

Optimalisasi *Green Logistics* terhadap Rute Pendistribusian Menggunakan Metode *Ant Colony* dan *Fuzzy Logic* Di PT AMIP

Annisa Indah Pratiwi, Aina Nindiani, Muhamad Sayuti, dan Afif Hakim

Program Studi Teknik Industri, Universitas Buana Perjuangan Karawang, Karawang, Indonesia

*annisa.indah@ubpkarawang.ac.id

OPEN ACCESS

Citation: Annisa Indah Pratiwi, Aina Nindiani, Muhamad Sayuti, dan Afif Hakim. 2025. Optimalisasi *Green Logistics* terhadap Rute Pendistribusian Menggunakan Metode *Ant Colony* dan *Fuzzy Logic* Di PT AMIP. *Journal of Research and Technology* Vol. 11 No. 1 Juni 2025: Page 95–107.

Abstract

This research was conducted at a company engaged in spare part production located in West Java. The objective is to determine the most optimal route in the product distribution process. The company serves several customers across Indonesia, particularly in the West Java region. The distribution process is one of the responsibilities of the logistics department. Since it is closely related to customer satisfaction, the delivery must be well-managed and timely. Therefore, this study also aims to determine the best route based on the distance between locations. To obtain the optimal route, this research proposes a solution using the Ant Colony Optimization (ACO) method, which will be integrated with the Fuzzy Logic method to determine the route to be taken by the delivery trucks. The determination of the shortest path using the ACO method provides optimal route information, with a total travel distance of 255.5 km, following the sequence V0-V4-V6-V2-V5-V7-V1-V8-V3-V0. The difference from the previous route is 47.8 km.

Keywords: *Ant Colony Optimization, Distribution, Fuzzy Logic, Sparepart.*

Abstrak

Penelitian ini dilakukan pada salah satu perusahaan yang bergerak di bidang produksi sparepart di Jawa Barat. Tujuannya adalah untuk menentukan rute terbaik dalam proses distribusi produknya. Perusahaan memiliki beberapa konsumen yang tersebar di Indonesia, khususnya di wilayah Jawa Barat. Proses distribusi merupakan salah satu tanggung jawab dari departemen logistik. Karena berkaitan erat dengan kepuasan konsumen, maka pengiriman harus diatur dengan baik dan tepat waktu. Oleh karena itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan rute terbaik berdasarkan jarak antar lokasi. Untuk memperoleh rute terbaik, penelitian ini menawarkan solusi dengan menggunakan metode Ant Colony Optimization (ACO) yang akan diintegrasikan dengan metode Fuzzy Logic untuk menentukan rute yang akan ditempuh oleh truk. Penentuani jarak terpendek dengan menggunakan

metode ACO memberikan hasil informasi rute optimal yang akan dilalui dengan nilai total jarak tempuh sebesar 255,5 km dengan semut V0-V4-V6-V2-V5-V7-V1-V8-V3-V0. Selisih rute optimal dari rute sebelumnya yaitu 47,8 km.

Keywords: Ant Colony Optimization, Distribusi, Fuzzy Logic, Sparepart.

1. Pendahuluan

Distribusi adalah salah satu kegiatan yang dianggap sangat penting dalam perusahaan. Kegiatan distribusi merupakan aktivitas yang sering dilakukan untuk menyalurkan hasil produksi kepada para konsumen (Nugraha et al., 2019). Kegiatan distribusi sendiri merupakan bagian dari tugas departemen logistik dalam sebuah perusahaan. Logistik sangat berhubungan erat dengan rantai pasok (*supply chain*). Menurut Sumekar et al. (2022), tujuan kegiatan logistik adalah untuk mencapai ketepatan waktu, jenis, dan lokasi dalam mendistribusikan barang atau jasa, serta menghemat waktu dan biaya sehingga lebih efektif dalam menjalankan operasional perusahaan. Dalam konteks industri, unsur logistik juga dapat memengaruhi pengendalian operasional. Pada dasarnya, penentuan rute dapat dilakukan menggunakan dua pendekatan: metode tradisional dan metode heuristik (Nurharyanto & Perdana, 2021).

Saat ini, proses pendistribusian produk di PT AMIP dilakukan tanpa mempertimbangkan rute terbaik. Barang dikirim ke setiap pelanggan berdasarkan urutan perjalanan yang ditentukan oleh sopir, bukan berdasarkan perhitungan rute terpendek yang menyebabkan tingginya biaya bahan bakar yang dikeluarkan. Selain itu, armada truk yang digunakan hanya melayani satu tujuan gudang, sehingga perlu adanya evaluasi ulang terhadap sistem distribusi perusahaan. Rute terbaik dalam proses distribusi biasanya didasarkan pada jarak tempuh dari satu tempat ke tempat lainnya. Namun pada kenyataannya, rute terbaik juga harus memperhatikan kondisi jalan, kapasitas barang, jarak tempuh, dan faktor lainnya (Prasetya, 2019).

Definisi optimasi merujuk pada proses pencarian solusi terbaik untuk suatu permasalahan. Berdasarkan permasalahan distribusi PT AMIP yang telah dijelaskan, penelitian ini bertujuan mengoptimalkan jarak distribusi sebagai solusi dalam menentukan jalur distribusi yang efisien. Optimasi jarak telah digunakan pada berbagai studi sebelumnya, seperti pada kasus penentuan rute penjemputan penumpang travel (Sitanggang, Dewi, & Wihandika, 2018), serta pada optimasi rute logistik yang menyelesaikan kasus *Travelling Salesman Problem* (Bai et al., 2020).

Penggunaan bahan bakar dalam pendistribusian produk juga berdampak terhadap emisi udara. Tujuan dari *Green Vehicle Routing Problem* adalah untuk merencanakan rute distribusi dengan emisi CO₂ seminimal mungkin. Jumlah emisi CO₂ yang dihasilkan dihitung berdasarkan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi (Ferreira, de Queiroz, & Toledo, 2020). Semakin sedikit bahan bakar yang digunakan dan semakin efisien rute yang diambil, maka semakin kecil pula emisi CO₂ yang dihasilkan.

Teknik *Fuzzy Logic* digunakan untuk memberikan output berupa nilai bobot berdasarkan parameter jarak dan konsumsi bahan bakar. Nilai bobot tersebut kemudian digunakan dalam

algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO). Pengolahan data fuzzy dilakukan menggunakan aplikasi MATLAB. Aplikasi ini mempermudah manipulasi matriks, perhitungan numerik, serta pembuatan grafik dan skrip program yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengguna (Nazhifan et al., 2022).

Dalam penelitian ini, metode penyelesaian masalah yang digunakan adalah kombinasi antara *Ant Colony Optimization* dan *Fuzzy Logic* untuk mengoptimalkan distribusi dan menghemat konsumsi bahan bakar.

2. Metode Penelitian

Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) merupakan teknik probabilistik yang digunakan untuk memecahkan permasalahan komputasi, yang terinspirasi dari perilaku koloni semut dalam menemukan jalur terpendek menuju sumber makanan. ACO dan *Nearest Neighbor* merupakan metode heuristik yang menggunakan pendekatan untuk mencari jalur terpendek dan optimal dalam proses distribusi (Alfa Husna et al., 2023).

Semut tiruan dalam penelitian ini, berperan sebagai agen yang secara stokastik membangun solusi dengan menambahkan komponen-komponen solusi yang valid secara bertahap. Saat semut bergerak, mereka meninggalkan jejak feromon di sepanjang jalur yang dilalui. Proses ini dikenal sebagai *stigmergy*, yaitu interaksi tidak langsung antar semut melalui lingkungan, di mana jejak feromon digunakan sebagai sinyal. Semut lainnya kemudian cenderung mengikuti jalur yang memiliki intensitas feromon lebih tinggi (Kurniawan, 2016). Kelebihan algoritma ACO dibanding metode lainnya adalah kemampuannya dalam menemukan solusi mendekati optimum secara efisien dan akurat. Metode ini juga telah terbukti mampu menghasilkan solusi terbaik dalam berbagai kasus optimasi (Ilham, 2015).

Metode yang digunakan dalam menentukan rute terdekat menggunakan Algoritma *Ant Colony* memerlukan beberapa parameter dan langkah-langkah yang harus dilakukan diantaranya:

Langkah 1

Melakukan inialisasi harga parameter-parameter algoritma.

Langkah 2

Mencatat titik lokasi yang sudah dilalui koloni semut. Kita dapat mengetahui jalur perjalanan semut karena semut akan selalu merekam setiap titik yang telah dilaluinya.

Langkah 3

Menyusun setiap titik lokasi yang telah dilalui koloni semut. Setelah melalui pencatatan titik lintasan yang dilalui oleh setiap semut, maka berdasarkan hubungan antar titik yang dilalui, semut akan memilih pasangan titik yang akan dituju selanjutnya hingga semua titik terpilih.

Dalam logika klasik dinyatakan bahwa segala sesuatu bersifat biner, yang berarti hanya memiliki dua kemungkinan: "Ya atau Tidak", "Benar atau Salah", "Baik atau Buruk", dan lain-lain. Oleh karena itu, semua hal tersebut hanya memiliki nilai keanggotaan 0 atau 1. Namun, dalam logika fuzzy, kemungkinan nilai keanggotaan berada di antara 0 dan 1. Artinya, suatu keadaan dapat memiliki dua nilai secara bersamaan, seperti "Ya dan Tidak", "Benar dan Salah", atau "Baik dan Buruk", tergantung pada bobot keanggotaan yang dimilikinya (Silaban, 2021).

Data yang digunakan saat menerapkan metode ini meliputi waktu tempuh, kapasitas kendaraan, jumlah kendaraan yang dibutuhkan, serta data pelanggan beserta jaraknya. Cara kerja algoritma ACO adalah sebagai berikut:

1. Penetapan parameter, seperti banyak distribusi (n), α , β dan p .
2. Membuat matriks *visibility*

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

3. Menentukan matriks peromon awal

$$\tau_0 = \frac{n}{C_{nn}} \quad (2)$$

4. Semut ditempatkan pada titik awal berbeda-beda kemudian semut memulai membuat sebuah perjalanan menuju titik pertama secara acak.

5. Memilih titik distribusi berikutnya dengan aturan transisi status

$$p_{ij}^k = \frac{[\tau_{ij}] \alpha \cdot [\eta_{ij}] \beta}{\sum_{k' \in \{N - \text{tabu}\}} [\tau_{ij}] \alpha \cdot [\eta_{ij}] \beta} \quad \text{untuk } j \in \{N - \text{tabu}\} \quad (3)$$

$$p_{ij}^k = 0 \quad \text{untuk } j \text{ lainnya} \quad (4)$$

6. *Update* jumlah feromon dengan menggunakan persamaan:

$$\tau_{ij} (\text{baru}) = (1 - p) \tau_{ij} + \Delta \tau_{ij}, k \quad (5)$$

7. Ulangi sampai setiap semut mengunjungi semua

Sesuaikan permintaan masing-masing titik distribusi dengan kapasitas truk. Apabila kapasitas truk sudah penuh maka truk harus kembali ke gudang dan pendistribusian untuk titik berikutnya akan digunakan truk lainnya.

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Pengumpulan Data

3.1.1 Data Jarak Lokasi Customer dari Perusahaan

Penelitian ini dilakukan pada perusahaan produksi *sparepart* yang beralamat di Karawang, Jawa Barat dan seluruh customer dari perusahaan tersebut yang berada di wilayah Jawa Barat. Tabel 1 merupakan data jarak lokasi setiap customer dari perusahaan.

Tabel 1. Data Jarak Lokasi Customer

Nama customer	Jarak (km)	X	Y
Gudang Logistik	0	107.40306350267421	-6.4170070622144415
SCO (V1)	25	107.32642102108014	-6.371799803323179
KKI (V2)	36	107.2353664892215	-6.393836827488461
MSS (V3)	14	107.43060022699788	-6.404222291296595
MPP (V4)	79	106.97413678693417	-6.099769730490708
KIC (V5)	29	107.27518748648778	-6.358010913843426
DAS (V6)	43	107.1802071916387	-6.380291601823848
MTN (V7)	54	107.08247102641198	-6.300923352328236
TBB (v8)	23	107.310538020494	-6.381523966037267

3.1.2 Data Penggunaan Bahan Bakar

Jenis transportasi yang digunakan dalam proses pendistribusian yaitu truk jenis tronton, sehingga penggunaan bahan bakar dari setiap truk adalah sama. Dimisalkan penggunaan bahan bakar dari setiap truk yaitu 1 liter per 10 km. Maka, data penggunaan bahan bakar dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Data Konsumsi Bahan Bakar

Gudang Logistik	Jarak	Konsumsi BBM (Liter)
SCO	25	3
KKI	36	4
MSS	14	1
MPP	79	8
KIC	29	3
DAS	43	4
MTN	54	5
TBB	23	2

3.2 Pengolahan Data

3.2.1 Membuat Matriks Jarak dan Menentukan Waktu Tempuh

a. Matriks Jarak

Jarak antar titik logistik di cari menggunakan aplikasi *google maps* dengan menyesuaikan titiki awal dan tujuan pada aplikasi tersebut. Sehingga dihasilkan jarak antar titik dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Matriks Jarak

	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
V0	0	25	36	14	79	29	43	54	23
V1	25	0	21,5	24,1	64,6	14,6	26	35	4,7
V2	36	21,5	0	31	62,5	9,4	11,2	32,9	22,6
V3	14	24,1	31	0	75,5	25,5	36,9	45,9	25,9
V4	79	64,6	62,5	75,5	0	55,3	49,3	35	65,5
V5	29	14,6	9,4	25,5	55,3	0	18	27	16,6
V6	43	26	11,2	36,9	49,3	18	0	19,7	27,8
V7	54	35	32,9	45,9	35	27	19,7	0	37,9
V8	23	4,7	22,6	25,9	65,5	16,6	27,8	37,9	0

b. Waktu Tempuh

Persamaan yang digunakan untuk mennetukan waktu tempuh:

$$\text{waktu (t)} = \frac{\text{Jarak (s)}}{\text{Kecepatan (v)}} \quad (6)$$

Berdasarkan asumsi dan literatur penelitian terdahulu, kecepatan rata-rata truk pengangkut barang di Indonesia adalah 40 Km/jam. Waktu tempuh dari V₀ ke V₁ = $\frac{25}{40} =$

37,5 menit, berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan di atas dihasilkan waktu tempuh antar titik logistik seperti pada tabel 5.

Tabel 4. Waktu Tempuh

	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
V0	0	37,5	54	21	118,5	43,5	64,5	81	34,5
V1	37,5	0	32,25	36,15	96,9	21,9	39	52,5	7,05
V2	54	32,25	0	46,5	93,75	14,1	16,8	49,35	33,9
V3	21	36,15	46,5	0	113,25	38,25	55,35	68,85	38,85
V4	118,5	96,9	93,75	113,25	0	82,95	73,95	52,5	98,25
V5	43,5	21,9	14,1	38,25	82,95	0	27	40,5	24,9
V6	64,5	39	16,8	55,35	73,95	27	0	29,55	41,7
V7	81	52,5	49,35	68,85	52,5	40,5	29,55	0	56,85
V8	34,5	7,05	33,9	38,85	98,25	24,9	41,7	56,85	0

3.2.2 Fuzzy Logic

a. Menentukan Domain Jarak

Semesta pembicaraan adalah untuk menentukan domain yang sesuai hasil di indikator *fuzzy inference system* (FIS). Berikut merupakan semesta pembicara untuk variabel jarak : [0 79].

$$\mu_{Dekat}[x] = \begin{cases} 1, & x \leq 26 \\ \frac{26-x}{13}, & 13 \leq x < 26 \\ 0, & x \geq 26 \end{cases}$$

$$\mu_{Sedang}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 6 \text{ atau } x \geq 420 \\ \frac{x-53}{29}, & 29 \leq x < 53 \\ \frac{53-x}{16}, & 16 \leq x < 53 \\ 1, & 16 \leq x \leq 53 \end{cases}$$

$$\mu_{Jauh}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 79 \\ \frac{x-66}{43}, & 43 \leq x < 79 \\ 1, & x \geq 79 \end{cases}$$

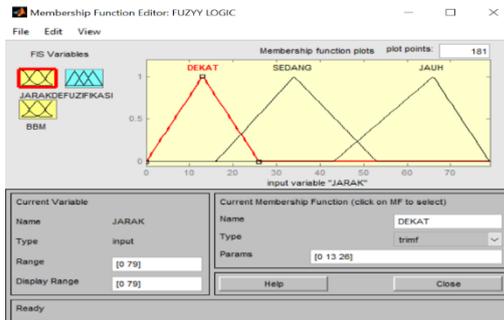
Himpunan *fuzzy* merupakan suatu grup yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu. Domain himpunan *fuzzy* untuk variable jarak dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Domain Variabel Jarak

Jarak	Dekat	0-26
	Sedang	16-53
	Jauh	43-79

Variabel jarak diwakili oleh kurva linier menurun untuk himpunan yang hampir kabur, kurva segitiga mewakili himpunan fuzzy rata-rata, dan kurva linier yang meningkat mewakili

himpunan yang hampir kabur atau tidak jelas. Gambar 2 merupakan domain input jarak pada Matlab.



Gambar 1. Input Domain *Fuzzy* Jarak Pada Matlab

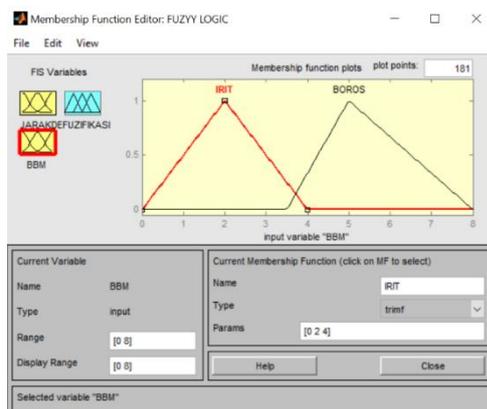
b. Menentukan Domain BBM

Semesta pembicara untuk variabel penggunaan bahan bakar : [0 8]. Tabel 6 merupakan domain himpunan fuzzy untuk bahan bakar.

Tabel 6. Domain Variabel Bahan Bakar

BBM	Irit	0-4
	Boros	3.5-8

Variabel bahan bakar diwakili oleh kurva linear yang menurun untuk himpunan yang hampir kabur, kurva segitiga mewakili himpunan fuzzy rata-rata, dan kurva linear yang meningkat mewakili himpunan yang hampir kabur atau tidak jelas. Gambar 3 merupakan input variabel jarak pada Matlab.

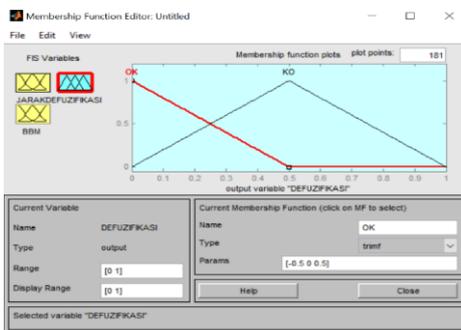


Gambar 2. Himpunan Bahan Bakar

c. Defuzifikasi

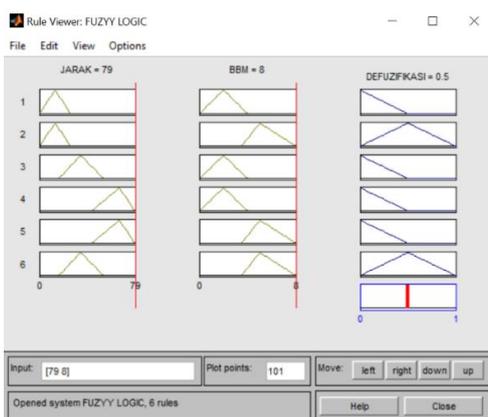
Langkah selanjutnya adalah mendefinisikan aturan fuzzy dan menggunakan aturan Fuzzy Mamdani untuk mendapatkan nilai output pendapatan akhir. Hal ini dilakukan dengan membentuk himpunan fuzzy dan derajat keanggotaannya (fuzzifikasi), definisi aturan,

argumentasi defuzzifikasi. Nilai output himpunan fuzzy yaitu optimal dilambangkan dengan [OK] dan kurang optimal dilambangkan dengan [KO]. Nilai O yaitu 0 sampai dengan 0,5 dan nilai KO yaitu 0,5 sampai dengan 1. Gambar 4 merupakan input defuzzifikasi pada Matlab.



Gambar 3. Himpunan Defuzifikasi

Setelah melakukan fuzifikasi, setiap rule diproses sesuai aturan fungsi implikasi, kemudian dipilih rute terbaik untuk diproses. Gambar 5 merupakan contoh *output* defuzzifikasi untuk tujuan paling jauh



Gambar 5. Output Fuzifikasi

Hasil pengolahan defuzzifikasi didapatkan hasil bahwa rute tersebut optimal dengan nilai defuzzifikasi 0.5.

3.2.3 Ant Colony Optimization

Rute TSP awal yang biasa digunakan yaitu V0–V3–V8–V1–V5–V2–V6–V7–V4–V0 dengan total jarak rute awal sebesar 303 km. Selanjutnya, akan dicari rute terbaik menggunakan Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO).

a. Parameter dan Nilai Pheromone Awal

ACO diperlukan untuk mendapatkan jalur terpendek. Langkah awal dalam penerapannya adalah melakukan inisialisasi nilai parameter algoritma, yang terdiri dari:

$$\alpha = 1$$

$$\beta = 1$$

$$\rho = 0,1$$

k = Jumlah total semut atau lokasi yaitu 8.

Sebelum melakukan perhitungan lebih lanjut, kajian dari metode *Nearest Neighbor* telah menentukan urutan dari gudang ke customer dan ke customer terdekat lainnya. Berikut ulasannya:

1. Lokasi awal pemberangkatan adalah V_0 atau gudang
2. V_0 berdasarkan *nearest neighbor* memiliki jarak yaitu ke *customer* V_8 (21 Km)
3. Dengan pendekatan serupa maka dapat disusun secara berurut V_3 (34,5 Km), V_5 (37,5 Km), V_7 (43,5 Km), V_6 (54 Km), V_1 (43,5 Km), V_2 (81 Km), V_4 (118 Km).
4. Selanjutnya kendaraan kembali titik awal yaitu V_0

Hasil dari langkah-langkah yang telah disusun, penulis memperoleh total jarak tempuh sebesar 303 km. Langkah berikutnya adalah menentukan matriks pheromone awal dengan pendekatan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$r_0 = \frac{1}{(n(Cnn))} \quad (7)$$

Maka hasil dari penghitungan itu akan memperoleh angka :

$$r_0 = \frac{1}{(8(330))} = 0,000665$$

Selanjutnya penulis membuat matrik visibilitas yaitu dengan rumus

$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}} \quad (8)$$

dimana η_{ij} mewakili jumlah α dan β yang tidak diperbolehkan melebihi angka 1 sebagai bentuk kemungkinan algoritma. Sedangkan i dan j itu sendiri mewakili jarak antara titik i ke titik j atau *customer* ke *customer*. Tabel 7 merupakan perhitungan dari visibilitas.

Tabel 7. Perhitungan Visibilitas

	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
V0	0	0,0400	0,0278	0,0714	0,0127	0,0345	0,0233	0,0185	0,0435
V1	0,0400	0	0,0465	0,0415	0,0155	0,0685	0,0385	0,0286	0,2128
V2	0,0278	0,0465	0	0,0323	0,0160	0,1064	0,0893	0,0304	0,0442
V3	0,0714	0,0415	0,0323	0	0,0132	0,0392	0,0271	0,0218	0,0386
V4	0,0127	0,0155	0,0160	0,0132	0	0,0181	0,0203	0,0286	0,0153
V5	0,0345	0,0685	0,1064	0,0392	0,0181	0	0,0556	0,0370	0,0602
V6	0,0233	0,0385	0,0893	0,0271	0,0203	0,0556	0	0,0508	0,0360
V7	0,0185	0,0286	0,0304	0,0218	0,0286	0,0370	0,0508	0	0,0264
V8	0,0435	0,2128	0,0442	0,0386	0,0153	0,0602	0,0360	0,0264	0

b. Menyusun Rute Perjalanan

Untuk menyusun rute perjalanan, maka peneliti akan melakukan perumpamaan semut sebagai pengganti kendaraan. Perjalanan semut akan dimulai dari titik awal sampai ke titik

tujuan selanjutnya dan kemudian kembali ke titik awal. Setelah itu, semut akan melakukan perjalanan acak dengan asumsi bahwa jalur yang dilalui tidak dilalui oleh semut lainnya. Perjalanan semut terus berlangsung tanpa putus sampai semua titik dikunjungi dan membentuk jalur. Berikut ini adalah probabilitas perhitungan siklus ke-1 ($NC=1$) yang diawali oleh perjalanan pertama. Karena V_0 adalah gudang, maka peneliti mengecualikan titik tersebut pada perhitungan di tahap visibilitas selanjutnya. Tabel 8 merupakan hasil penghitungan penentuan probabilitas.

Tabel 8. Probabilitas V_1

	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8
V_1	0,000	0,117	0,126	0,091	0,159	0,260	0,167	0,081
Probabilitas Kumulatif	0,000	0,117	0,242	0,333	0,492	0,752	0,919	1,000

Untuk mempermudah penentuan titik lokasi, peneliti menggunakan rumus randomisasi dan diperoleh angka 0,4434824. Berdasarkan rumus tersebut, terpilih titik terdekat dengan nilai randomisasi sebagai titik acuan, yaitu V_3 . Hasilnya, tabulasi list menjadi V_1 ke V_3 . Dengan perhitungan yang sama, berikut ini adalah tabel yang telah disusun dari titik V_2 hingga seterusnya.

Hasil akhir dari perhitungannya akan menunjukan nilai probabilitas satu pada setiap titik yang belum dilewati semut. Tabel 9 merupakan probabilitas akhir.

Tabel 9. Probabilitas Akhir

	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8
V_1	0	1	0	0	0	0	0	0
P. Kumulatif	0	1	1	1	1	1	1	1
V_2	0	0	0	0	0	0	0	1
P. Kumulatif	0	0	0	0	0	0	0	1
V_3	1	0	0	0	0	0	0	0
P. Kumulatif	1	1	1	1	1	1	1	1
V_4	0	0	1	0	0	0	0	0
P. Kumulatif	0	0	1	1	1	1	1	1
V_5	0	0	0	0	0	0	0	1
P. Kumulatif	0	0	1	1	1	1	1	1
V_6	0	1	0	0	0	0	0	0
P. Kumulatif	0	1	1	1	1	1	1	1
V_7	1	0	0	0	0	0	0	0
P. Kumulatif	1	1	1	1	1	1	1	1
V_8	0	0	0	0	1	0	0	0
P. Kumulatif	0	0	0	0	1	1	1	1

Karena seluruh tempat sudah dikunjungi untuk perjalanan siklus ($NC=1$), dan berdasarkan prinsip dalam *Traveling Salesman Problem*, perjalanan yang dimulai dari titik awal harus diakhiri di titik awal juga. Rute penambahan semut dan penambahan pheromone dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Rute Perjalanan Semut dan Penambahan Pheromone

Tabu List	Panjang (Km)	tij,k
V0-V1-V6-V5-V7-V4-V8-V3-V2-V0	289,4	0,00346
V0-V2-V6-V7-V5-V4-V1-V3-V8-V0	286,8	0,00349
V0-V3-V5-V6-V7-V8-V2-V4-V1-V0	289,8	0,00345
V0-V4-V6-V2-V5-V7-V1-V8-V3-V0	255,5	0,00391
V0-V5-V3-V4-V2-V6-V7-V1-V8-V0	286,1	0,00350
V0-V6-V3-V4-V1-V5-V7-V8-V2-V0	358,1	0,00279
V0-V7-V3-V2-V5-V6-V7-V8-V2-V0	302,8	0,00330
V0-V8-V1-V2-V3-V4-V7-V6-V5-V0	257,4	0,00389

Setelah dilakukan perhitungan hingga delapan rute, diperoleh rute terbaik yaitu V0–V4–V6–V2–V5–V7–V1–V8–V3–V0. Rute tersebut menempuh jarak sejauh 255,5 km. Setelah mendapatkan informasi mengenai rute terbaik, langkah selanjutnya adalah melakukan pembaruan nilai pheromone, yang dilakukan dengan menambahkan komponen baru yaitu $\Delta nij.k = 0,00059$ kemudian memasukkannya ke rumus berikut:

$$tiji \text{ (baru)}i = i (1i - i p)i tiji + i \Delta i nij.i ki \quad (9)$$

$$t0\ 4 = t4\ 0 = (1-0,1) (0,000379) + 0,00391 = 0,0042511$$

$$t4\ 6 = t6\ 4 = (1-0,1) (0,000379) + 0,00391 = 0,0042511$$

dan seterusnya sampai ke titik akhir

$$t3\ 0 = t0\ 3 = (1-0,1) (0,000379) + 0,00391 = 0,004$$

3.2.4 Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar

Rute baru yang optimal turut mempengaruhi penggunaan bahan bakar secara optimal pula. Semakin pendek rute yang ditempuh oleh truk dalam proses pengiriman produk, maka semakin sedikit bahan bakar yang digunakan oleh truk tersebut. Tabel 11 menunjukkan penggunaan bahan bakar untuk rute awal sebelum dilakukan proses optimasi.

Tabel 11. Penggunaan Bahan Bakar per Tujuan

Customer	Konsumsi BBM Per Truk
SCO	3
KKI	4
MSS	1
MPP	8
KIC	3
DAS	4
MTN	5
TBB	2

Penggunaan bahan bakar untuk rute awal sebelum dilakukan proses optimasi yaitu:

Total jarak dalam satu kali pengiriman (awal)=303 km

Penggunaan BBM (truk bermuatan)=10 km/liter

$$\text{Total penggunaan BBM} = \frac{303 \text{ km}}{10 \frac{\text{km}}{\text{liter}}}$$

$$\text{Total penggunaan BBM} = 30,3 \text{ liter}$$

Hasil pengolahan *fuzzy logic* metode mamdani dan *Ant Colony Optimization*, didapatkan hasil penggunaan bahan bakar dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Penggunaan Bahan Bakar Optimal

Tabu List	Panjang (Km)	tij,k	Total konsumsi BBM
V0-V1-V6-V5-V7-V4-V8-V3-V2-V0	289,4	0,00346	28,94
V0-V2-V6-V7-V5-V4-V1-V3-V8-V0	286,8	0,00349	28,68
V0-V3-V5-V6-V7-V8-V2-V4-V1-V0	289,8	0,00345	28,98
V0-V4-V6-V2-V5-V7-V1-V8-V3-V0	255,5	0,00391	25,55
V0-V5-V3-V4-V2-V6-V7-V1-V8-V0	286,1	0,0035	28,61
V0-V6-V3-V4-V1-V5-V7-V8-V2-V0	358,1	0,00279	35,81
V0-V7-V3-V2-V5-V6-V7-V8-V2-V0	302,8	0,0033	30,28
V0-V8-V1-V2-V3-V4-V7-V6-V5-V0	257,4	0,00389	25,74

Tabel 12 menunjukkan bahwa rute terbaik yang diperoleh adalah V0–V4–V6–V2–V5–V7–V1–V8–V3–V0. Rute tersebut menempuh jarak sejauh 255,5 km dengan konsumsi BBM terendah sebesar 25,5 liter. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa efisiensi konsumsi bahan bakar setelah dilakukan optimasi berhasil menghemat penggunaan bahan bakar sebesar 47,8 liter.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian menggunakan metode fuzzy logic, didapatkan kesimpulan bahwa metode tersebut digunakan untuk menyeleksi jalur yang mengurangi secara optimal jarak tempuh dan penggunaan bahan bakar. Dari pengolahan fuzzy logic tersebut diperoleh hasil bahwa semua rute optimal untuk dilalui. Penentuan jarak terpendek menggunakan metode Ant Colony Optimization (ACO) memberikan hasil informasi rute optimal yang akan dilalui dengan total jarak tempuh sebesar 255,5 km dengan rute semut V0–V4–V6–V2–V5–V7–V1–V8–V3–V0. Selisih rute optimal dari rute sebelumnya yaitu 47,8 km.

Penggunaan bahan bakar pada truk transportasi bermuatan yaitu sebesar 1 liter untuk 10 km jarak yang ditempuh, sehingga total penggunaan bahan bakar untuk rute optimal yang didapatkan yaitu sebesar 25,5 liter lebih kecil dibandingkan penggunaan bahan bakar pada rute awal sebelum dilakukan proses optimasi rute yaitu 30,3 liter. Semakin sedikit bahan bakar yang digunakan, maka semakin kecil pula pengeluaran emisi gas CO₂ yang dihasilkan sehingga dapat mengurangi polusi udara.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. AMIP yang telah memberikan izin dan mendukung pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfa Husna, N., Hendri, D., Zalnel Haq, H., & Rahmadeyan, A. (2023). Implementasi Algoritma Ant Colony Optimization untuk Penentuan Jalur Terpendek Klinik dari Lokasi Rawan Kecelakaan di Kota Pekanbaru. *SENTIMAS: Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat*, 112–119.
- Bai, X., Li, P., & Duan, J. (2020). Research on the Construction of Regional Intelligent Tourism Service Platform—Take Zaozhuang for Example. In *Uncertainty and Operations Research*. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8229-1_14
- Ferreira, K. M., de Queiroz, T. A., & Toledo, F. M. B. (2020). *An exact approach for the green vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints and split delivery*. <https://www.https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105452>
- Gunawan, A. (2017). Analisis Kesalahan Dalam Menyelesaikan Soal Cerita Pada Mata Pelajaran Matematika Siswa Kelas V Sdn 59 Kota Bengkulu. *10*(1), 1–10.
- Implementasi Ant Colony Optimization Untuk Pencarian Rute Terpendek Karakter Tank Pada Game Battle Joen Skripsi Oleh : Ahmad Juniar Ilham Jurusan Teknik Informatika. (2015).
- Karjono, Karjono, et al. (2016). "Ant Colony Optimization." *Jurnal TICOM*, vol. 4, no. 3.
- Nazhifan, A. S., Ichsan, H. M. H., & Akbar, S. R. (2022). Analisis Implementasi Fuzzy-Dijkstra untuk Pencarian Rute Optimal pada Wireless Sensor Network menggunakan MATLAB. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, *6*(9), 4210–4218. <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- Nofriansyah, D. (2017). *Multi Criteria Decision Making (MCDM) pada Sistem Pendukung Keputusan*. Deepublish, Yogyakarta.
- Nugraha, D. W., Erwin Dodu, A. Y., & Septiana, S. (2019). Sistem Penentuan Rute Pendistribusian Produk Air Mineral Menggunakan Algoritma Ant Colony System. *ILKOM Jurnal Ilmiah*, *11*(2), 86–94. <https://doi.org/10.33096/ilkom.v11i2.418.86-94>
- Nurharyanto, & Perdana, S. (2021). Menentukan Rute Distribusi Di PT Sinar Harapan Plastik Dengan Metode Algoritma Ant Colony Optimization. *Ikra-Ith Teknologi*, *5*(1), 1–10.
- Prasetya, A. E. (2019). Pencarian Rute Tercepat Mobil Ambulance Menggunakan Algoritma Ant Colony Optimization. *JURIKOM (Jurnal Riset Komputer)*, *6*(4), 381–388. <https://ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/jurikom/article/view/1252>
- Rongre, A. C., dkk. (2018). *Sistem Informasi Perindustrian*. *5*(2), 159.
- Silaban, K. N. (2021). Penerapan Metode Tsukamoto (Logika Fuzzy) Dalam Sistem Pendukung Keputusan Untuk Menentukan Besarnya Gaji Karyawan Pada Hotel Grand Antares. *Journal of Informatics, Electrical and Electronics ...*, *1*(1), 20–26. <https://djournals.com/jieee/article/view/56%0Ahttps://djournals.com/jieee/article/download/56/168>
- Sumekar, A., Erlina, E., Br. Bukit, R., & Situmeang, C. (2022). Meningkatkan Kinerja Perusahaan Logistik Dengan Pendekatan Pengendalian Operasional. *Prosiding Fakultas Ekonomi Dan Bisnis Universitas Dharmawangsa*, *1*(1), 9–14. <https://doi.org/10.46576/prosfeb.v1i1.31>
- Zupemungkas. (2021). *Jurnal Ekonomi dan Bisnis*, Vol . 8 No . 2 September 2021 E - ISSN *Optimalisasi Rute Distribusi Menggunakan Metode Traveling Salesman Problem (Tsp) Untuk Meminimasi Biaya Distribusi*. *8*(2), 163–178.