

Implementasi Traveling Salesman Problem pada Pemilihan Jalur ATM Locator Menggunakan Ant Colony Optimization

Danang Wahyu Utomo^{1*)}, Defri Kurniawan², Novita Kurnia Ningrum³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Dian Nuswantoro, Semarang

^{1,2,3}Jln. Imam Bonjol 207, Kota Semarang, 50131, Indonesia

email: ¹danang.wu@dsn.dinus.ac.id, ²defri.kurniawan@dsn.dinus.ac.id, ³novita.kn@dsn.dinus.ac.id

Abstract – the main problem of Traveling Salesman Problem is determining the optimal solution from several specified paths. Selection ATM locator path has the same problem in selecting an optimal path. ATM placement in various locations can cause many possibilities to find ATM locations. Users need to trace the paths that may be the shortest path to find the ATM locator. Based on the problem, this study proposes Ant Colony Optimization (ACO) to find an optimal solution selecting the optimal path of the ATM locator. ACO is a swarm intelligence algorithm has able to solve combinatorial tour problems on TSP. In the experiment phase, representation of ATM locations using latitude and longitude coordinate. The computation distance between ATM location uses the Haversine formula. The parameter τ_0 used are 0.5, 0.7, and 0.9. Pheromone parameter used to test shortest path selection and small cost. The experiment proves that ACO find an optimal solution with the shortest path and small cost using setting parameter $\alpha = 1$, $\beta = 2$, $\rho = 0.5$, and $\tau_0 = 0.5$. pheromone level 0.5 has able to find the shortest path 34.30 compared with pheromone level 0.7 and 0.9 with the result are 38.96 and 39.05. pheromone level 0.5 also find the smallest cost compared with 0.7 and 0.9.

Keyword – ant colony optimization, traveling salesman problem, atm locator.

Abstrak – Permasalahan utama Traveling Salesman Problem adalah penentuan solusi optimal dari beberapa jalur yang ditentukan. Pemilihan jalur ATM locator memiliki permasalahan yang sama dalam pemilihan jalur yang optimal. Penempatan ATM di berbagai titik lokasi dapat menyebabkan banyaknya kemungkinan pencarian lokasi ATM tersebut. Pengguna harus menelusuri jalur – jalur yang mungkin menjadi jalur terdekat dalam pencarian ATM locator. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan Ant Colony Optimization (ACO) dalam menemukan solusi optimal pemilihan jalur optimal ATM locator. ACO adalah algoritma *swarm intelligence* yang mampu menyelesaikan masalah kombinasi tur pada TSP. pada tahap eksperimen, representasi titik lokasi ATM locator menggunakan koordinat latitude dan longitude. Penghitungan jarak antar titik lokasi menggunakan formula Haversine. Parameter τ_0 yang digunakan adalah 0.5, 0.7 dan 0.9. parameter pheromone untuk menguji pemilihan jalur terdekat dan kebutuhan biaya yang sedikit. Eksperimen membuktikan bahwa ACO menemukan solusi optimal jalur terdekat dan biaya yang sedikit dengan pengaturan parameter $\alpha = 1$, $\beta = 2$, $\rho = 0.5$, dan $\tau_0 = 0.5$.

*) penulis korespondensi (Danang Wahyu Utomo)

Email: danang.wu@dsn.dinus.ac.id

Level pheromone 0.5 mampu menemukan jalur terpendek 34.30 dibandingkan level pheromone 0.7 dan 0.9 dengan hasil 38.96 dan 39.05. level pheromone 0.5 juga menemukan kebutuhan biaya yang sedikit dibandingkan 0.7 dan 0.9.

Kata Kunci – ant colony optimization, traveling salesman problem, atm locator.

I. PENDAHULUAN

Automatic Teller Machine atau biasa disebut ATM merupakan sebuah mesin transaksi elektronik yang disediakan oleh sebuah bank disuatu tempat yang ditujukan untuk memberikan jasa layanan perbankan seperti tarik uang tunai dan/atau transfer antar bank selama 24 jam. Mesin ATM memberikan kemudahan bagi nasabah bank dalam melakukan transaksi kapanpun dan dimanapun tanpa campur tangan kasir atau *teller* bank. ATM merupakan mesin komputerisasi sebagai *client* yang dapat memberikan layanan finansial seperti tarik tunai, cek saldo, dan pembayaran secara online[1]. Saat ini, mesin dapat memberikan kemudahan layanan perbankan seperti pembayaran kartu kredit, deposit, pajak, dan transaksi virtual [2].

Penempatan mesin ATM perlu memperhatikan beberapa factor seperti keramaian, factor kegunaan, dan tingkat akses lokasi yang dituju [3]. Salah satu permasalahan dalam penempatan mesin ATM adalah faktor *easy of access* yaitu kemudahan akses terhadap mesin ATM tersebut disuatu titik lokasi. Setelah dilakukan survey, masih ada nasabah yang kesulitan dalam menemukan titik lokasi ATM terdekat [4]. Cahyo Prianto [5] menyatakan bahwa kurangnya informasi mengenai suatu lokasi menjadikan faktor utama sulitnya pencarian rute yang optimal. Hal ini disebabkan nasabah masih asing terhadap daerah tersebut. Nasabah perlu mencari rute sendiri untuk menuju ke lokasi ATM.

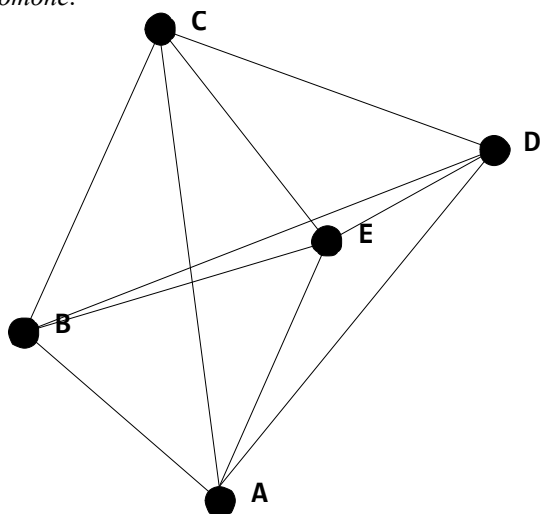
Traveling salesman problem (TSP) adalah suatu masalah yang dikaitkan pada penemuan jalur terpendek dari kemungkinan jalur – jalur yang ada pada suatu titik (node). TSP adalah permasalahan optimisasi untuk menemukan jalur terpendek dari satu node ke node lainnya [6]. Masing – masing node minimal dikunjungi sebanyak 1 kali untuk menemukan jalur atau rute terpendek. Menurut Gunduz dkk [7] tujuan utama TSP adalah mencari *cycle* terpendek dari

Gbr. 1 Jalur TSP

keseluruhan cycle yang diberikan. Banyaknya rute atau cycle yang diberikan dapat berdampak pada waktu akses dalam menemukan rute terpendek. Sehingga dibutuhkan suatu solusi otomatisasi terbaik guna menemukan jalur terpendek pada TSP tersebut.

TSP merupakan permasalahan klasik *nondeterministic polynomial* dengan solusi penyelesaian menggunakan teknik optimasi [8]. Teknik optimasi merupakan solusi menemukan jalur dengan jumlah ukuran node terkecil. Salah satu metode yang menggunakan teknik optimasi dalam menemukan solusi optimal pada TSP adalah algoritma *ant colony optimization* (ACO). Ant Colony adalah salah satu algoritma yang menerapkan teknik optimasi pada permasalahan kombinatorial [9]. Sesuai dengan konsepnya, ant colony menemukan jalur terpendek dari *nest* yang ada untuk menemukan makanan. Semut menggunakan jejak *pheromone* untuk memberikan informasi jalur terpendek dalam menemukan makanan. Permasalahan TSP adalah optimasi kombinatorial dalam menemukan rute yang optimal bagi *salesman*. Berdasarkan eksperimen yang dilakukan oleh Gunduz [7], ant colony mampu menemukan jalur yang optimal dari banyaknya jalur yang ada. Selain itu, ant colony mampu membangun jalur baru guna menemukan akses yang optimal. Eksperimen lainnya dilakukan oleh Euis Nurlaelasari [10] yaitu menggunakan ant colony untuk menemukan rute terdekat dengan menambahkan beban biaya pada parameter jarak. Eksperimen tersebut dapat menentukan nilai optimal rute terdekat berdasarkan parameter yang digunakan. Y Sitanggang [11] melakukan eksperimen bahwa optimasi ant colony menemukan rute optimal dengan pengaturan 300 iterasi dan set α dan β adalah 0.5.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, makalah ini mengusulkan *ant colony optimization* untuk menemukan jalur optimal pada ATM locator. ACO digunakan untuk menemukan ATM terdekat sesuai dengan titik koordinat dari nasabah. Titik koordinat dapat direpresentasikan dengan *latitude* dan *longitude* sebagai identitas lokasi ATM dan nasabah. Zhang [12] menggunakan *latitude* dan *longitude* sebagai representasi informasi posisi kendaraan. Pada permasalahan TSP, perhitungan *latitude* dan *longitude* dapat digunakan sebagai penghitungan *pheromone* dan pengambilan keputusan nilai optimal dari hasil probabilitas *pheromone*.



II. PENELITIAN YANG TERKAIT

Permasalahan pada TSP adalah banyaknya alternative jalur yang diberikan untuk menentukan jalur atau rute optimal. Pada kasus pencarian jalur ATM locator terdekat, dapat diasumsikan diberikan sebanyak n titik lokasi dengan jarak antar titik lokasi tersebut.

Pada Gbr. 1 menunjukkan beberapa jalur dari satu titik lokasi dengan titik lokasi lainnya. Beberapa alternative rute telah ditampilkan pada gambar tersebut. Dalam TSP, salesman setidaknya mengunjungi masing – masing titik lokasi sebanyak 1 kali untuk menentukan jalur optimal dalam TSP tersebut. Yang dan Wang [13] menyatakan bahwa pengaturan parameter bobot dan nilai pada masing – masing node dapat meningkatkan kecepatan konvergensi. Adanya pengaturan pada parameter yang digunakan dapat menemukan hasil rute yang optimal dan tingkat kecepatan yang lebih baik. survey TSP berbasis algoritma genetika diusulkan oleh Pooja Vaishnav [14] untuk mengetahui keuntungan algoritma genetika dalam permasalahan TSP. adanya pengaturan *crossover* dan *mutation* dapat bekerja dengan baik dan menemukan solusi optimal dalam TSP. Michalis Mavrovouniotis [15] menggunakan ant colony pada TSP dinamis (DTSP) dengan pengaturan modifikasi *pheromone* dan perubahan bobot. Strategi update *pheromone* dapat menentukan jalur dinamis optimal berdasarkan jalur sarang (*nest*) yang ada.

Ant colony telah banyak diusulkan untuk menyelesaikan permasalahan tur untuk mendapatkan solusi optimal. Beberapa penelitian sebelumnya telah banyak diterapkan diberbagai model aplikasi seperti pemilihan rute objek wisata [10], rute penjemputan penumpang [11], jalur terpendek pada kampus [16], *vehicle routing* [17]. Berbagai model, pengaturan *pheromone* dan beban nilai (biaya) telah dilakukan pada berbagai penelitian, namun penelitian pada objek titik lokasi dengan *latitude* dan *longitude* masih terbatas. Tantangan ant colony pada TSP di *latitude* dan *longitude* adalah lokasi dengan kondisi U-turn. Sebagai contoh, meskipun jarak antara 2 titik berdekatan, namun jika terdapat U-turn maka salesman harus mengikuti rute sesuai U-turn yang berlaku.

Implementasi *latitude* dan *longitude* diberbagai eksperimen telah banyak dilakukan seperti: lokasi (*location based service*) [18], system navigasi [12] dan *shortest path* (jalur terdekat) [19]. *Location based service* menerapkan *longitude* dan *latitude* untuk menentukan informasi suatu titik lokasi. Pada system navigasi, *latitude* dan *longitude* digunakan untuk mengetahui perpindahan suatu posisi koordinat. Pada penentuan jarak terdekat, *latitude* dan *longitude* digunakan sebagai komputasi penghitungan jarak antara 2(dua) koordinat. Hasilnya, digunakan sebagai perbandingan dengan jarak koordinat lainnya. Pada penelitian sebelumnya, penghitungan jarak antara *latitude* dan *longitude* menggunakan *haversine formula*. *Haversine* merupakan persamaan yang digunakan untuk menemukan jarak antara 2(dua) koordinat menggunakan parameter *latitude* dan *longitude*.

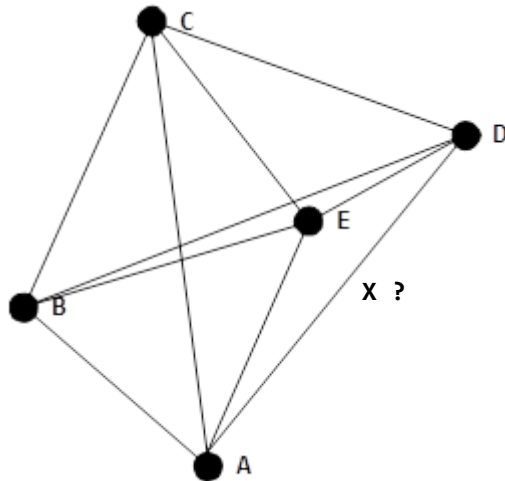
Pada penelitian ini, kami mengusulkan penggunaan ant colony optimization untuk menemukan jalur optimal ATM locator dengan parameter *latitude* dan *longitude*. Parameter

latitude dan longitude akan digunakan sebagai nilai pheromone pada masing – masing sarang, dalam hal ini jarak dari ATM locator.

III. METODE PENELITIAN

A. Traveling Salesman Problem

Representasi titik lokasi pencarian ATM Locator menggunakan titik koordinat berupa latitude dan longitude dengan penghitungan jarak antar titik lokasi menggunakan formula Haversine.



Gbr.2 Jarak antar titik lokasi

Pada Gbr. 2, jarak x dihitung menggunakan formula Haversine [20] berikut (1):

$$\frac{d}{r} = \text{haversine}(\varphi_2 - \varphi_1) + \cos(\varphi_1) \cos(\varphi_2) \text{haversine}(\lambda_2 - \lambda_1)$$

$$d = 2r \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2} \right) + \cos(\varphi_1) \cos(\varphi_2) \sin^2 \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right) \quad (1)$$

Dimana:

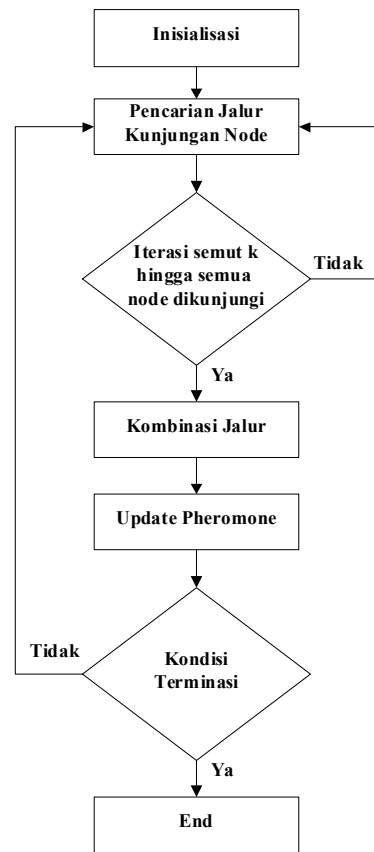
- φ_1 dan φ_2 = representasi titik latitude
- λ_1 dan λ_2 = representasi titik longitude
- d = jarak dalam km
- r = radius dengan satuan 6371(km)

hasil dari penghitungan formula (1) digunakan sebagai nilai pheromone pada jarak antar atm locator (sarang).

B. Ant Colony Optimization

Ant colony optimization merupakan algoritma *swarm intelligence* yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan TSP [21]. Berdasarkan inspirasi dari perilaku semut dalam menemukan makanan dari beberapa sarang yang ada, ACO banyak digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi kombinatorial, terutama optimasi pada jalur terpendek. Implementasi ACO pada TSP terdiri dari dua aturan:

- (1) pheromone, jejak yang digunakan pada jalur antara titik i dan j.
- (2) pendukung keputusan, berupa penentuan jalur optimal yang akan digunakan oleh semut.



Gbr. 3 Diagram Alir ACO

Berdasarkan (Gbr.3), tahap eksperimen ACO meliputi:

1. Inisialisasi nilai antara jarak i dan j diperoleh dari hasil perhitungan latitude dan longitude menggunakan haversine formula. Pada (Table I), menunjukkan sample hasil penghitungan jarak antara lokasi i, j dengan formula haversine.
2. Pencarian jalur kunjungan semut dilakukan dengan penghitungan probabilitas dari jarak node i dan j. Probabilitas dimodelkan dengan persamaan sebagai berikut:

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

Dimana:

$$\eta_{ij} = \frac{1}{L_{i,j}} \quad (2)$$

- τ = jumlah nilai pheromone
- η = ETA, nilai pheromone yang ingin digunakan (*desirability of edge*)
- α = parameter pheromone semut
- β = parameter control jarak

Persamaan (2) digunakan untuk menentukan jalur yang akan dipilih oleh semut baru. Berdasarkan jumlah edge yang ada, jalur manakah yang akan dipilih oleh semut

baru tersebut. Prosentase probabilitas terbesar mengindikasikan bahwa jalur tersebut dipilih oleh semut baru.

$$\Delta\tau_{i,j}^k = \begin{cases} \frac{1}{L_k} \\ 0 \end{cases} \tag{3}$$

3. Jika semua *edge* telah dilalui oleh semut, maka nilai pheromone perlu diperbarui dengan persamaan berikut (3):

$$\tau_{i,j} = (1 - \rho)\tau_{i,j} + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{i,j}^k$$

Dengan:

Dimana:

- $\tau_{i,j}$ = pheromone
- ρ = koefisien evaporasi, digunakan sebagai rasio residual pheromone. Nilai koefisien < 1.
- $\Delta\tau$ = jumlah nilai pheromone berdasarkan semut k
- L_k = panjang jalur dari edge
- k = semut k melakukan perjalanan di edge

Persamaan (3) digunakan sebagai update nilai pheromone (*local update*) bahwa jalur i, j telah dilalui semut. Tujuannya, semakin besar nilai pheromone yang

TABEL I
SAMPLE DATA PENGHITUNGAN JARAK DENGAN HAVERSINE

Lokasi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	2.37	3.03	3.48	4.71	2.96	5.80	7.69	7.48	8.61	10.11	11.01	10.50	3.49	7.75
2	2.37	0	0.68	4.19	6.78	5.01	6.24	10.05	9.84	10.97	12.47	13.35	12.84	5.86	8.47
3	3.03	0.68	0	4.43	7.31	5.55	6.70	10.72	10.50	11.64	13.14	14.03	13.51	6.51	8.95
4	3.48	4.19	4.4	0	3.98	2.80	9.28	8.80	8.34	9.54	11.12	12.21	11.60	4.83	11.21
5	4.71	6.78	7.31	3.97	0	1.77	9.37	5.17	4.60	5.77	7.32	8.45	7.84	2.54	10.66
6	2.96	5.01	5.56	2.80	1.78	0	8.05	6.03	5.59	6.80	8.37	9.44	8.84	2.10	9.60
7	5.80	6.24	6.70	9.29	9.37	8.05	0	9.20	9.43	10.09	11.10	11.49	11.21	6.97	2.29
8	7.69	10.05	10.73	8.81	5.17	6.03	9.20	0	0.69	0.85	2.42	3.41	2.84	4.28	9.35
9	7.48	9.84	10.50	8.34	4.60	5.91	9.43	0.68	0	1.21	2.78	3.87	3.27	3.98	9.72
10	8.61	10.97	11.64	9.55	5.77	6.80	10.10	0.95	1.21	0	1.58	2.69	2.07	5.15	10.15
11	10.11	12.47	13.14	11.12	7.32	8.37	11.10	2.42	2.78	1.58	0	1.19	0.56	6.70	10.87
12	11.01	13.35	14.03	12.21	8.46	9.44	11.49	3.42	3.88	2.69	1.19	0	0.63	7.67	11.01
13	10.50	12.84	13.51	11.61	7.84	8.84	11.21	2.84	3.27	2.07	0.56	0.63	0	7.12	10.86
14	3.49	5.86	6.51	4.83	2.54	2.10	6.97	4.28	3.99	5.16	6.70	7.67	7.11	0	8.14
15	7.75	8.47	8.95	11.21	10.66	9.60	2.29	9.34	9.72	10.14	10.86	11.01	10.86	8.14	0

diperoleh, maka semakin besar probabilitas jalur tersebut untuk dilalui semut lainnya.

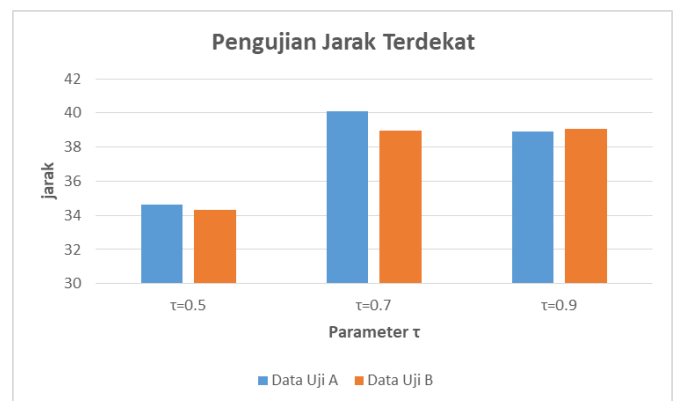
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data titik lokasi ATM locator diambil dari ATM Bank BPD Jateng di area Semarang (Tabel I). Data titik lokasi ATM diambil dari website bank Jateng: www.bankjateng.co.id dengan jumlah titik lokasi ATM locator yang digunakan adalah 25 titik lokasi. Koordinat latitude dan longitude diambil dari *google maps*.

Eksperimen dilakukan sebanyak 2 (dua) kali dengan pengaturan parameter yang berbeda.

- (1) Eksperimen pertama, menggunakan data uji 10 titik lokasi (data uji A) dengan pengaturan jumlah iterasi adalah 100 iterasi, $\alpha = 1$, $\beta = 2$, $\rho = 0.5$, dan $\tau_0 = 0.5$; $\tau_0 = 0.7$; dan $\tau_0 = 0.9$.
- (2) Eksperimen kedua, menggunakan data uji lain sebanyak 10 titik lokasi (data uji B) dengan pengaturan jumlah iterasi adalah 100 iterasi, $\alpha = 1$, $\beta = 2$, $\rho = 0.5$, dan $\tau_0 = 0.5$; $\tau_0 = 0.7$; dan $\tau_0 = 0.9$.

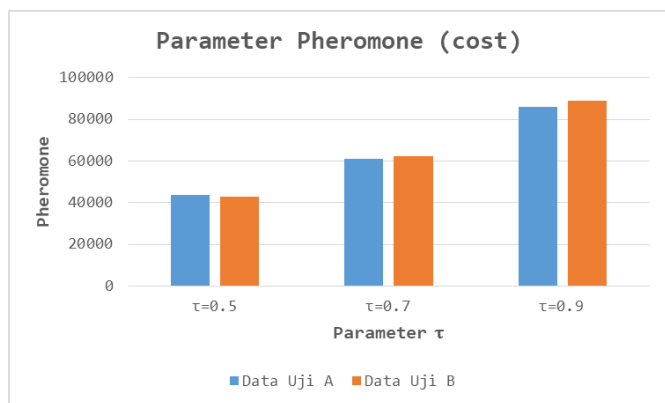
Eksperimen dilakukan pada platform Intel Core i7 – 7700HQ CPU @2.80GHz, 16 GB RAM, dan Microsoft Windows 10 Home 64-bit.



Gbr. 4 Perhitungan Jarak Terdekat (*shortest path*)

Berdasarkan hasil eksperimen pada Gbr. 4, telah dilakukan eksperimen sebanyak 2 kali dengan 2 data yang berbeda dengan percobaan nilai pheromone adalah $\tau_0 = 0.5$; $\tau_0 = 0.7$; dan $\tau_0 = 0.9$. Hasilnya menunjukkan bahwa, perbedaan level pheromone menyebabkan perbedaan hasil yang signifikan. Pada $\tau_0 = 0.5$ jika dibandingkan dengan $\tau_0 = 0.7$ dan 0.9 menghasilkan jalur dengan jarak yang lebih pendek. Jika di analisis pada permasalahan TSP, maka $\tau_0 = 0.5$ memberikan

solusi yang optimal dalam menemukan jalur tempuh terpendek dibandingkan dengan level pheromone $\tau_0 = 0.7$ dan 0.9



Gbr. 5 Perhitungan Pheromone (cost)

Pada Gbr. 5, grafik hasil eksperimen menunjukkan bahwa level pheromone terkecil yaitu $\tau_0 = 0.5$ menghasilkan nilai yang lebih kecil dibandingkan $\tau_0 = 0.7$ dan 0.9 . Pada konsep ACO, penentuan jalur terpendek juga ditentukan oleh parameter biaya (cost). Solusi optimal pada ACO adalah jalur terpendek dengan biaya yang lebih sedikit. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa ACO mampu menemukan jalur terpendek dengan biaya yang sedikit yaitu pada level $\tau_0 = 0.5$ yaitu biaya dibawah 40000.

Penempatan uji titik lokasi yang berbeda yaitu data uji A dan data uji B digunakan untuk menguji apakah ACO dapat menemukan solusi optimal yaitu jalur terpendek dengan biaya yang sedikit. Dari dua grafik diatas, dapat disimpulkan bahwa penggunaan level pheromone $\tau_0 = 0.5$ menghasilkan jarak yang ditempuh dan biaya (cost) lebih sedikit dari penggunaan pheromone lainnya.

Level pheromone $\tau_0 = 0.5$, pada eksperimen ini menjadi nilai parameter yang optimal karena menemukan solusi pencarian jalur terpendek dengan biaya yang sedikit. Detail hasil eksperimen dapat dilihat pada Tabel II.

TABEL II
HASIL EKSPERIMEN ACO

Parameter	Jarak (Lk)		Probabilitas (P _{ij})		Pheromone (τ)	
	Data Uji		Data Uji		Data Uji	
	A	B	A	B	A	B
$\tau_0 = 0.5$	34.65	34.30	0.207	0.240	43651	43022
$\tau_0 = 0.7$	40.12	38.96	0.426	0.325	61074	62171
$\tau_0 = 0.9$	38.90	39.05	0.598	0.580	85793	88676

Pada Tabel II, menunjukkan bahwa level pheromone $\tau_0 = 0.5$ menghasilkan jarak tempuh paling pendek dan biaya yang digunakan paling sedikit. Meskipun, pada parameter probabilitas menunjukkan peluang yang lebih kecil dibandingkan $\tau_0 = 0.7$ dan 0.9 . Probabilitas digunakan sebagai penentuan jalur yang akan dipilih oleh semut. Semakin besar nilai probabilitas yang diperoleh, maka semakin besar kemungkinan jalur tersebut dipilih oleh semut. Pada $\tau_0 = 0.5$, nilai probabilitas lebih kecil dibandingkan level pheromone $\tau_0 = 0.7$ dan 0.9 . Artinya, peluang besar semut untuk memilih

jalur yang dilalui semut sebelumnya dilakukan pada level pheromone 0.7 dan 0.9

Pada konsep ACO, penentuan jalur yang dipilih oleh semut didasarkan dari pengaturan parameter α , β , ρ , dan τ_0 . Hasil terbaik dari eksperimen ACO pada permasalahan TSP diperoleh dengan menggunakan pengaturan $\alpha = 1$, $\beta = 2$, $\rho = 0.5$, dan $\tau_0 = 0.5$.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan pada permasalahan TSP pada pemilihan jalur optimal ATM locator dapat disimpulkan bahwa ACO mampu diimplementasikan pada permasalahan tersebut. ACO mampu menemukan solusi optimal terhadap kemungkinan pemilihan jalur ATM locator di area Semarang. Pengaturan parameter $\alpha = 1$, $\beta = 2$, $\rho = 0.5$, dan $\tau_0 = 0.5$ dapat menemukan jalur terpendek dengan kebutuhan biaya yang sedikit. Penggunaan level pheromone $\tau_0 = 0.5$ menghasilkan $L_k = 34.30$ dan pheromone (cost) = 43022 dengan tingkat peluang adalah 0.240. hasil tersebut mengindikasikan bahwa penentuan jalur terpendek tidak hanya ditentukan berdasarkan parameter L_k , namun juga didasarkan pada parameter probabilitas dan level pheromone.

Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan eksperimen dengan beberapa alternatif pengaturan parameter α , β dan ρ untuk mengetahui tingkat penentuan jalur optimal berdasarkan tingkat pheromone (α), kontrol jalur yang dilalui semut (β), dan evaporasi yaitu tingkat penguapan pheromone pada jalur yang telah dilalui semut (ρ). pada eksperimen yang dilakukan, masih menghasilkan probabilitas yang rendah. Peluang semut baru untuk memilih jalur yang sebelumnya dipilih oleh semut lainnya masih rendah. hal ini dapat menyebabkan proses iterasi lebih lama dalam menemukan jalur optimal yang dilalui semut. Adanya pengaturan parameter α , β dan ρ dapat digunakan mengetahui nilai probabilitas yang tinggi di level berapa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. C.A., "Effects of Automated Teller Machine on the Performance of Nigerian Banks," *Am. J. Appl. Math. Stat.*, vol. 2, no. 1, pp. 40–46, 2014.
- [2] T. Engineering, "Fascicle of Management and Technological Engineering APPLICATION OF AUTOMATED TELLER MACHINE IN SERBIA," *Fascicle Manag. Technol. Eng.*, no. August, pp. 17–22, 2016.
- [3] G. S. Mahendra and K. Y. Ernanda Aryanto, "SPK Penentuan Lokasi ATM Menggunakan Metode AHP dan SAW," *J. Nas. Teknol. dan Sist. Inf.*, vol. 5, no. 1, pp. 49–56, 2019.
- [4] T. P. Nugroho, E. Rohadi, and A. Prasetyo, "Aplikasi Pencarian Jalur Terpendek Untuk Menemukan Lokasi Atm Di Kota Malang," *J. Inform. Polinema*, vol. 3, no. 4, p. 43, 2017.
- [5] C. Prianto and M. Kusnadi, "Penerapan Algoritma Dijkstra Untuk Menentukan Rute Terbaik Pada Mobile E-Parking Berbasis Sistem Informasi Geografis," *J. Inform. J. Pengemb. IT*, vol. 3, no. 3, pp. 329–335, 2018.
- [6] B. P. Silalahi, N. Fathiah, and P. T. Supriyo, "Use of Ant Colony Optimization Algorithm for Determining Traveling Salesman Problem Routes," *J. Mat. "MANTIK"*, vol. 5, no. 2, pp. 100–111, 2019.

- [7] M. Gündüz, M. S. Kiran, and E. Özceylan, "A hierarchic approach based on swarm intelligence to solve the traveling salesman problem," *Turkish J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 23, no. 1, pp. 103–117, 2015.
- [8] N. Sathya and A. Muthukumaravel, "A review of the optimization algorithms on traveling salesman problem," *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 8, no. 29, pp. 1–4, 2015.
- [9] A. K. Jha and M. Sahib, "Ant Colony Optimization for Optimizing Traveling Salesman," *Int. J. Eng. Appl. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 128–131, 2016.
- [10] E. Nurlaelasari, S. Supriyadi, and U. T. Lenggana, "Penerapan Algoritma Ant Colony Optimization Menentukan Nilai Optimal Dalam Memilih Objek Wisata Berbasis Android," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 9, no. 1, pp. 287–298, 2018.
- [11] Y. C. Sitanggang, C. Dewi, and R. C. Wihandika, "Pemilihan Rute Optimal Penjemputan Penumpang Travel Menggunakan Ant Colony Optimization Pada Multiple Travelling Salesman Problem (M-TSP)," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput. Univ. Brawijaya*, vol. 2, no. 9, pp. 3138–3145, 2018.
- [12] Y. Zhang, "A Fusion Methodology to Bridge GPS Outages for INS/GPS Integrated Navigation System," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 61296–61306, 2019.
- [13] X. Yang and J. S. Wang, "Application of improved ant colony optimization algorithm on traveling salesman problem," *Proc. 28th Chinese Control Decis. Conf. CCDC 2016*, pp. 2156–2160, 2016.
- [14] P. Vaishnav, N. Choudhary, and K. Jain, "Traveling Salesman Problem Using Genetic Algorithm: A Survey," *Int. J. Sci. Res. Comput. Sci. Eng. Inf. Technol.* ©, vol. 2, no. 3, pp. 105–108, 2017.
- [15] M. Mavrovouniotis, M. Van, and S. Yang, "Pheromone modification strategy for the dynamic travelling salesman problem with weight changes," *2017 IEEE Symp. Ser. Comput. Intell. SSCI 2017 - Proc.*, vol. 2018-Janua, pp. 1–8, 2018.
- [16] S. M. Wenisch and A. A. Asha, "ACO based shortest path between locations within a campus," *TEM J.*, vol. 7, no. 4, pp. 933–936, 2018.
- [17] O. S. Faust, C. G. Mehli, T. Hanne, and R. Dornberger, "A Genetic Algorithm for Optimizing Parameters for Ant Colony Optimization Solving Capacitated Vehicle Routing Problems," *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, pp. 52–58, 2020.
- [18] G. Sun *et al.*, "Location privacy preservation for mobile users in location-based services," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 87425–87438, 2019.
- [19] D. A. Prasetya, P. T. Nguyen, R. Faizullin, I. Iswanto, and E. F. Army, "Resolving the shortest path problem using the haversine algorithm," *J. Crit. Rev.*, vol. 7, no. 1, pp. 62–64, 2020.
- [20] dan W. B. Z. P. Dauni, M. D. Firdaus, R. Asfariani, M. I. N. Saputra, A. A. Hidayat, "Implementation of Haversine formula for school location tracking," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1402, no. 7, 2019.
- [21] W. Gao, "New ant colony optimization algorithm for the traveling salesman problem," *Int. J. Comput. Intell. Syst.*, vol. 13, no. 1, pp. 44–55, 2020.