



Optimasi rute distribusi logistik bencana tsunami Aceh menggunakan Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO)

Susila Bahri¹, Alti Vanie Diandra Eka Putri², Azzah Marsa Amalia², Dea Andini², Lelen Purnama Sari², Bayu Anugrah², Muhammad Hasbi Ahzani²

¹ Dosen Matematika, FMIPA, Universitas Andalas, Padang

² Mahasiswa Matematika, FMIPA, Universitas Andalas, Padang

altivanie24@gmail.com

Abstract

This study aims to optimize the tsunami disaster logistics distribution route in Aceh Province by using the Ant Colony Optimization (ACO) algorithm combined with parameter tuning. Aceh is an area with a high level of earthquake vulnerability, making it prone to tsunamis such as the one that occurred in 2004, thus requiring a fast and efficient logistics distribution system. The Aceh Logistics Building was designated as the distribution center, while nine evacuation points from the evacuation route map of the Banda Aceh City GIS Technical Implementation Unit (UPTB) were used as destination points. The distances between points were calculated using Google Maps and arranged in a distance matrix. Parameter tuning was performed using the Grid Search method through MATLAB to determine the shortest route. The results of the study show that the minimum total distance obtained is 664.3 km to reach all evacuation points and return to the logistics warehouse. This value is smaller compared to the route before the parameter tuning process, indicating an improvement in distribution efficiency. Therefore, the implementation of the ACO algorithm combined with the Grid Search method is able to produce a more optimal route and support faster and more targeted logistics distribution in emergency conditions.

Keywords: Ant Colony Optimization; Grid Search; logistics distribution; shortest path; tsunami

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan jalur distribusi logistik bencana tsunami di Provinsi Aceh dengan menggunakan algoritma Ant Colony Optimization (ACO) yang dipadukan dengan tuning parameter. Aceh merupakan wilayah dengan tingkat kerawanan gempa tinggi sehingga berpotensi mengalami tsunami seperti tahun 2004, sehingga diperlukan sistem distribusi logistik yang cepat dan efisien. Gedung Logistik Aceh ditetapkan sebagai pusat distribusi, sementara sembilan titik evakuasi dari peta jalur evakuasi UPTB GIS Kota Banda Aceh digunakan sebagai titik tujuan. Data jarak antartitik dihitung melalui Google Maps dan disusun dalam matriks jarak. Tuning parameter dilakukan dengan metode *grid search* melalui MATLAB untuk menentukan rute terpendek. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total jarak minimum yang diperoleh sebesar 664,3 km untuk menjangkau seluruh titik evakuasi dan kembali ke gudang logistik. Nilai tersebut lebih kecil dibandingkan rute sebelum proses parameter tuning, sehingga efisiensi distribusi mengalami peningkatan. Dengan demikian, penerapan algoritma ACO yang dipadukan dengan metode *grid search* mampu menghasilkan rute yang lebih optimal dan mendukung penyaluran logistik secara lebih cepat dan tepat sasaran dalam kondisi darurat.

Kata Kunci: Ant Colony Optimization; tuning parameter; distribusi logistik; jalur terpendek; tsunami

1. PENDAHULUAN

Tsunami Aceh pada tahun 2004 merupakan salah satu bencana terbesar yang pernah terjadi di Indonesia. Peristiwa tersebut menyebabkan 173.741 korban jiwa dan mengakibatkan 394.539 penduduk di Provinsi Aceh kehilangan tempat tinggal (Syamsidik, 2019). Selain menimbulkan kerusakan fisik, bencana ini juga menghancurkan berbagai sektor kehidupan, termasuk sektor logistik yang sangat penting dalam penanggulangan bencana.

Menurut Peraturan Kepala BNPB (2009), logistik adalah barang-barang yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan dasar manusia, seperti makanan, pakaian, dan tempat tinggal beserta produk turunannya. Barang-barang ini bersifat habis pakai dan sangat penting dalam menjaga kelangsungan hidup para penyintas, seperti sembako, obat-obatan, air bersih, pakaian, dan perlengkapan tidur. Dalam situasi darurat, kecepatan dan ketepatan distribusi logistik sangat menentukan tingkat keselamatan para korban.

Berdasarkan analisis BMKG, Aceh masih tergolong wilayah dengan tingkat kerawanan gempa yang tinggi, sehingga potensi terulangnya bencana tsunami di masa mendatang cukup besar. Jika bencana tersebut terulang lagi maka distribusi logistik ke lokasi terdampak berisiko mengalami hambatan yang signifikan. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan rute distribusi logistik terpendek dan paling efisien. Optimasi rute tersebut dapat ditentukan melalui penggunaan metode *Ant Colony Optimization* (ACO) yang meniru perilaku semut dalam menemukan jalur tercepat menuju sumber makanan (Zhang, Liu, & Wang, 2018).

Sejumlah penelitian terdahulu telah menerapkan metode *Ant Colony Optimization* (ACO) dalam konteks kebencanaan, namun dengan fokus yang berbeda. Dhitama et al. (2023) mengoptimalkan rute distribusi bantuan logistik kesehatan pada bencana banjir di Kota Yogyakarta. Ariffin et al. (2026) menekankan pada perencanaan jalur evakuasi banjir di Malaysia menggunakan ACO, sedangkan Batmetan (2016) dan Fitriyani & Ahmad (2024) menerapkan ACO untuk pemilihan jalur evakuasi pada bencana gunung berapi dan tsunami. Sharma & Sahana (2019) menegaskan pentingnya parameter tuning dalam meningkatkan kinerja ACO, namun penerapannya masih dalam konteks penjadwalan komputasi.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya, studi ini berfokus pada optimasi rute distribusi logistik pascabencana tsunami di Aceh dengan mengintegrasikan metode tuning parameter melalui pendekatan *grid search* pada algoritma ACO. Penelitian ini tidak hanya menentukan rute terpendek tetapi juga mencari kombinasi parameter yang paling optimal sehingga hasil yang diperoleh diharapkan dapat menghasilkan distribusi logistik yang lebih efisien dalam kondisi darurat.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini pertama kali dikumpulkan data jarak antar 9 titik evakuasi dan jarak antara titik lokasi dengan Gudang logistic. Data jarak tersebut lalu dibentuk menjadi matrik berukuran 10×10 , kemudian ditetapkan interval untuk tiap 5 parameter ACO yaitu pengatur intensitas feromon (α), pengatur visibilitas jarak (β), tingkat penguapan feromon (ρ), konstanta feromon (Q) dan banyaknya semut (k). Selanjutnya ambil batas bawah dari tiap interval parameter tersebut sebagai kombinasi awal.

Perhitungan iterasi pertama dimulai dari menentukan matriks feromon awal yang menunjukkan intensitas feromon. Kemudian ditetapkan tabu list awal sebagai titik awal rute setiap semut. Hitung probabilitas rute dari titik awal tersebut untuk setiap semut ke semua titik lokasi lainnya dengan menggunakan formula probabilitas ACO. Kumulatif dari probabilitas digunakan untuk membentuk matriks probabilitas kumulatif. Pilih secara acak bilangan rill (r) pada interval $[0,1]$ dengan menggunakan MATLAB. Titik rute semut berikutnya diperoleh dengan menentukan nilai probabilitas kumulatif yang lebih besar dan terdekat dengan nilai bilangan rill itu. Ulangi langkah tersebut mulai dari perhitungan probabilitas rute hingga langkah pemilihan bilangan rill sampai setiap semut mengunjungi semua titik. Iterasi pertama selesai dan dilanjutkan ke iterasi berikutnya sampai di dapatkan rute dengan jarak terpendek sementara.

Kombinasi parameter selanjutnya dilakukan proses yang sama seperti kombinasi pertama parameter awal. Kombinasi parameter optimal kemudian dipilih berdasarkan kombinasi yang menghasilkan rute dengan jarak terpendek. Proses ini disebut tuning dengan metode grid search, yaitu mencari kombinasi parameter optimal dengan menetapkan interval setiap parameter dan melakukan perulangan hingga diperoleh hasil terbaik. Tahap terakhir adalah menjalankan kembali algoritma ACO menggunakan parameter optimal dengan iterasi tinggi untuk memperoleh hasil rute terpendek secara akurat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, langkah pertama adalah mengumpulkan titik-titik lokasi evakuasi sebagai tujuan distribusi bantuan dari Gudang Logistik Kebencanaan BPBD Aceh Tengah, yang mencakup 4 Tempat Evakuasi Sementara (TES) dan 5 Tempat Evakuasi Akhir (TEA), dengan rincian sebagai berikut

Tabel 1. Alamat Gudang Logistik dan Lokasi Pengantaran Bantuan Logistik

Notasi	Alamat	Keterangan
A	Tsunami Escape Building Alue Deah Teungoh (Alue Deah Teungoh, Kec. Meuraxa, Kota Banda Aceh, Aceh)	TES 1
B	Escape Buildin (Deah Glumpang, Kec. Meuraxa, Kota Banda Aceh, Aceh 23116)	TES 2
C	Escape Building Lamjamee Bada Aceh (Lamjamee, Kec. Jaya Baru, Kota Banda Aceh, Aceh)	TES 3
D	Escape Building Ulee Lheue (Ulee Lheue, Kec. Meuraxa, Kota Banda Aceh, Aceh 23232)	TES 4

E	TVRI Aceh (Jl. Jend Sudirman Mata Ie, Banda Aceh Nad, Gue Gajah, Darul Imarah, Aceh Besar Regency, Aceh 23233)	TEA sektor A
F	Stadion Harapan Bangsa (Lhong Raya, Kec. Banda Raya, Kota Banda Aceh, Aceh 23231)	TEA sektor B
G	Asrama Raider TNI AD (Jl. Kayee Lee - Peukan Bileue, Kayee Lee, Kec. Ingin Jaya, Kabupaten Aceh Besar, Aceh 23238)	TEA sektor C
H	Jl. Gla Meunasah Baro (Gla Meunasah Baro, Kec. Krueng Barona Jaya, Kabupaten Aceh Besar, Aceh) Bandar Udara Internasional Sultan Iskandar Muda	TEA sektor D
I	(Blang Bintang, Bueng Bakjok, Kec. Kuta Baro, Kabupaten Aceh Besar, Aceh 23373)	TEA sektor E
J	Gudang Logistik Kebencanaan BPBD Aceh Tengah (Kec. Pegasing, Kabupaten Aceh Tengah, Aceh 24552)	Gudang logistik

Sumber: UPTB-GIS Banda Aceh

Berdasarkan alamat titik pengantaran bantuan logistik pada Tabel 1, dikumpulkan data jarak antar setiap lokasi. Data jarak antar titik dihimpun melalui aplikasi Google Maps, kemudian disajikan dalam bentuk matriks sebagaimana ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Matriks Jarak antar Lokasi (km)

Notasi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	0	1,40	5,10	3	7,20	8,2	11,1	8,8	18,6	324
B	1,4	0	4	1,9	8,1	9,3	12,1	9,8	19,6	325
C	5,1	4	0	2,40	4,80	7	9,70	12	17,10	322
D	3	1,90	2,40	0	6,50	8,60	11,40	10,90	18,80	324
E	7,20	8,10	4,80	6,50	0	5	7,70	13,10	15,20	320
F	8,20	9,30	7	8,60	5	0	5,30	7,90	12,70	318
G	11,10	12,10	9,70	11,40	7,70	5,30	0	6,20	8,40	313
H	8,80	9,80	12	10,90	13,10	7,90	6,20	0	8,70	321
I	18,60	19,60	17,10	18,80	15,20	12,70	8,40	8,70	0	313
J	324	325	322	324	320	318	313	321	313	0

Sumber: Google Maps

Dalam algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO), feromon adalah zat kimia yang dihasilkan semut untuk menandai jalur yang dilalui. Jalur dengan konsentrasi feromon lebih tinggi memiliki peluang lebih besar untuk dipilih oleh semut lain, sehingga jalur terbaik dapat ditemukan secara bertahap. Untuk meningkatkan kinerja algoritma, dilakukan tuning parameter untuk menentukan kombinasi nilai yang paling efektif, yaitu Q , α , β , ρ , dan banyak semut. Q menentukan jumlah feromon yang ditambahkan ke jalur oleh semut, α mengatur pengaruh feromon terhadap pemilihan jalur, β mengatur pengaruh jarak antar titik lokasi, dan ρ menentukan tingkat penguapan feromon agar semut tetap mengeksplorasi jalur baru. Daftar parameter beserta rentang nilainya ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Daftar Rentang Parameter

Parameter	Keterangan	Interval Parameter
Q	Konstanta feromon	10-300
α	Pengatur intensitas feromon	1-3
β	Pengatur visibilitas jarak	2-10
ρ	Tingkat penguapan feromon	0,1-0,5
k	Banyak semut	10-20

Sumber: (Stutzle & Hoobs, 2000)

Selanjutnya, dari rentang nilai parameter tersebut dilakukan proses pencarian kombinasi parameter menggunakan metode Grid Search. Kombinasi pertama parameter diambil dari batas bawah dari tiap interval parameter tersebut.

Tabel 4. Kombinasi Pertama Parameter

Parameter	Keterangan	Parameter
Q	Konstanta feromon	10
α	Pengatur intensitas feromon	1
β	Pengatur visibilitas jarak	2
ρ	Tingkat penguapan feromon	0,1
k	Banyaknya semut	10

Berdasarkan parameter tersebut akan dilakukan proses ACO keseluruhan. Langkah awal dalam algoritma Ant Colony Optimization (ACO) adalah menetapkan matriks feromon awal. Feromon awal (τ_{ij}^0) merupakan nilai intensitas feromon yang diberikan secara seragam pada seluruh jalur sebelum dilakukan iterasi. Nilai ini berfungsi sebagai kondisi awal agar semua jalur memiliki peluang yang sama untuk dieksplorasi oleh semut. Pada penelitian ini, nilai feromon awal dihitung menggunakan rumus $\tau_{ij}^0 = 1/n$ dimana n adalah banyak titik lokasi. Perhatikan bahwa pada Tabel 1 terdapat 10 titik lokasi sehingga setiap jalur memiliki nilai feromon awal sebesar 0,1. Nilai feromon pada jalur dari titik ke dirinya sendiri (misalnya A ke A) bernilai nol karena tidak ada pergerakan yang terjadi dan jalur tersebut tidak valid untuk dilalui. Dengan demikian, elemen diagonal utama pada matriks feromon awal bernilai nol untuk mencegah semut memilih jalur yang tidak realistis.

Tabel 5. Matriks Feromon Awal (τ_{ij}^0)

Notasi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
B	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
C	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
D	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
E	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
F	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0,1
G	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,1
H	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0,1
I	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0,1
J	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0

Setelah ditetapkan matriks feromon awal, langkah selanjutnya adalah mengisi tabu list awal. Dalam penelitian ini digunakan 10 semut seperti yang ditentukan pada kombinasi pertama parameter. Semut berjumlah lebih dari satu bertujuan meningkatkan intensitas eksplorasi sehingga variasi rute yang dihasilkan lebih beragam dan solusi yang diperoleh lebih optimal. Seluruh semut memulai dan mengakhiri perjalanannya pada titik J (Gudang Logistik Kebencanaan BPBD Aceh Tengah), sesuai dengan kondisi asli distribusi bantuan logistik yang dimulai dari gudang dan harus kembali ke gudang setelah menyelesaikan pengantaran. Diperoleh tabu llist sebagai berikut.

Tabel 6. Tabu list awal

Semut ke-	Rute
k_1	J→
k_2	J→
k_3	J→
k_4	J→
k_5	J→
k_6	J→
k_7	J→
k_8	J→
k_9	J→
k_{10}	J→

Pemilihan titik selanjutnya setelah gudang logistik ditentukan berdasarkan nilai probabilitas.

$$p_{ij}^t = \frac{[\tau_{ij}^t]^\alpha \cdot \left[\frac{1}{d_{ij}}\right]^\beta}{\sum_{j \notin \text{tabu list}} [\tau_{ij}^t]^\alpha \cdot \left[\frac{1}{d_{ij}}\right]^\beta} \quad (1)$$

Keterangan:

- p_{ij}^t = Probabilitas antar titik
- τ_{ij}^t = Intensitas feromon semut antar titik
- $\frac{1}{d_{ij}}$ = Visibilitas antar titik
- d_{ij} = Jarak antara titik i ke j
- t = Urutan iterasi, t=1, 2, 3,

Tabel 7 berikut hasil probabilitas transisi dari J pada iterasi pertama.

Tabel 7. Probabilitas kota tujuan semut pada iterasi pertama

Semut ke-	Kota saat ini	Probabilitas Pilih Kota									
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
k_1	J	0,1083	0,1077	0,1097	0,1083	0,1111	0,1125	0,1161	0,1104	0,1161	0
k_2	J	0,1083	0,1077	0,1097	0,1083	0,1111	0,1125	0,1161	0,1104	0,1161	0
k_3	J	0,1083	0,1077	0,1097	0,1083	0,1111	0,1125	0,1161	0,1104	0,1161	0
k_4	J	0,1083	0,1077	0,1097	0,1083	0,1111	0,1125	0,1161	0,1104	0,1161	0
k_5	J	0,1083	0,1077	0,1097	0,1083	0,1111	0,1125	0,1161	0,1104	0,1161	0
k_6	J	0,1083	0,1077	0,1097	0,1083	0,1111	0,1125	0,1161	0,1104	0,1161	0
k_7	J	0,1083	0,1077	0,1097	0,1083	0,1111	0,1125	0,1161	0,1104	0,1161	0
k_8	J	0,1083	0,1077	0,1097	0,1083	0,1111	0,1125	0,1161	0,1104	0,1161	0
k_9	J	0,1083	0,1077	0,1097	0,1083	0,1111	0,1125	0,1161	0,1104	0,1161	0
k_{10}	J	0,1083	0,1077	0,1097	0,1083	0,1111	0,1125	0,1161	0,1104	0,1161	0

Selanjutnya dapat dibentuk matriks kumulatif probabilitas kota selanjutnya sebagai berikut.

Tabel 8. Matriks kumulatif probabilitas kota tujuan semut pada iterasi pertama

Semut ke-	Kota saat ini	Probabilitas Pilih Kota									
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
k_1	J	0,1083	0,216	0,3257	0,434	0,5451	0,6576	0,7737	0,8841	1	1
k_2	J	0,1083	0,216	0,3257	0,434	0,5451	0,6576	0,7737	0,8841	1	1
k_3	J	0,1083	0,216	0,3257	0,434	0,5451	0,6576	0,7737	0,8841	1	1
k_4	J	0,1083	0,216	0,3257	0,434	0,5451	0,6576	0,7737	0,8841	1	1
k_5	J	0,1083	0,216	0,3257	0,434	0,5451	0,6576	0,7737	0,8841	1	1
k_6	J	0,1083	0,216	0,3257	0,434	0,5451	0,6576	0,7737	0,8841	1	1
k_7	J	0,1083	0,216	0,3257	0,434	0,5451	0,6576	0,7737	0,8841	1	1
k_8	J	0,1083	0,216	0,3257	0,434	0,5451	0,6576	0,7737	0,8841	1	1
k_9	J	0,1083	0,216	0,3257	0,434	0,5451	0,6576	0,7737	0,8841	1	1
k_{10}	J	0,1083	0,216	0,3257	0,434	0,5451	0,6576	0,7737	0,8841	1	1

Pemilihan titik berikutnya dilakukan secara probabilistik dengan membangkitkan bilangan riil r pada interval $[0,1]$ secara acak. Misal, pada semut k_1 dibangkitkan nilai r yaitu 0,1855 maka kota yang dipilih semut k_1 adalah kota B karena $0,1083 < r < 0,216$. Dengan cara ini, semut tidak selalu memilih jalur dengan peluang tertinggi, tetapi juga masih memiliki kesempatan mencoba jalur lain, sehingga proses pencarian solusi tidak terlalu cepat terjebak pada satu jalur yang belum tentu optimal.

Perhitungan probabilistik berdasarkan kota yang baru dan pemilihan kota selanjutnya dilakukan berulang kali sampai semua titik dilalui dan semut kembali ke gudang logistik, maka diperoleh rute-rute sementara dari 10 semut. Dengan demikian iterasi-1 selesai dan diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 9. Tabu List Perjalanan Semut Iterasi-1

Semut ke-	Rute	Panjang Rute (km)
k_1	J→B→D→A→C→E→F→G→H→I→J	678,00
k_2	J→D→B→A→H→G→F→E→C→I→J	687,50
k_3	J→A→B→D→C→E→F→G→H→I→J	672,70
k_4	J→H→I→F→G→D→B→A→C→E→J	692,30
k_5	J→A→D→B→C→G→F→E→I→H→J	697,80
k_6	J→I→D→B→C→E→F→G→H→A→J	691,80
k_7	J→B→A→D→H→G→F→E→C→I→J	691,70
k_8	J→F→B→A→D→C→G→H→I→E→J	693,90
k_9	J→D→C→E→F→G→I→H→B→A→J	693,80
k_{10}	J→D→B→A→C→E→G→F→I→H→J	692,60

Proses dilanjutkan ke iterasi berikutnya dengan melakukan pembaruan nilai feromon. Pembaruan ini diperlukan karena adanya proses penguapan feromon, sehingga diperlukan penyesuaian nilai feromon terbaru. Perhitungan nilai feromon yang diperbarui dilakukan menggunakan persamaan berikut.

$$\tau_{ij}^{t+1} = (1 - \rho)\tau_{ij}^t + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^{(k)} \quad (2)$$

Keterangan:

$$\Delta\tau_{ij}^{(k)} = \begin{cases} \frac{Q}{L_k}, & \text{jika semut ke } - k \text{ melewati kota } (i, j) \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases}$$

L_k = Total jarak yang dilalui semut k

Misal akan dihitung $\tau_{AB}^1 = \tau_{BA}^1$, karena jarak dari kota A ke kota B sama dengan jarak dari kota B ke kota A. Perhatikan semut yang melewati (A,B) atau (B,A) berikut.

Tabel 9. Daftar Semut Iterasi-1 yang Melewati (A,B)

Semut ke-	Rute	Panjang Rute (km)
k_2	J→D→B→A→H→G→F→E→C→I→J	687,50
k_3	J→A→B→D→C→E→F→G→H→I→J	672,70
k_4	J→H→I→F→G→D→B→A→C→E→J	692,30
k_7	J→B→A→D→H→G→F→E→C→I→J	691,70
k_8	J→F→B→A→D→C→G→H→I→E→J	693,90
k_9	J→D→C→E→F→G→I→H→B→A→J	693,80
k_{10}	J→D→B→A→C→E→G→F→I→H→J	692,60

Sehingga nilai $\tau_{AB}^{(k)} = \tau_{BA}^{(k)}$ pada semut di atas dapat dihitung dan untuk semut lainnya $\tau_{AB}^{(k)}$ bernilai 0. Contohnya $\tau_{AB}^{(k)}$ pada semut ke-2 dan ke-10 adalah sebagai berikut.

$$\Delta\tau_{AB}^{(2)} = \frac{Q}{L_2} = \frac{10}{687,50} = 0,014545$$

$$\Delta\tau_{AB}^{(10)} = \frac{Q}{L_{10}} = \frac{10}{692,60} = 0,014438$$

Dapat dihitung nilai τ_{AB}^1 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\tau_{AB}^1 &= (1 - \rho)\tau_{ij}^0 + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{AB}^{(k)} = (1 - 0,1)0,1 + \Delta\tau_{AB}^{(1)} + \Delta\tau_{AB}^{(2)} + \Delta\tau_{AB}^{(3)} + \dots + \Delta\tau_{AB}^{(10)} \\ &= 0,009 + 0 + 0,014545 + \dots + 0,014438 = 0,1002\end{aligned}$$

Diperoleh $\tau_{AB}^1 = \tau_{BA}^1 = 0,1002$. Lanjutkan perhitungan untuk jalur yang lainnya, sehingga diperoleh matriks feromon yang baru.

Tabel 10. Matriks Feromon Baru (τ_{ij}^1)

9.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	0	0,1002	0,0944	0,0958	0,0900	0,0900	0,0900	0,0929	0,0900	0,0958
B	0,1002	0	0,0929	0,1002	0,0900	0,0914	0,0900	0,0914	0,0900	0,0929
C	0,0944	0,0929	0	0,0944	0,1016	0,0900	0,0929	0,0900	0,0929	0,0900
D	0,0958	0,1002	0,0944	0	0,0900	0,0900	0,0914	0,0914	0,0914	0,0943
E	0,0900	0,0900	0,1016	0,0900	0	0,1002	0,0914	0,0900	0,0929	0,0929
F	0,0900	0,0914	0,0900	0,0900	0,1002	0	0,1031	0,0900	0,0929	0,0914
G	0,0900	0,0900	0,0929	0,0914	0,0914	0,1031	0	0,0987	0,0914	0,0900
H	0,0929	0,0914	0,0900	0,0914	0,0900	0,0900	0,0987	0	0,1002	0,0943
I	0,0900	0,0900	0,0929	0,0914	0,0929	0,0929	0,0914	0,1002	0	0,0943
J	0,0958	0,0929	0,0900	0,0943	0,0929	0,0914	0,0900	0,0943	0,0973	0

Iterasi selanjutnya dilakukan dengan mengulangi tahapan sebelumnya, dimulai dari penentuan titik awal, perhitungan probabilitas, hingga langkah-langkah berikutnya sesuai prosedur ACO tetapi dengan menggunakan matriks feromon yang telah diperbaharui. Setiap kombinasi parameter diuji menggunakan algoritma ACO dengan jumlah iterasi awal sebanyak 20, serta dijalankan sebanyak tiga kali untuk meminimalkan pengaruh unsur acak terhadap kualitas solusi. Nilai rata-rata jarak tempuh dari tiga kali pengujian digunakan sebagai indikator performa setiap kombinasi parameter. Kombinasi dengan nilai rata-rata jarak terpendek ditetapkan sebagai parameter optimal. Setelah seluruh kombinasi dijalankan pada MATLAB, diperoleh parameter optimal sebagai berikut.

Tabel 11. Parameter Optimal setelah Tuning

Parameter	Keterangan	Parameter
Q	Konstanta feromon	10
α	Pengatur intensitas feromon	1
β	Pengatur visabilitas jarak	2
ρ	Tingkat penguapan feromon	0,1
k	Banyaknya semut	20

Dalam penelitian ini, penyelesaian permasalahan rute terpendek dengan metode ACO dibantu menggunakan perangkat lunak MATLAB. Setelah dilakukan sebanyak 200 iterasi, diperoleh rute sebagai berikut

Tabel 12. Rute Perjalanan Semut Iterasi ke-200

Semut ke-	Rute	Panjang Rute (km)
k_1	J→I→G→F→E→C→D→B→A→H→J	672,00
k_2	J→G→H→I→F→E→C→D→B→A→J	680,10
k_3	J→G→H→I→C→D→B→A→E→F→J	680,90
k_4	J→I→G→F→E→C→D→B→A→H→J	672,00
k_5	J→G→H→I→F→E→C→D→B→A→J	680,10
k_6	J→H→I→G→F→E→C→D→B→A→J	682,90
k_7	J→G→F→E→C→D→B→A→H→I→J	664,30
k_8	J→F→E→C→D→B→A→H→I→G→J	672,40
k_9	J→G→H→I→C→D→B→A→E→F→J	680,90
k_{10}	J→G→H→I→C→D→B→A→E→F→J	680,90
k_{11}	J→I→H→A→B→D→C→E→F→G→J	664,30
k_{12}	J→A→B→D→C→E→F→G→H→I→J	672,70
k_{13}	J→G→H→F→E→C→D→B→A→I→J	674,20
k_{14}	J→F→E→C→D→B→A→H→I→G→J	672,40
k_{15}	J→E→F→G→H→I→C→D→B→A→J	692,00
k_{16}	J→G→H→I→F→E→C→D→B→A→J	680,10
k_{17}	J→F→E→C→D→B→A→H→I→G→J	672,40
k_{18}	J→G→F→E→C→D→B→A→H→I→J	664,30
k_{19}	J→G→F→E→C→D→B→A→H→I→J	664,30
k_{20}	J→G→F→E→C→D→B→A→H→I→J	664,30

Berdasarkan penerapan Algoritma Ant Colony Optimization (ACO) sebanyak 200 iterasi yang diimplementasikan melalui perangkat lunak MATLAB, diperoleh jalur evakuasi tsunami terpendek dari sekumpulan shelter yang tersebar di Banda Aceh. Titik awal perjalanan ditetapkan di Gudang Logistik Kebencanaan BPBD Aceh Tengah (J) dan berakhir kembali di titik yang sama setelah seluruh shelter evakuasi dilalui. Dari hasil perhitungan MATLAB, lintasan optimal yang diperoleh adalah $J \rightarrow G \rightarrow F \rightarrow E \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow H \rightarrow I \rightarrow J$ dengan total jarak tempuh 664,3 km. Rute ini muncul secara

konsisten dengan intensitas feromon tertinggi dibandingkan jalur alternatif lainnya, sehingga dapat direkomendasikan sebagai jalur distribusi logistik yang paling efisien.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, penerapan Algoritma Ant Colony Optimization (ACO) yang dipadukan dengan proses tuning parameter berhasil menghasilkan rute distribusi bantuan logistik optimal. Dengan titik awal di Gudang Logistik Kebencanaan BPBD Aceh Tengah (J) dan sembilan shelter evakuasi sebagai simpul, optimasi melalui 200 iterasi di MATLAB menghasilkan rute J → G (TEA sektor C) → F (TEA sektor B) → E (TEA sektor A) → C (TES 3) → D (TES 4) → B (TES 2) → A (TES 1) → H (TEA sektor D) → I (TEA sektor E) → kembali ke J, dengan total jarak tempuh 664,3 km. Rute optimal ini memungkinkan tim distribusi bantuan logistik untuk merencanakan dan melaksanakan penyaluran dengan lebih cepat, efisien, dan terkoordinasi. Dengan demikian, penanganan bencana tsunami dapat dilakukan lebih tepat sasaran, sekaligus mengurangi risiko keterlambatan dalam penyelamatan korban.

5. REKOMENDASI

Berdasarkan temuan penelitian, penerapan Algoritma Ant Colony Optimization (ACO) dalam penentuan rute distribusi logistik menunjukkan bahwa titik awal harus ditetapkan terlebih dahulu agar hasil rute tidak rancu karena ACO bekerja secara probabilistik sehingga rute optimal dapat berbeda pada setiap iterasi. Oleh karena itu, disarankan agar ACO dikombinasikan dengan metode optimasi lain, seperti Genetic Algorithm (GA) atau Particle Swarm Optimization (PSO), untuk meningkatkan konsistensi rute optimal, fleksibilitas pemilihan titik awal, dan keandalan perencanaan distribusi logistik, sehingga penyaluran bantuan dapat lebih cepat, efisien, dan tepat sasaran.

6. REFERENSI

- Adhitama, L., Putri, O., & Ramadhani, S. D. (2023). Optimasi Rute Distribusi Bantuan Logistik Kesehatan ke Daerah Rawan Bencana Banjir di Kota Yogyakarta. *Jagratarata: Journal of Disaster Research*, 39-48.
- Ariffin, N. H., Amran, M. A., & Yusoff, M. (2026). A Flood Evacuation Pre-Planning for Optimal Route Navigation in Malaysia using Ant Colony Optimization. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 122-139.
- Batmetan, J. R. (2016). Algoritma Ant Colony Optimization (ACO) untuk Pemilihan Jalur Tercepat Evakuasi Bencana Gunung Lokon Sulawesi Utara. *Jurnal Teknologi Informasi-Aiti*, 31-48.
- Baykasoglu, A., & Ozsoydan, F. B. (2020). Improved Ant Colony Optimization (ACO) for solving shortest path problems. *MDPI*, 1-24.
- BNPB. (2009). *Peraturan Kepala BNPB Nomor 04 Tahun 2009 tentang Pedoman Bantuan Logistik*. Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana.

- Dorigo, M., & Gambardella, L. M. (1997). Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 53-66.
- Fitriyani, M., & Ahmad, D. (2024). Implementasi Ant Colony Optimization (ACO) algorithm untuk pemilihan jalur tercepat evakuasi bencana tsunami oleh tim SAR di Kota Padang. *Jurnal Riset dan Aplikasi Matematika (JRAM)*, 78-84.
- GIS, U. (2024). *Peta Jalur Evakuasi Bencana Tsunami Kota Banda Aceh*. Retrieved from Badan Perencanaan dan Pembangunan Kota Banda Aceh: <https://uptbgis.bandaacehkota.go.id/katalog/peta/detail/peta-jalur-evakuasi-bencana-tsunami-kota-banda-aceh>
- Mavrovouniotis, M., Anastasiadou, M. N., & Hadjimitsis, D. (2023). Measuring the performance of ant colony optimization algorithms for the dynamic traveling salesman problem. *Algorithm MDPI*, 1-15.
- Sharma, A., & Sahana, S. K. (2019). An Automated Parameter Tuning Method for Ant Colony Optimization for Scheduling Jobs in Grid Environment. *I.J. Intelligent Systems and Applications*, 11-21.
- Stutzle, T., & Hoops, H. H. (2000). MAX-MIN Ant System. *Future Generation Computer System*, 889-895.
- Survey, U. G. (2018, October 18). *Tsunami generation from the 2004 M=9.1 Sumatra-Andaman earthquake*. Retrieved from U.S. Department of the Interior: <https://www.usgs.gov/centers/pcmssc/science/tsunami-generation-2004-m91-sumatra-andaman-earthquake>
- Syamsidik, A. N. (2019). *Aceh pasca 15 tahun tsunami: Kilas balik dan proses pemulihan*. Aceh: Banda Aceh: Tsunami and Disaster Mitigation Research Center (TDMRC).
- Syarif, I., Benneth, A. P., & Wills, G. (2016). SVM Parameter Optimization Using Grid Search and Genetic Algorithm to Improve Classification Performance. *TELKOMNIKA*, 1502-1509.
- Zhang, S., Liu, X., & Wang, M. (2018). A novel ant colony optimization algorithm for the shortest-path problem in traffic networks. *Filomat*, 1620-1626.