkatnya pertumbuhan e-commerce. Efisiensi dalam proses distribusi menjadi faktor krusial bagi perusahaan untuk mempertahankan daya saing serta memastikan keberlanjutan bisnisnya. Efisiensi biaya menjadi salah satu tujuan utama yang sangat penting dalam manajemen distribusi [3].

Distribusi barang memiliki peranan penting dalam mendukung operasional perusahaan, khususnya dalam hal perencanaan dan penentuan rute distribusi yang tepat [4]. Distribusi merupakan salah satu aktivitas yang memiliki peranan sangat penting dalam perusahaan untuk menjamin kelancaran pengiriman produk kepada pelanggan [5][6]. Ketepatan waktu, kuantitas, serta efisiensi distribusi sangat bergantung pada perencanaan rute kendaraan yang optimal [7]. Upaya mengoptimalkan rute pengiriman menjadi aspek strategis dalam logistik [8], dengan tujuan utama untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas distribusi [9] [10]. Penentuan rute yang tepat tidak hanya berdampak pada efektivitas pengiriman, tetapi juga pada efisiensi biaya, yang pada akhirnya memberikan keuntungan operasional bagi perusahaan [11]. Dalam era distribusi modern, efisiensi rute pengiriman menjadi faktor kunci dalam meningkatkan produktivitas dan mengurangi biaya operasional [12]. Seorang sales yang bertugas mengirimkan barang ke enam kota sering menghadapi tantangan dalam menentukan rute optimal yang dapat menghemat waktu dan biaya. Permasalahan umum yang dihadapi meliputi pemilihan rute yang tidak efisien, keterbatasan kapasitas kendaraan, serta kurangnya perencanaan yang sistematis.

PD. Tri Jaya Motor, sebagai perusahaan dagang yang bergerak di bidang penjualan [10] spare part motor, menghadapi kendala dalam proses pengiriman produk ke mitra usaha dalam hal ini 6 Lokasi karena penentuan rute yang hanya berdasarkan insting, sehingga jarak tempuh menjadi lebih panjang.

Ketidakefisienan rute distribusi menyebabkan pada keterlambatan pengiriman [7][13] [14][15]. Selain itu, tidak adanya perencanaan rute yang matang, terbatasnya waktu, kapasitas kendaraan, dan variabilitas kondisi lalu lintas turut memperburuk efisiensi pengiriman. Ketiadaan sistem yang memberikan informasi rute secara real-time juga menjadi hambatan dalam pengambilan keputusan yang tepat. Permasalahan ini semakin kompleks ketika seorang sales harus mengunjungi enam lokasi berbeda tanpa dukungan sistem rute yang optimal. Dalam kondisi tersebut, Penentuan rute pengiriman merupakan hal yang sangat penting untuk meminimalkan jarak tempuh agar proses distribusi menjadi lebih optimal [15].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dibutuhkan pendekatan berbasis optimasi yang efektif. Salah satu metode yang terbukti efisien adalah Ant Colony Optimization (ACO), algoritma yang terinspirasi dari perilaku semut dalam mencari jalur terpendek menuju sumber makanan melalui jejak feromon [16]. Dalam implementasinya, ACO menggunakan jarak dan waktu tempuh sebagai input utama dalam perhitungan, sehingga mampu menghasilkan rute yang lebih efisien [16]. Algoritma ini tidak hanya mempertimbangkan jarak terpendek, tetapi juga memperhitungkan berbagai variabel performa lainnya, seperti waktu pengiriman dan kapasitas kendaraan [17] [18]. Dengan demikian, ACO menjadi elemen penting dalam pengambilan keputusan strategis terkait optimasi rute [6]. Meskipun hanya mencakup 6 lokasi, penggunaan ACO dipilih karena kemampuannya dalam menangani variabel performa seperti waktu dan kapasitas di masa depan, serta sifatnya yang adaptif terhadap perubahan rute.

Beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini diantaranya penelitian oleh Faisal et al. pada tahun (2024) meneliti mengenai penggunaan pengontrol kombinasi PID-SMES yang dioptimasi dengan algoritma Ant Colony Optimization (ACO) untuk menstabilkan frekuensi pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) akibat perubahan beban. Hasil simulasi, kombinasi PID-SMES yang dioptimalkan menggunakan ACO memberikan nilai overshoot paling kecil dibandingkan metode lainnya sehingga mampu meningkatkan stabilitas frekuensi sistem secara signifikan [19].

Penelitian oleh Lutfi et al. pada tahun (2023) bertujuan untuk menentukan jalur terpendek dalam mendistribusikan produk dari pusat produksi ke lima outlet cabang. Dengan menggunakan pemodelan Traveling Salesman Problem (TSP) dan software MATLAB, hasil optimasi pada iterasi ke-100 berhasil menemukan rute terbaik sepanjang 26,19 km dengan durasi perjalanan selama 54 menit. Implementasi metode ACO ini terbukti efektif membantu perusahaan dalam meminimalkan waktu pengiriman serta menghemat biaya bahan bakar sebesar Rp26.190 untuk sekali pendistribusian [20].

Penelitian oleh Prasetyo pada tahun (2024) bertujuan untuk mengoptimalkan jalur pengiriman produk cetak dan sablon dari rute awal sepanjang 65,1 km. Melalui pendekatan Travelling Salesman Problem (TSP) menggunakan software MATLAB, pengujian menghasilkan dua rute alternatif perbaikan. Hasil paling optimal diperoleh melalui metode Nearest Neighbor dengan pola pengiriman PT-E-B-C-A-F-D-PT yang berhasil memangkas jarak distribusi menjadi 46,7 km, sehingga pengiriman barang menjadi lebih efisien dan meminimalkan biaya operasional Perusahaan [15].

Penelitian oleh Supriadi et al. pada tahun (2023) bertujuan untuk mengatasi keterlambatan pengiriman akibat jalur yang acak dari kurir. Dengan menggunakan pemodelan Travelling Salesman Problem (TSP) dan algoritma Simple Hill Climbing (SHC) berdasarkan koordinat GPS, sistem secara otomatis menghitung rute pengiriman tercepat. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa algoritma SHC berhasil meminimalisir jarak tempuh dan waktu pengiriman paket dibandingkan rute konvensional, sehingga mampu meningkatkan efisiensi distribusi pada jasa ekspedisi J&T di Kota Bandung [2]. Secara keseluruhan, gap utama penelitian ini adalah penerapan strategi pengambilan keputusan berbasis metaheuristik ACO secara spesifik untuk karakteristik dan topografi wilayah distribusi spare part motor pada PD. Tri Jaya Motor.

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan algoritma Ant Colony Optimization (ACO) dalam merancang rute pengiriman barang yang optimal, baik dari segi jarak tempuh, waktu pengiriman, maupun efisiensi biaya, serta memberikan perbandingan kuantitatif antara rute manual perusahaan dengan hasil algoritma metaheuristik.

Selain itu, penelitian ini juga membandingkan efektivitas rute hasil ACO dengan rute pengiriman manual yang selama ini digunakan oleh perusahaan [5]. Dengan mempertimbangkan berbagai temuan dari penelitian terdahulu, serta kompleksitas masalah distribusi yang dihadapi, penerapan ACO dalam perencanaan rute pengiriman oleh seorang sales yang harus mengunjungi enam lokasi merupakan solusi yang menjanjikan. Kinerja ACO sangat bergantung pada parameter-parameter yang digunakan, terutama jumlah semut, yang memengaruhi kualitas solusi dan waktu komputasi [21] [22]. Oleh karena itu, pendekatan ini dipandang sebagai strategi yang dapat diandalkan dalam meningkatkan efisiensi distribusi barang dan menunjang kinerja logistik perusahaan secara keseluruhan [23]. Dengan demikian penelitian ini memberikan kontribusi berupa perbandingan kuantitatif langsung antara rute manual hasil intuisi perusahaan dengan rute optimal hasil algoritma ACO pada skala distribusi menengah sehingga pengiriman spare part motor menjadi lebih optimal untuk efisiensi jarak tempuh ke enam titik lokasi.

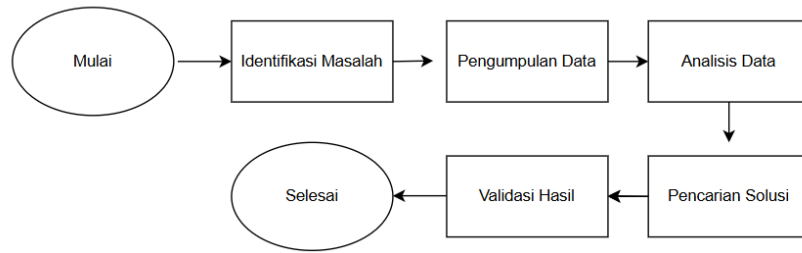
2. METODOLOGI PENELITIAN

Pada tahapan ini menjelaskan metodologi penelitian yang digunakan, meliputi tahapan penelitian, teknik pengumpulan data, serta metode analisis yang diterapkan untuk mencapai tujuan penelitian. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Ant Colony Optimization (ACO), yaitu algoritma optimasi yang terinspirasi dari perilaku koloni semut dalam menemukan jalur terpendek melalui mekanisme jejak feromon.

2.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dalam penelitian ini disusun secara sistematis untuk memastikan proses penelitian berjalan terstruktur dan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan. Alur tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Gambar 1 memperlihatkan rangkaian tahapan penelitian yang diterapkan dalam proses optimasi rute distribusi spare part menggunakan metode Ant Colony Optimization (ACO). Penelitian diawali dengan tahap identifikasi masalah guna mengetahui berbagai kendala distribusi yang terjadi pada perusahaan.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Tahap berikutnya adalah pengumpulan data yang meliputi data lokasi, jarak antar kota, serta informasi pendukung lainnya yang berkaitan dengan proses distribusi. Setelah data diperoleh, dilakukan tahap analisis dengan menentukan parameter algoritma ACO serta melakukan simulasi pencarian rute optimal. Hasil dari proses analisis tersebut kemudian digunakan pada tahap pencarian solusi untuk mendapatkan rute distribusi paling efisien berdasarkan jarak tempuh dan efektivitas pengiriman. Tahap akhir penelitian dilakukan melalui penarikan kesimpulan dan pemberian saran berdasarkan hasil evaluasi dan pengujian algoritma yang telah dilakukan. Penyusunan tahapan penelitian secara sistematis ini bertujuan agar proses penelitian berjalan lebih terstruktur dan mampu mencapai tujuan penelitian secara optimal.

1. Identifikasi Masalah

PD. Tri Jaya Motor belum memiliki sistem rekomendasi jalur terpendek dalam proses pengiriman barang spare part. Oleh karena itu, langkah awal penelitian ini adalah mengidentifikasi permasalahan utama yang dihadapi oleh sales, seperti inefisiensi rute pengiriman, keterbatasan waktu, serta tingginya biaya distribusi. Permasalahan tersebut kemudian dirumuskan dalam bentuk pertanyaan penelitian, yaitu: “Bagaimana penerapan metode Ant Colony Optimization (ACO) dapat membantu menentukan rute pengiriman paling optimal bagi seorang sales yang harus mengunjungi enam kota berbeda?”

2. Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dilakukan melalui studi literatur dan pengumpulan data pendukung. Studi literatur dilakukan dengan menelaah berbagai jurnal dan referensi yang membahas algoritma Ant Colony Optimization (ACO) serta permasalahan optimasi rute pengiriman. Selain itu, Google Maps digunakan untuk menentukan jarak antar lokasi pengiriman. Sumber referensi yang digunakan meliputi jurnal ilmiah, buku, dan laporan penelitian dalam lima tahun terakhir yang berkaitan dengan:

- Algoritma Ant Colony Optimization (ACO),
- Permasalahan Traveling Salesman Problem (TSP),
- Optimasi rute pengiriman,
- Logistik dan sistem distribusi barang.

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini meliputi:

- Data lokasi kota, berupa koordinat atau jarak antar kota,
- Urutan kunjungan kota (jika bersifat tetap),
- Batasan atau kendala seperti waktu pengiriman, jumlah barang, dan kapasitas kendaraan.
- Data diperoleh dari kondisi nyata perusahaan atau disimulasikan sesuai dengan kebutuhan penelitian.

Pemilihan enam kota dalam penelitian ini menggunakan teknik purposive sampling, yaitu pemilihan sampel berdasarkan pertimbangan tertentu yang sesuai dengan tujuan penelitian. Keenam kota tersebut dipilih karena merupakan wilayah distribusi utama yang paling sering dikunjungi oleh sales PD. Tri Jaya Motor dalam proses pengiriman spare part sepeda motor. Selain itu, pemilihan lokasi tersebut didasarkan pada variasi jarak tempuh dan kompleksitas rute distribusi sehingga dinilai representatif untuk menguji efektivitas algoritma Ant Colony Optimization (ACO) dalam menentukan rute pengiriman yang optimal.

3. Analisis

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap algoritma Ant Colony Optimization (ACO) yang akan digunakan. Analisis meliputi tahapan implementasi ACO, yaitu:

- Menentukan parameter ACO, seperti jumlah semut, jumlah iterasi, nilai α (pengaruh feromon), β (pengaruh jarak), laju evaporasi feromon (ρ), dan konstanta feromon (Q),
- Melakukan simulasi proses pencarian rute oleh koloni semut selama beberapa iterasi,
- Menentukan rute terbaik yang dihasilkan berdasarkan jarak tempuh minimum,
- Melakukan visualisasi rute optimal beserta total jarak tempuhnya.

Dalam algoritma ACO, probabilitas semut dalam memilih jalur dari kota i ke kota j ditentukan menggunakan persamaan berikut:

Beberapa rumus yang digunakan pada algoritma Ant Colony Optimization (ACO):

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

Keterangan:

η_{ij} = nilai visibilitas dari kota i ke kota j, d_{ij} = jarak antara kota i dan kota j.

$$P_{ij}^k = \frac{(\tau_{ij})^\alpha (\eta_{ij})^\beta}{\sum_{l \in N_i^k} (\tau_{il})^\alpha (\eta_{il})^\beta} \quad (2)$$

Keterangan:

P_{ij}^k = probabilitas semut ke-k memilih jalur dari kota i ke kota j, τ_{ij} = intensitas feromon pada jalur i – j,

η_{ij} = visibilitas jalur yang diperoleh dari nilai $1/d_{ij}$, α = parameter pengaruh feromon, β = parameter pengaruh visibilitas/jarak, N_i^k = himpunan kota yang belum dikunjungi oleh semut ke-k.

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k = \sum_{k=1}^6 \Delta\tau_{ij}^k = \Delta\tau_{ij}^1 + \Delta\tau_{ij}^2 + \Delta\tau_{ij}^3 + \Delta\tau_{ij}^4 + \Delta\tau_{ij}^5 + \Delta\tau_{ij}^6 \quad (3)$$

Keterangan :

i, j = titik atau node, k = semut ke – k, m = jumlah semut

Setelah proses iterasi selesai dilakukan, nilai feromon diperbarui menggunakan persamaan berikut:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij} \quad (4)$$

Keterangan:

$\tau_{ij}(t+1)$ = nilai feromon baru, ρ = laju evaporasi feromon, $\Delta\tau_{ij}$ = jumlah penambahan feromon pada jalur yang dilalui semut.

Melalui proses tersebut, algoritma ACO dapat menentukan rute distribusi yang paling optimal berdasarkan jarak tempuh minimum dan efisiensi pengiriman.

4. Pencarian Solusi

Tahap pencarian solusi dilakukan dengan menganalisis hasil penerapan algoritma ACO. Evaluasi kinerja algoritma dilakukan berdasarkan beberapa indikator, seperti jarak tempuh, waktu pengiriman, dan biaya logistik. Selanjutnya, rute hasil ACO dibandingkan dengan rute pengiriman non-algoritmik, yaitu rute manual yang ditentukan berdasarkan intuisi atau kebiasaan. Hasil rute pengiriman divisualisasikan dalam bentuk graf untuk memudahkan analisis. Validasi solusi dilakukan melalui: Pengujian algoritma pada data simulasi lain untuk menguji keandalan hasil, Perbandingan hasil ACO dengan metode optimasi lain, seperti algoritma genetika atau metode greedy, jika diperlukan. Pada tahap ini juga ditentukan jumlah toko atau lokasi yang dihitung menggunakan algoritma ACO, dengan tujuan memperoleh jalur terpendek dari lokasi awal menuju lokasi tujuan yang telah ditentukan oleh pihak toko.

5. Validasi Hasil

Tahap akhir penelitian dilakukan melalui proses validasi hasil untuk menilai efektivitas metode Ant Colony Optimization (ACO) dalam menyelesaikan permasalahan optimasi rute pengiriman barang oleh sales. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil rute yang diperoleh dari algoritma ACO dengan rute pengiriman manual yang digunakan perusahaan berdasarkan indikator jarak tempuh, waktu pengiriman, dan efisiensi distribusi. Hasil validasi tersebut digunakan untuk mengetahui tingkat keberhasilan algoritma dalam menghasilkan rute yang lebih optimal. Selain itu, penelitian ini juga memberikan rekomendasi untuk pengembangan penelitian selanjutnya, seperti penerapan sistem logistik berbasis ACO pada skala distribusi yang lebih luas serta penyesuaian parameter algoritma guna memperoleh hasil optimasi yang lebih baik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahapan ini membahas hasil penelitian yang diperoleh dari penerapan metode Ant Colony Optimization (ACO) dalam menentukan rute pengiriman barang, serta analisis terhadap efisiensi rute yang dihasilkan.

3.1 Data Lokasi Pelanggan

Lokasi Pelanggan pada penelitian pada Tri Jaya Motor dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan data yang diperoleh, Tri Jaya Motor tidak menggunakan metode apapun dalam melakukan pendistribusian. Produk akan diantar secara langsung dari Lokasi satu ke Lokasi lainnya hanya berdasarkan Tingkat pemesanan dan kebutuhan.

Tabel 1. Data Lokasi Pelanggan

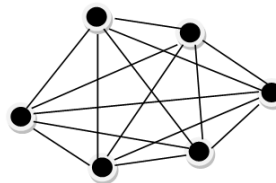
No. Urut	Nama Toko
1	Tri Jaya Motor
2	Eva Motor - Cigoong

No. Urut	Nama Toko
3	Ballunk Motor - Carenang
4	Sahabat Motor - Selikur
5	MCM Motor - Cilaku
6	Risma Motor - Pasauran

Tabel 1 menunjukkan data lokasi pelanggan yang digunakan dalam penelitian sebagai titik distribusi pengiriman spare part sepeda motor. Data tersebut terdiri atas satu lokasi awal distribusi, yaitu Tri Jaya Motor, serta lima lokasi toko pelanggan yang menjadi tujuan pengiriman oleh sales. Setiap lokasi pada tabel digunakan sebagai node atau titik kunjungan dalam proses optimasi rute menggunakan algoritma Ant Colony Optimization (ACO). Data lokasi pelanggan ini menjadi dasar dalam perhitungan jarak antar titik distribusi untuk menentukan rute pengiriman yang paling optimal berdasarkan jarak tempuh minimum dan efisiensi distribusi.

3.1.1 Data Jarak Distribusi

Tahap ini dilakukan pencarian jarak ke titik-titik pelanggan untuk distribusi sparepart. Pencarian jarak menggunakan aplikasi Google maps dengan memasukkan Alamat titik distribusi dan pencarian jarak antar masing-masing titik.



Gambar 2. Model Graph

Pada gambar 2, lokasi customer diwakili oleh titik dan jalan yang dilalui dari toko menuju retail atau dari satu retail ke retail lainnya.

Tabel 2. Data jarak lokasi antar retail - KM

Dari/Ke	1	2	3	4	5	6
1	0	29,8	45,8	43,2	25,7	50,5
2	29,8	0	16,9	21,7	6	53,1
3	45,8	16,9	0	32,9	23,9	68,8
4	43,2	21,7	32,9	0	42,8	67,9
5	25,7	6	23,9	42,8	0	58,7
6	50,5	53,1	68,8	67,9	58,7	0

Untuk kolom pertama dan baris pertama, 0 menyatakan toko dan 1,2, ... , 5 merupakan retail. Jarak dari 0 (retail) ke retail 1 adalah 29,8 km dan seterusnya.

3.1.2 Inisialisasi

Parameter-parameter yang akan digunakan dalam proses perhitungan, antara lain:

- Set nilai tatapan siklus semut ($Q=1$), Tetapan pengendali intensitas jejak feromon semut ($\alpha = 1$), Tetapan pengenali visibilitas ($\beta = 1$), Tetapan penguapan jejak feromon semut ($\rho = 0,1$), Banyak semut ($m = 6$), Banyak Iterasi ($NC_{max} = 2$)
- Set feromon awal (dengan menentukan satu solusi awal dengan algoritma greedy, lalu hitung cost-nya (C_{greedy}) atau dengan langsung diset dan dihitung visibilitas

Visibilitas antar simpul (η_{ij}) digunakan dalam persamaan probabilitas simpul yang akan dikunjungi.

Langkah 1 : merujuk pada rumus (1)

Misalnya :

Baris 1 kolom 2, maka $1 / 29,8 = 0,034$

Baris 3 kolom 4, maka $1 / 42,8 = 0,030$

Tabel 3. Tabel Nilai Visibilitas

Dari/Ke	1	2	3	4	5	6
1	0	0,034	0,022	0,023	0,039	0,020
2	0,034	0	0,059	0,046	0,167	0,019
3	0,022	0,059	0	0,030	0,042	0,015
4	0,023	0,046	0,030	0	0,023	0,015
5	0,039	0,167	0,042	0,023	0	0,017
6	0,020	0,019	0,015	0,015	0,017	0

c. Penyusunan jalur kunjungan setiap semut

1. Inisialisasi kota pertama setiap semut
2. Memilih kota yang dikunjungi dari nilai probabilitas tertinggi
3. Mencatat setiap kota yang dikunjungi

Penentuan Rute Kunjungan

Penentuan rute kunjungan setiap semut dapat ditempatkan pada titik Tri Jaya Motor dan akan kembali ke Tri Jaya Motor, karena titik ini merupakan titik awal maka untuk rute terakhir juga, langkah selanjutnya semut baru menentukan perjalanan ke titik selanjutnya secara acak,

$$(1 \rightarrow 5) + (5 \rightarrow 2) + (2 \rightarrow 3) + (3 \rightarrow 4) + (4 \rightarrow 6) + (6 \rightarrow 1)$$

$$\text{Total Jarak} = 25,7 + 6 + 16,9 + 32,9 + 67,9 + 50,5 = 199,9 \text{ km}$$

Rute:

Tri Jaya Motor → MCM Motor (Cilaku) → Eva Motor (Cigoong) → Ballunk Motor (Carenang) → Sahabat Motor (Selikur) → Risma Motor (Pasauran) → Tri Jaya Motor

$$\tau_0 = \frac{m}{C_{\text{greedy}}}$$

$$\tau_0 = \frac{6}{199,9} = 0,030$$

Perhitungan Phenomon Awal

$$\tau_{ij} (t = 1) = \tau_0 = 0,030$$

Tabel 4. Phenomon Awal

Dari/Ke	1	2	3	4	5	6
1	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030
2	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030
3	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030
4	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030
5	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030
6	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030

Tabel 4 menunjukkan nilai pheromone awal (τ_{ij}) pada setiap jalur antar lokasi yang digunakan dalam proses perhitungan algoritma Ant Colony Optimization (ACO). Pada tahap awal iterasi, seluruh jalur diberikan nilai pheromone yang sama, yaitu sebesar 0,030. Pemberian nilai awal yang seragam bertujuan agar setiap jalur memiliki peluang yang sama untuk dipilih oleh semut pada proses pencarian rute awal.

d. Substitusikan rumus berikut untuk mencari probabilitas setiap kota

Menghitung nilai probabilitas dengan tujuan untuk menentukan simpul yang akan menjadi tujuan perjalanan. Nilai probabilitas tertinggi dari suatu simpul akan menjadi simpul tujuan selanjutnya, dapa dengan persamaan berikut: merujuk pada rumus (2)

Perhitungan:

$$P[1,2] = \frac{0,034 * 0,030}{((0 * 0,030) + (0,034 * 0,030) + (0,022 * 0,030) + (0,023 * 0,030) + (0,039 * 0,030) + (0,020 * 0,030))} = 1,003$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan Probabilitas Langkah Pertama

Dari/Ke	1	2	3	4	5	6	Max Probabilitas	Tujuan	Memori
1	0	1,003	0,159	0,169	0,337	0,144	1,003	2	[1,2]
2	0,103	0	0,182	0,142	0,514	0,058	0,514	5	[2,5]
3	0,13	0,353	0	0,181	0,249	0,087	0,353	2	[3,2]
4	0,168	0,335	0,221	0	0,17	0,107	0,335	2	[4,2]
5	0,135	0,579	0,145	0,081	0	0,059	0,579	2	[5,2]
6	0,233	0,222	0,171	0,173	0,201	0	0,233	1	[6,1]

Selesai perhitungan keseluruhan maka langkah selanjutnya memilih kota yang dikunjungi dari nilai probabalitis tertinggi dan mencatat setiap kota yang dikunjungi ke dalam tabel memori

Keterangan :

Max Probabilitas didapat dari nilai tertinggi

Tujuan didapat dari kota nomor 2

Memori [1,2] diasumsikan Maximal probabilitas didapat pada retail ke 2

Langkah selanjutnya untuk penggunaan Perhitungan Phenomon Awal masih menggunakan tabel 4, dapat dilakukan dengan langkah-langkah seperti berikut

Tabel 6. Tabel Nilai Visibilitas dari Langkah Pertama

Dari/Ke	1	2	3	4	5	6
1	0,000	0	0,159	0,169	0,337	0,144

Dari/Ke	1	2	3	4	5	6
2	0,103	0,000	0,182	0,142	0	0,058
3	0,130	0	0,000	0,181	0,249	0,087
4	0,168	0	0,221	0,000	0,170	0,107
5	0,135	0	0,145	0,081	0,000	0,059
6	0	0,222	0,171	0,173	0,201	0,000

Perhitungan:

$$\begin{aligned}
 P[3,5] &= 0,0249 * 0,030 \\
 &= ((0,201*0,030) + (0*0,030) + (0*0,030) + (0,280*0,030) + (0,385*0,030) + (0,134*0,030)) \\
 &= 0,385
 \end{aligned}$$

Tabel 7. Tabel Nilai Visibilitas dari Langkah Ke Tiga

Dari/Ke	1	2	3	4	5	6	Max Probabilitas	Tujuan	Memori
1	0,000	0,000	0,197	0,208	0,417	0,178	0,417	5	[1,2,5]
2	0,213	0,000	0,375	0,292	0,000	0,119	0,375	3	[2,5,3]
3	0,201	0,000	0,000	0,280	0,385	0,134	0,385	5	[3,2,5]
4	0,253	0,000	0,332	0,000	0,255	0,161	0,332	3	[4,2,3]
5	0,321	0,000	0,345	0,193	0,000	0,141	0,345	3	[5,2,3]
6	0,000	0,289	0,223	0,226	0,262	0,000	0,289	2	[6,1,2]

Tabel 8. Tabel Nilai Visibilitas dari Langkah Ke Enam

Dari/Ke	1	2	3	4	5	6
1	0,000	0	0,000	0,000	0	0,476
2	0,000	0,000	0	0,000	0	0,359
3	0,000	0	0,000	0,000	0	0,400
4	0,000	0	0	0,000	0,000	0,389
5	0,000	0	0	0,000	0,000	0,422
6	0	0	0,497	0,000	0,000	0,000

Tabel 9. Hasil Perhitungan Probabilitas Langkah Ke Enam

Dari/Ke	1	2	3	4	5	6	Max Probabilitas	Tujuan	Memori
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	6	[1,2,5,4,3,6]
2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	6	[2,5,3,4,1,6]
3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	6	[3,2,5,4,1,6]
4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	6	[4,2,3,5,1,6]
5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	6	[5,2,3,1,4,6]
6	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	3	[6,1,2,5,4,3]

Setelah semua kota dikunjungi, hitung cost, lalu simpan solusi terbaik (global best), dengan perhitungan:

Memori : 1,2,5,4,3,6

Cost : ~~1~~ 2) + ~~2~~ 5) + ~~5~~ 4) + ~~4~~ 3) + ~~3~~ 6) + ~~6~~ 1)

Cost : 29.8 + 6 + 42.8 + 32.9 + 68.8 + 50.5

Cost : 230,8 km

Tabel 5 hingga Tabel 9 menunjukkan proses perhitungan algoritma Ant Colony Optimization (ACO) dalam menentukan rute distribusi yang optimal. Proses dimulai dengan menghitung nilai probabilitas setiap kota tujuan berdasarkan nilai pheromone dan visibilitas antar lokasi. Kota dengan nilai probabilitas tertinggi dipilih sebagai tujuan berikutnya karena dianggap memiliki jalur paling optimal untuk dilalui. Setiap kota yang telah dipilih kemudian dicatat ke dalam memori perjalanan dan tidak akan dikunjungi kembali pada iterasi berikutnya. Proses ini dilakukan secara bertahap hingga seluruh kota berhasil dikunjungi. Setelah semua rute terbentuk, dilakukan perhitungan total jarak tempuh (cost) untuk menentukan solusi terbaik (global best), yaitu rute dengan jarak distribusi paling minimum.

Tabel 10. Rekapitulasi untuk Jarak

Kota Awal	Memori	Perhitungan	Cost (Total Jarak)
1	1,2,5,4,3,6	29.8 + 6 + 42.8 + 32.9 + 68.8 + 50.5	230.8 km
2	2,5,3,4,1,6	6 + 23.9 + 32.9 + 43.2 + 50.5 + 53.1	209.6 km
3	3,2,5,4,1,6	16.9 + 6 + 42.8 + 43.2 + 50.5 + 53.1	212.5 km
4	4,2,3,5,1,6	21.7 + 16.9 + 23.9 + 25.7 + 50.5 + 67.9	206.6 km (Jarak Paling Pendek)
5	5,2,3,1,4,6	6 + 16.9 + 45.8 + 43.2 + 67.9 + 58.7	238.5 km

Kota Awal	Memori	Perhitungan	Cost (Total Jarak)
6	6,1,2,5,4,3	$50.5 + 29.8 + 6 + 42.8 + 32.9 + 68.8$	230.8 km

Cek kondisi berhenti

Pada proses ini dilakukan cek kondisi untuk menentukan apakah proses iterasi algoritma sudah cukup dan harus berhenti atau masih terus dilanjutkan. Cek kondisi berhenti ($t=t+1=1+1=2$ (masih $\leq NC_{max}$)), jika belum memenuhi kondisi berhenti:

- a. Hitung matrik perubahan intensitas feromon tiap semut, jika jalur (i,j) atau (j,i) ada dalam memori, gunakan rumus berikut:

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

$$\Delta\tau_{ij}^k = \frac{Q=1}{Cost_1} = \frac{1}{230,8} = 0,004332$$

Jika jalur (i,j) atau (j,i) tidak ada dalam memori maka semua jalur memori dimasukkan ke dalam matrik perubahan, misalnya: (1>2),(2>5),(5<4),(4<3),(3<6), (6<1), matrik perubahan akan selalu berubah sesuai dengan jalur memori yang akan dilewati. Matrik Perubahan intensitas Feromon Semut ke-1

Jalur Perjalanan semut : 1,2,5,4,3,6

(1>2),(2>5),(5<4),(4<3),(3<6), (6<1)

	1	2	3	4	5	6
1		0,004332	0	0	0	0,004332
2	0,004332		0	0	0,004332	0
3	0	0		0,004332	0	0,004332
4	0	0	0,004332		0,004332	0
5	0	0,004332	0	0,004332		0
6	0,004332	0	0,004332	0	0	

Lanjutkan sampai langkah semut ke – 6

- b. Hitung matrik perubahan intensitas feromon global dari tiap semut

Tahapan ini menghitung matriks perubahan intensitas feromon global dari tiap semut, yang digunakan untuk memperbarui nilai feromon pada setiap jalur yang telah dilewati oleh semut, sehingga menghasilkan solusi yang lebih baik dan memiliki tingkat feromon yang lebih tinggi. merujuk pada rumus (3)

	1	2	3	4	5	6
1	0	0,008665	0,004193	0,01367	0,00484	0,022982
2	0,008665	0	0,013739	0,00484	0,022335	0,004771
3	0,004193	0,013739	0	0,013436	0,009611	0,013371
4	0,01367	0,00484	0,013436	0	0,013371	0,009033
5	0,00484	0,022335	0,009611	0,013371	0	0,004193
6	0,022982	0,004771	0,013371	0,009033	0,004193	0

Tahapan menghitung matriks perubahan intensitas feromon global pada metode ACO berguna untuk menggabungkan kontribusi semua dalam memperbarui nilai feromon pada setiap jalur.

- c. Update Feromon

Tahapan ini proses memperbarui nilai intensitas feromon pada setiap jalur atau solusi yang telah dilalui oleh semut. Tahapan ini bertujuan menentukan arah pencarian solusi iterasi berikutnya. Merujuk pada rumus (4)

	1	2	3	4	5	6
1	0,030	0,011665	0,007193	0,01667	0,00784	0,025982
2	0,011665	0,030	0,016739	0,006514	0,022986	0,00707
3	0,007193	0,015383	0,030	0,016436	0,011255	0,014496
4	0,01667	0,006477	0,014503	0,030	0,016371	0,01067
5	0,00784	0,023054	0,009611	0,013371	0,030	0,007193
6	0,025982	0,004771	0,013371	0,009033	0,004193	0,030

Tahapan update feromon dalam metode Ant Colony Optimization digunakan untuk memperbarui nilai feromon pada setiap jalur berdasarkan kualitas solusi yang ditemukan oleh semut, sehingga jalur terbaik akan semakin diperkuat dan algoritma dapat menemukan solusi optimal secara bertahap. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan algoritma Ant Colony Optimization (ACO), diperoleh rute distribusi terbaik pada node awal 4 dengan total jarak tempuh sebesar 206,6 km. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode ACO mampu menghasilkan rute distribusi yang lebih efisien dibandingkan rute manual yang sebelumnya digunakan perusahaan dengan estimasi jarak lebih dari 230 km.

3.2 Hasil dan Pembahasan

Penerapan algoritma ACO pada PD. Tri Jaya Motor terbukti menjadi strategi pengambilan keputusan metaheuristik yang paling dibandingkan metode manual. Dibandingkan variasi temuan terdahulu, penelitian ini

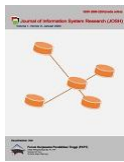
sukses memperluas bukti empiris bahwa ACO mampu memberikan penghematan biaya operasional secara signifikan, meminimalkan jarak tempuh, dan menghemat waktu pengiriman untuk rantai pasok komoditas otomotif skala menengah.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penerapan algoritma Ant Colony Optimization (ACO) mampu memberikan solusi yang efektif dalam menentukan rute pengiriman barang yang optimal pada PD. Tri Jaya Motor. Metode ACO terbukti dapat mengatasi permasalahan inefisiensi rute pengiriman yang sebelumnya dilakukan secara manual, khususnya bagi sales yang harus mengunjungi enam lokasi berbeda. Dengan mempertimbangkan jarak tempuh dan waktu pengiriman sebagai parameter utama, ACO mampu menghasilkan rute pengiriman yang lebih efisien dibandingkan metode konvensional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan ACO berpotensi menurunkan jarak tempuh, menghemat waktu pengiriman, serta meningkatkan efisiensi biaya operasional. Adapun rute paling efektif yang dihasilkan adalah: Tri Jaya Motor → Sahabat Motor (Selikur) → Eva Motor (Cigoong) → Ballunk Motor (Carenang) → MCM Motor (Cilaku) → Risma Motor (Pasauran) → Tri Jaya Motor, dengan total jarak tempuh sebesar 206,6 km. Dengan demikian, metode ACO berhasil meningkatkan efisiensi jarak tempuh sebesar 10,48% dibandingkan rute manual yang digunakan sebelumnya. Kontribusi penelitian ini mampu menurunkan jarak tempuh serta berdampak pada penghematan waktu pengiriman serta efisiensi biaya operasional distribusi. Selain itu, algoritma ACO memiliki kemampuan adaptif yang baik dalam menyelesaikan permasalahan optimasi rute, sehingga dapat mendukung pengambilan keputusan strategis dalam sistem distribusi barang. Dengan demikian, penerapan ACO dapat meningkatkan kinerja logistik perusahaan serta mendukung kelancaran proses distribusi secara keseluruhan. Metode ACO merupakan metode yang efektif dalam menyelesaikan permasalahan optimasi rute perjalanan. Namun, metode ini memerlukan penyesuaian parameter dan strategi yang tepat agar dapat menghasilkan solusi yang optimal. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian terhadap variasi parameter ACO guna memperoleh hasil yang lebih akurat dan maksimal.

REFERENCES

- [1] Y. Delina, Suendri, and A. Muliani, "Sistem Informasi Geografis Pendataan Vaksinasi Covid- 19 Dengan Algoritma Ant Colony Berbasis Web Pada Kota Medan," *J. Sci. Soc. Res.*, vol. 7, no. 3, pp. 1240–1246, 2024, [Online]. Available: <https://jurnal.goretanpena.com/index.php/JSSR/article/view/2109>.
- [2] I. Supriadi, A. Mauluddin, I. Ibrahim, and P. Sagala, "jurnal Implementasi Algoritma Simple Hill Climbing Sebagai Optimasi Travelling Salesman Problem Dalam Penentuan Rute Pengiriman Barang (Studi Kasus: Jasa Pengiriman Barang J&T)," *Inf. (Jurnal Inform. dan Sist. Informasi)*, vol. 15, no. 1, pp. 70–80, 2023, doi: 10.37424/informasi.v15i1.220.
- [3] M. H. R. Chakim et al., *MANAJEMEN DISTRIBUSI: Strategi, Logistik, dan Inovasi*. Banten: Sada Kurnia Pustaka, 2025.
- [4] A. H. Mirza and D. Irawan, "Implementasi Metode Saving Matrix Pada Sistem Informasi Distribusi Barang," *J. Ilm. Matrik*, vol. 22, no. 3, pp. 316–324, 2020, doi: 10.33557/jurnalmatrik.v22i3.1050.
- [5] A. I. Pratiwi et al., "Penentuan Rute Terbaik Pendistribusian Produk Wafer dengan Metode Algoritma Genetika (Studi Kasus di Perusahaan Jasa Pergudangan Produk Wafer Karawang)," *JISI J. Integr. Sist. Ind.*, vol. 10, no. 2, p. 69, 2023, doi: 10.24853/jisi.10.2.69-75.
- [6] S. Anggraini and E. Aryanny, "Optimizing Spare Part Delivery Routes Using Ant Colony Optimization," *Acad. Open*, vol. 10, no. 2, pp. 1–19, 2025, doi: 10.21070/acopen.10.2025.11477.
- [7] E. Setyati and I. Juniwati, "Ant Colony Optimization untuk Menyelesaikan Perutean Distribusi Snack dengan Vehicle Routing Problem," *J. Teknol. Inf. dan Terap.*, vol. 9, no. 2, pp. 111–117, 2022, doi: <https://doi.org/10.25047/jtit.v9i2.296> ©2022.
- [8] N. Ranti, I. Bayhaqi, and D. Rahmatika, "Penentuan Rute dan Biaya Transportasi Tandan Buah Segar dengan Metode North West Corner," *J. Tek. Mesin dan Ind.*, vol. 01, no. 02, pp. 37–43, 2022, doi: <https://doi.org/10.55331/jutmi.v1i2.17>.
- [9] D. P. Faeni, A. B. Samosir, D. Ramadhan, F. Y. Qoirawan, and I. A. Setyawan, "Analisis penerapan model transportasi sebagai upaya efisiensi biaya distribusi (studi kasus pada pt shopee international indonesia)," *J. Penelit. dan Pengkaj. Ilm.*, vol. 2, no. 5, pp. 707–715, 2025, doi: <https://doi.org/10.62335/cendekia.v2i5.1240>.
- [10] N. S. Azzahra, N. N. Aulia, A. Binarsih, and P. Paduloh, "Analisis Optimasi Jalur Distribusi Menggunakan Pendekatan TSP (Travelling Salesman Problem) Untuk Meningkatkan Efisiensi Biaya Distribusi Pada Toko Uthe Grosir," *Humanit. (Jurnal Humaniora, Sos. Bisnis)*, vol. 2, no. 6, pp. 542–553, 2024.
- [11] T. Setiadi, F. Darnis, and S. D. Ilhami, "Optimasi Perutean Jalur Kendaraan Terdekat Traveling Salesman Problem dengan Artificial Bee Colony Algorithm," *J. KomtekInfo*, vol. 10, no. 2, pp. 42–48, 2024, doi: 10.35134/komtekinfo.v11i2.502.
- [12] M. Ashour, A. Elsaed, Y. Mesalam, and R. Elshaer, "OPEN A hybrid multi-level ant colony optimization framework for integrated production scheduling and vehicle routing," *Sci. Rep.*, pp. 1–27, 2025, doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-21231-y>.
- [13] M. B. Izdihar, R. Maulidiya, A. M. Ibrahim, M. A. Maulana, T. Novianti, and S. Amar, "PERANCANGAN RUTE DISTRIBUSI MENGGUNAKAN ALGORITMA ANT COLONY OPTIMIZATION (ACO) PADA PT. YAKULT INDONESIA PERSADA CABANG LHOKEUMAWE," *J. Stud. Multidisipliner Vol*, vol. 9, no. 12, pp. 32–39, 2025, [Online]. Available: <https://oaj.jurnalhst.com/index.php/jsm/article/view/17072>.



- [14] P. Lestari, A. Hasibuan, and B. Harahap, “Analisis Penentuan Rute Distribusi menggunakan Metode Nearest Neighbor di PT Medan Juta Rasa Tanjung Morawa,” *J. Ind. Manaj. dan Rekayasa Sist. Ind.*, vol. 1, no. 1, pp. 26–32, 2022, doi: <https://doi.org/10.56211/factory.v1i1.110>.
- [15] S. A. J. Prasetyo and Suseno, “Optimasi Rute dengan Metode Ant Colony Optimization dan Nearest Neighbor di Perusahaan Yellow Moon Production,” *J. Multidisiplin Ilmu Akad.*, vol. 2, no. 6, pp. 619–632, 2024, doi: <https://doi.org/10.61722/jmia.v1i3.1621>.
- [16] D. Rahmalia and N. Husenti, “Multi-Objective Portfolio Optimization Using Hybrid Ant Colony Optimization and Compromise Programming,” *J. Tek. Ind.*, vol. 25, no. 2, pp. 131–144, 2024, doi: [10.22219/jtiumm.vol25.no2.131-144](https://doi.org/10.22219/jtiumm.vol25.no2.131-144).
- [17] R. Maryani, “Sistem Pendukung Keputusan Cerdas Menggunakan Metode Ant Colony Optimization (ACO) untuk Pencarian Jalur Optimum Rantai Pasok Bioenergi Berbasis Kelapa Sawit,” *J. Inform. Ekon. Bisnis*, vol. 4, no. 4, pp. 192–196, 2022, doi: [10.37034/infek.v4i4.168](https://doi.org/10.37034/infek.v4i4.168).
- [18] R. L. Astutik, “Determination of Woven Bag Delivery Routes Using the Ant Colony Optimization Method: Penentuan Rute Pengiriman Kantong Tenun Menggunakan Metode Optimisasi Koloni Semut Rossa,” *Acad. Open*, vol. 11, no. 1, pp. 1–22, 2026, doi: [10.21070/acopen.11.2026.14050](https://doi.org/10.21070/acopen.11.2026.14050).
- [19] F. Faisal, M. R. Djalal, and M. Ali, “Penerapan SMES untuk Load Frequency Control pada PLTMH Menggunakan Ant Colony Optimization,” *J. FORTECH*, vol. 5, no. 1, pp. 1–9, 2024, doi: [10.56795/fortech.v5i1.5101](https://doi.org/10.56795/fortech.v5i1.5101).
- [20] Lutfi, M. Khoswara, H. S. A. H, and S. Suseno, “Pencarian Rute Optimal Distribusi Melalui Pendekatan Metode Ant Colony Optimization (ACO),” *J. Teknol. dan Manaj. Ind. Terap.*, vol. 2, no. 2, pp. 63–71, 2023, doi: [10.55826/tmit.v2i2.105](https://doi.org/10.55826/tmit.v2i2.105).
- [21] E. Sanggala and M. A. Bisma, “Analysis of The Ant Number Effects on Ant Colony Optimization for Solving Russia-20-Nodes-SDVRP Instance,” *Sainteks J. Sains dan Tek.*, vol. 5, no. 2, pp. 163–174, 2023, doi: [10.37577/sainteks.v5i2.608](https://doi.org/10.37577/sainteks.v5i2.608).
- [22] T. Herianto, “Implementation of the Ant Colony System Algorithm in the Lecture Scheduling Process,” *Instal J. Komput.*, vol. 12, no. 02, pp. 54–60, 2021, doi: [10.54209/jurnalkomputer.v12i02.23](https://doi.org/10.54209/jurnalkomputer.v12i02.23).
- [23] Paduloh and T. Djatna, “A Robust Optimizing Reverse Logistics Model for Beef Products Using Multi Depot Vehicle Routing Problem,” vol. 14, no. June, pp. 45–54, 2023, doi: [10.21512/comtech.v14i1.8397](https://doi.org/10.21512/comtech.v14i1.8397).