



*Implementation of the Ant Colony Optimization Algorithm for
Determination of the Shortest Clinic Path from
Accident-Prone Locations in Pekanbaru City*

**Implementasi Algoritma Ant Colony Optimization untuk
Penentuan Jalur Terpendek Klinik dari Lokasi
Rawan Kecelakaan Di Kota Pekanbaru**

Nur Alfa Husna^{1*}, Desvita Hendri², Hilmi Zalnel Haq³,
Akhas Rahmadeyan⁴, Mustakim⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Pekanbaru, Indonesia
^{2,4,5}Puzzle Research Data Technology (Predatech), Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Pekanbaru, Indonesia

E-Mail: ¹12150321301@students.uin-suska.ac.id,
²12150320281@students.uin-suska.ac.id, ³12150311054@students.uin-suska.ac.id,
⁴11950314479@students.uin-suska.ac.id, ⁵mustakim@uin-suska.ac.id

Corresponding Author: Nur Alfa Husna

Abstract

The clinic is a health facility that serves the community medically or specialistly. The large number of scattered clinics makes it difficult for the community to find the nearest clinic with the best route to the clinic. Data recorded in the results of the population census, Pekanbaru City has a large population of 983,356 people in September 2020. The number of accidents in Pekanbaru continues to increase, so information regarding the location and distance to the nearest clinic needs to be considered. Therefore, this study will determine the shortest path in accident-prone locations to the nearest clinic in Pekanbaru City with the Ant Colony Optimization (ACO) algorithm. The accident location used as the starting point of the research was obtained from previous research, by calculating the distance using Google Maps. The results obtained from implementing the algorithm are the shortest path from accident-prone locations that can be used for vehicles to evacuate accident victims to the nearest clinic.

Keyword: Accident Prone, Ant Colony Optimization (ACO), Clinic, Pekanbaru City, Shortest Path,

Abstrak

Klinik merupakan salah satu fasilitas kesehatan yang melayani masyarakat secara medis ataupun spesialisik. Banyaknya klinik yang tersebar membuat masyarakat kesulitan untuk mencari klinik terdekat dengan rute terbaik menuju klinik tersebut. Data yang dicatat pada hasil sensus penduduk, Kota Pekanbaru memiliki jumlah penduduk yang banyak yaitu 983.356 jiwa pada bulan September 2020. Angka kecelakaan di Pekanbaru terus meningkat, sehingga informasi mengenai lokasi dan jarak menuju klinik terdekat perlu di pertimbangkan. Oleh karena itu, penelitian ini akan menentukan jalur terpendek pada lokasi rawan kecelakaan menuju klinik terdekat di Kota Pekanbaru dengan algoritma Ant Colony Optimization (ACO). Lokasi kecelakaan yang digunakan sebagai titik awal penelitian didapatkan dari penelitian sebelumnya, dengan perhitungan jarak menggunakan Google Maps. Hasil yang diperoleh dari implementasi algoritma tersebut yaitu jalur terpendek dari lokasi rawan kecelakaan yang dapat digunakan bagi kendaraan untuk mengevakuasi korban kecelakaan menuju klinik terdekat.

Kata Kunci: Ant Colony Optimization (ACO), Jalur Terpendek, Klinik, Kota Pekanbaru, Rawan Kecelakaan.

1. PENDAHULUAN

Pelayanan kesehatan ialah suatu cara dengan diselenggarakan oleh perseorangan atau bersama-sama dalam suatu organisasi untuk memelihara dan meningkatkan derajat kesehatan, guna mencegah atau menyembuhkan penyakit serta memulihkan kesehatan perorangan, keluarga atau kelompok masyarakat [1]. Salah satu contoh fasilitas pelayanan kesehatan adalah klinik. Klinik merupakan salah satu fasilitas pelayanan kesehatan perorangan yang memberikan pelayanan medis atau spesialisik. Banyaknya klinik yang tersebar membuat masyarakat kesulitan untuk mencari klinik kesehatan terdekat serta rute yang terbaik menuju klinik [2]. Oleh karena itu, setiap kota harus memperhatikan pelayanan kesehatan di setiap daerahnya.

Kota Pekanbaru merupakan Ibukota dari provinsi Riau, jumlah penduduk Kota Pekanbaru sebanyak 983.356 jiwa pada bulan September 2020, data tersebut didapatkan dari hasil sensus penduduk Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Pekanbaru pada tahun 2021[3]. Dari data tersebut dapat kita simpulkan bahwa Kota Pekanbaru memiliki jumlah penduduk yang banyak. Jumlah kecelakaan yang terjadi di Pekanbaru, data angka kecelakaan mencapai 3.180 kasus pada tahun 2018,2019 berdasarkan data dari BPS di provinsi Riau [4]. Sehingga informasi mengenai lokasi dan jarak klinik merupakan sebuah bentuk yang penting serta perlu dipahami oleh masyarakat untuk memilih tujuan berobat. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Tohom,Ayu (2022), terdapat tiga lokasi rawan kecelakaan di Kota Pekanbaru, yaitu Jl. Sp. Palas-Batas Kota (Simp Bingung), Jl. Siak II (Simp Jl.Damai), dan Jl. Yos Sudarso (U-turn Furniture rotan – simp Jl.Sekolah). Dari penelitian tersebut, maka perlu dipertimbangkan pelayanan kesehatan dari segi efisiensi waktu dalam evakuasi pasien menuju klinik terdekat [5].

Beberapa penelitian mengenai penentuan jalur terpendek di Pekanbaru yang sudah pernah dilakukan sebelumnya yaitu Optimalisasi Rute dan Penjadwalan Pengangkutan Sampah di Kota Pekanbaru (Kec. Tampan) Menggunakan Metode Saving Matrix, metode berhasil mendapatkan solusi terbaik untuk penjadwalan dan penghematan pengangkutan sampah di Kota Pekanbaru [6]. Penelitian selanjutnya yaitu Optimasi Jalur Pengangkutan Sampah Menggunakan Ant Colony Optimization, penelitian ini berhasil memperoleh jalur terpendek dengan jarak 3.999 m dengan $\alpha=0,1$, $\beta=0,2$ serta $\rho=0,1$ [7].

Ant Colony Optimization (ACO) merupakan algoritma yang meniru perilaku koloni semut dalam mencari makanan dengan meninggalkan jejak (feromon), feromon tersebut dijadikan sebagai parameter yang akan menentukan jarak tempuh paling pendek ke tujuan [8]. Semakin banyak semut melalui sebuah jalur, maka akan semakin banyak jejak (feromon) pada jalur tersebut. Dan sebaliknya, apabila jalur yang dilalui semut dalam jumlah yang sedikit atau bahkan tidak dilewati sama sekali, semakin lama akan semakin berkurang jejaknya [9].

Menurut Risqiyanti,dkk (2019), Penelitian menggunakan ACO juga telah dilakukan oleh Marco Dorigo (Belgia) dan Luca Maria (Switzerland) pada tahun 1997. Berdasarkan penelitian mereka, ACO memiliki performa yang jauh lebih baik dibandingkan dengan algoritma yang lainnya. Salah satu contohnya yaitu pada penelitian mereka mengenai kasus TPS dengan 75 kota, ACO hanya membutuhkan siklus jalur sebanyak 3.480 kali, sedangkan algoritma *Genetika* membutuhkan 80.000 kali siklus jalur untuk menentukan jalur terpendek, dan algoritma lainnya juga membutuhkan siklus jalur yang lebih banyak seperti simulated annealing (SA) dan evolutionary programming (EP)[9]. Selanjutnya berdasarkan penelitian oleh Yuwardi dan Balia (2022) mengenai perbandingan algoritma *Dijkstra* dan ACO untuk mencari rute terpendek Distribusi gas LPG. Hasil tingkat keakuratan posisi ACO lebih akurat dibanding *Dijkstra* dan tidak terjadi pergeseran posisi yang mana hal tersebut terjadi pada *Dijkstra*. Pencarian pada ACO bisa hingga 10 lokasi tujuan yang berbeda dalam 1 proses pencarian, sedangkan pencarian *Dijkstra* hanya dapat mencari 1 rute tujuan [10].

Berdasarkan keberhasilan penelitian sebelumnya yang menggunakan algoritma ACO dalam menyelesaikan masalah penentuan optimasi, maka penelitian ini juga akan menggunakan ACO. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur jarak jalur terpendek menuju klinik terdekat agar pasien yang mengalami kecelakaan dapat ditangani dengan cepat, titik awal yaitu dari lokasi yang rawan terjadi kecelakaan di Pekanbaru. Pengukuran dilakukan dengan cara melihat jarak dari lokasi yang rawan kecelakaan menuju klinik terdekat dengan bantuan google maps.

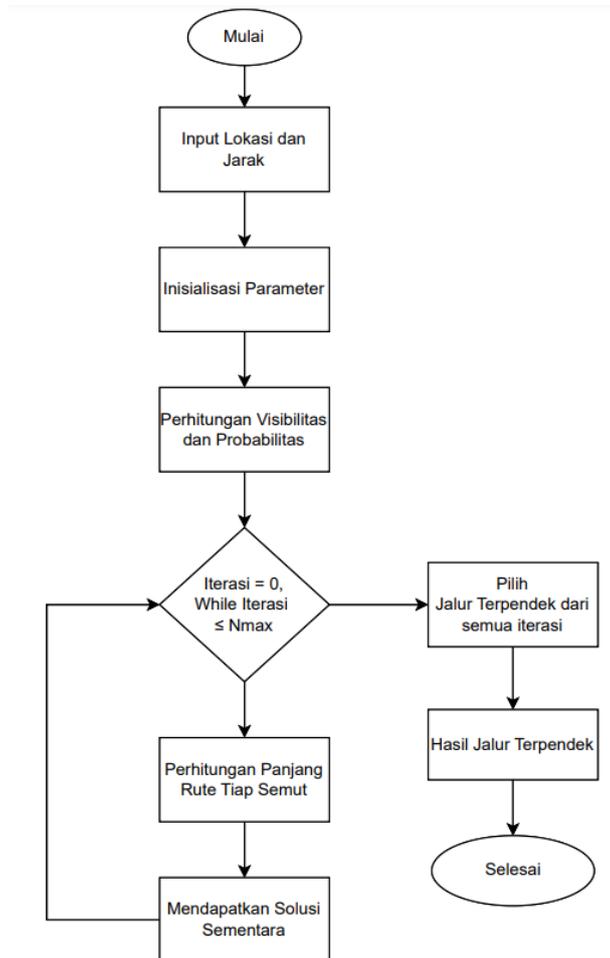
2. METODOLOGI

Penelitian ini akan mengambil data lokasi rawan kecelakaan di Kota Pekanbaru dari penelitian sebelumnya. Penelitian ini akan menentukan jalur terpendek untuk kendaraan saat mengevakuasi korban kecelakaan menuju klinik terdekat. Penyelesaian permasalahan optimasi ini akan menggunakan algoritma ACO dengan bantuan perangkat lunak MATLAB dan Google maps untuk menghitung jarak [11]. Flowchat ACO secara detail ditunjukkan pada gambar 1.

2.1 Optimasi

Optimasi adalah cabang ilmu dalam hal teknik maupun aplikasinya yang secara definitif sebagai suatu kumpulan formula matematis dan metode numeric untuk menemukan jalur optimal dari sekumpulan jalur alternatif lainnya tanpa harus menghitung dan mengevaluasi semua jalur alternatif yang memungkinkan.

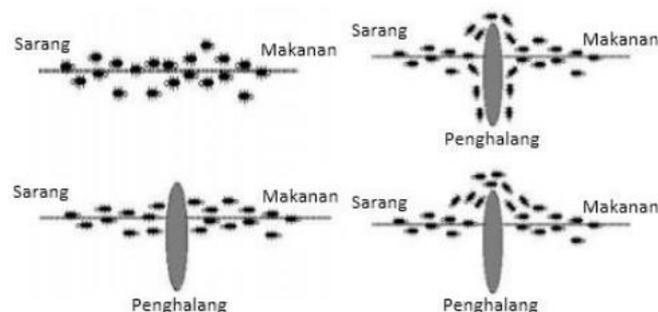
Nilai optimal adalah nilai yang dianggap sebagai solusi terbaik setelah melalui suatu proses dari semua solusi. Secara umum, dua metode yang dapat digunakan dalam penyelesaian masalah optimasi, yaitu metode konvensional dan heuristic. Algoritma ACO sendiri merupakan salah satu contoh metode heuristic, yang menggunakan sistem pendekatan dalam pencarian jalur terpendeknya [12][13].



Gambar 1. Flowchart ACO

2.2 Ant Colony Optimization (ACO)

Pada tahun 1992, Marco Dorigo dan Luca Maria melakukan penelitian memakai *Ant Colony Optimization* (ACO) algoritma sebagai algoritma probabilistic dimana sumbernya dari segerombolan semut didalam mendapatkan lintasan optimal untuk mencari asalnya makanan [14], [15]. Saat semut berjalan, mereka akan meninggalkan feromon dan menemukan pengendapan feromon disepanjang rutenya. Kepadatan pengendapan feromon akan meningkat saat semut kembali ke sarangnya dengan membawa makanan. Pengendapan/penguapan feromon tergantung pada jumlah semut yang berjalan melalui jalur tersebut. Pengendapan feromon maksimum akan membantu semut untuk menemukan jalur optimal dalam mencari makanan [16].



Gambar 2. Ilustrasi semut saat mencari jalur

Seiring waktu, jejak feromon akan menguap akan berkurang bahkan menghilang, sehingga dapat mengurangi daya tariknya. Hal ini terjadi apabila jalur pertama membutuhkan waktu tempuh yang lebih lama dibandingkan jalur kedua dalam proses pencarian makanan, maka jalur pertama lebih cepat mengalami penguapan feromon daripada jalur kedua. Sehingga para semut akan memilih jalur kedua karena diidentifikasi sebagai jalur terpendek yang memiliki feromon lebih kuat dibandingkan jalur lainnya.

2.3 Ant Colony System

Ant Colony System atau yang disingkat ACS ialah metodologi memakai pengamatan dari semut. Nah, semut tersebut mempunyai fungsi untuk mencari pemecahan dalam optimasi permasalahan yang ada. ACS inipun sudah dipakai untuk mendapatkan jalan keluar secara optimal pada Traveling Salesman Problem (TSP). TSP merupakan suatu permasalahan optimasi dengan mengunjungi seluruh titik yang ada hanya sekali dengan memberikan sebanyak n titik [17]. Berikut adalah 3 karakteristik dari ACS :

1. Transisi Status

Proses eksploitasi atau eksplorasi jalur saat semut memilih titik kunjungan berikutnya. Dimana seekor semut yang berada di kota r akan menuju kota u dengan persamaan berikut ini :

$$S = \begin{cases} \arg \max \{ \tau_{ru} [\eta_{ru}]^\beta & u \in J_k(r) \text{ S, jika } q \leq q_0 \text{ (eksploitasi)} \\ \text{jika tidak (eksplorasi)} & \end{cases} \quad (1)$$

Penjelasan:

$\tau(r,u)$: jumlah feromon dari titik r ke titik u
$\eta(r,u)$: panjang batasan dari titik r ke titik u
β	: parameter yang telah ditentukan, yang membandingkan jumlah feromon yang relatif terhadap jarak
u	: titik yang berada di $J_k(r)$
s	: titik yang akan dipilih semut selanjutnya
q	: bilangan acak
q_0	: parameter perbandingan antara eksploitasi dengan eksplorasi
$J_k(r)$: himpunan titik yang dikunjungi semut

2. Pembaruan Feromon Lokal

Proses dimana semut akan melewati jalur-jalur dan mengubah nilai feromon pada jalur-jalur tersebut dengan aturan pada persamaan berikut :

$$\tau(r,s) \leftarrow (1-\rho) \cdot \tau(r,s) + \rho \cdot \Delta\tau(r,s) \quad (2)$$

Keterangan :

ρ	: parameter dengan nilai antara 1 dan 0
--------	---

Dari persamaan diatas, maka semut akan mengacak jalur-jalur yang telah dilaluinya, sehingga titik yang telah dilalui tersebut mungkin akan dilalui oleh semut lain. Tanpa proses ini semut akan cenderung memilih jalur dari jalur terpendek sebelumnya.

3. Pembaruan Feromon Global

Proses yang dilakukan semut dalam membuat jalur terpendek sejak awal percobaan. Pada akhir iterasi, jalur-jalur yang telah dilalui seekor semut dan telah menemukan jalur terpendek akan ditaruh sejumlah feromon. Tingkat feromon pada jalur tersebut diperbarui dengan menggunakan cara demikian :

$$\tau(r,s) \leftarrow (1-\alpha) \cdot \tau(r,s) + \alpha \cdot \Delta\tau(r,s) \quad (3)$$

Pembaruan yang dimaksud pada proses ini yaitu memberikan feromon yang lebih banyak pada jalur terpendek. Persamaan (4) menjelaskan bahwa hanya jalur terpendek secara global saja yang menerima penambahan feromon [18].

3. ANALISIS DAN HASIL

Pada pengujian ini, data yang digunakan sebagai titik awal yaitu berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Tohom dan Ayu (2022), pengujian algoritma ACO yang akan dijelaskan pada penelitian ini

yaitu dari Jl.Sp Palas-Batas Kota (Simpang Bingung) menuju klinik terdekat yaitu Klinik Pratama Palas Medika. Lokasi yang akan diimplementasikan dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Graph 012345 pada Gmaps

Berdasarkan Gambar 3, maka kita akan menghitung bobot jarak yang didapat dari hasil pengukuran menggunakan Gmaps dengan satuan meter. Hasil pengukuran tersebut bisa diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Bobot Jarak (m)

	0	1	2	3	4	5
0	-	2921	-	-	3161	-
1	2921	-	1693	-	-	-
2	-	1693	-	4559	-	-
3	-	-	4559	-	950	600
4	3161	-	-	950	-	-
5	-	-	-	600	-	-

Berdasarkan Gambar 3, selanjutnya dilakukan penentuan lintasan paling pendek dari titik awalan 0 (lokasi rawan kecelakaan) ke titik 5 (klinik terdekat) menggunakan ACO. Berikut adalah langkah dalam penentuan jalur terpendek tersebut.

1. Fase Inisialisasi

Parameter-parameter yang akan digunakan antara lain :

$$\begin{array}{ll} \beta & 2 \\ \rho & 0.1 \\ \alpha & 0.1 \end{array}$$

2. Pemberian Nilai Awal Feromon

Pemberian nilai feromon awal yang akan digunakan semut untuk seluruh jalur perjalanan pada penelitian ini adalah 0,0001. Dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Tabel Nilai Awal Feromon

	0	1	2	3	4	5
0	-	0.0001	-	-	0.0001	-
1	0.0001	-	0.0001	-	-	-
2	-	0.0001	-	0.0001	-	-
3	-	-	0.0001	-	0.0001	0.0001
4	0.0001	-	-	0.0001	-	-
5	-	-	-	0.0001	-	-

3. Perhitungan Nilai Visibilitas

Visibilitas antar titik dengan jarak titik pada Tabel 1 dapat dihitung dengan rumus $\eta_{ij} = (1/d_{ij})$. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabel Visibilitas

	0	1	2	3	4	5
0	-	0.0003	-	-	0.0003	-
1	0.0003	-	0.0006	-	-	-
2	-	0.0006	-	0.0002	-	-
3	-	-	0.0002	-	0.0011	0.0017
4	0.0003	-	-	0.0011	-	-
5	-	-	-	0.0017	-	-

4. Proses mulai dari transisi status, pembaruan feromon lokal hingga pembaruan feromon global

Proses selanjutnya melalui langkah-langkah dari pemilihan titik kunjung semut yang disebut transisi status, pada langkah ini semut yang awalnya berada pada titik 0 akan memilih tempat tujuan selanjutnya. Lalu proses pembaruan feromon lokal untuk mengurangi ketertarikan semut pada jalur yang telah dilewatinya. Pada langkah ini dibutuhkan parameter ρ yang nilainya antara 0 sampai 1. Nilai ρ pada penelitian ini yaitu sebesar 0,1. Selanjutnya proses pembaruan feromon global untuk menambahkan feromon setelah satu siklus berakhir pada jalur terpendek.

Hasil dari iterasi yang dilakukan terdapat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Hasil Iterasi pertama

Semut ke-	Hasil Jalur	Jarak (m)
1	0-1	2921
2	0-1	2921
3	0-1-2-3	9173
4	0-4-3-5	4711
5	0-1-2-3-5	9773
6	0-1	2921
7	0-4-3-5	4711
8	0-1-2	4614
9	0-1-2	4614
10	0-1-2-3-5	9773

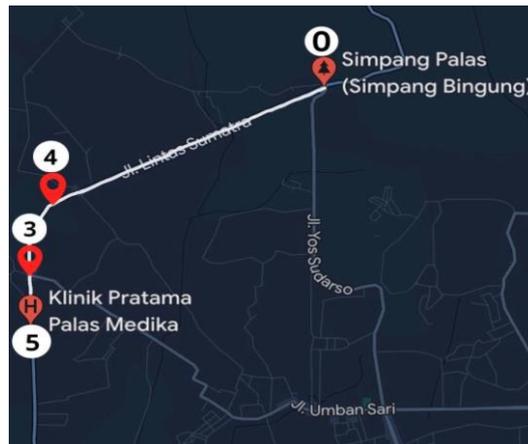
Berdasarkan hasil iterasi pertama, ada 4 jalur yang berhasil menuju ke klinik terdekat yaitu dari awalan titik sampai ke titik 5. Semut yang berhasil adalah semut ke- 4 , 5, 7 dan 10. Lalu bobot jarak antara ke4 semut kita bandingkan untuk menentukan jalur terpendek. Hasil jalur terpendek dari iterasi 1 yaitu semut ke-4 dengan jalur yang dilewati yaitu melalui titik 0-4-3-5 dengan jarak 4711 m.

Tabel 5. Hasil Iterasi kedua

Semut ke-	Hasil Jalur	Jarak (m)
1	0-1-2	4614
2	0-1	2921
3	0-1-2-3	9173
4	0-1-2	4614
5	0-1-2-3-5	9773
6	0-1	2921
7	0-4-3-5	4711
8	0-1-2-3-5	9773
9	0-1	2921
10	0-4-3-5	4711

Berdasarkan hasil iterasi kedua, ada 4 jalur yang berhasil menuju ke klinik terdekat yaitu dari awalan titik sampai ke titik 5. Semut yang berhasil adalah semut ke- 5 , 7, 8 dan 10. Lalu bobot jarak antara ke 4 semut kita bandingkan untuk menentukan jalur terpendek. Hasil jalur terpendek dari iterasi 2 yaitu semut ke-7 dengan jalur yang dilewati yaitu melalui titik 0-4-3-5 dengan jarak 4711 m.

Dari hasil iterasi pertama dan kedua, maka selanjutnya akan dibandingkan kedua iterasi tersebut, mencari nilai jalur terpendek dari Jl.Sp Palas-Batas Kota (Simpang Bingung) menuju klinik terdekat yaitu Klinik Pratama Palas Medika dengan jarak yang paling minimum. Iterasi pertama dan kedua menghasilkan jalur terpendek dengan jarak yang sama yaitu, sehingga kita dapat memilih jalur terpendek untuk kasus ini dari hasil iterasi pertama atau kedua. Maka daripada itu, jalur terpendek pada kasus ini diambil dari iterasi pertama dengan titik 0-4-3-5 dengan jarak yaitu 4711 m.



Gambar 4. Hasil Jalur Terpendek

Selanjutnya dilakukan pengujian dengan tahapan yang sama, yaitu dari lokasi Jl. Siak II (Simp Jl.Damai) menuju klinik terdekatnya yaitu Klinik Pratama Palas Medika diperoleh hasil jalur terpendek dengan jarak 423 m. Dan dari lokasi Jl. Yos Sudarso (U-turn Furniture Rotan – Simp Jl.Sekolah) menuju Klinik Dr.Misbah diperoleh jalur terpendek dengan jarak 110 m.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, penelitian ini berhasil menentukan jalur terpendek dari lokasi rawan kecelakaan di Kota Pekanbaru menuju klinik terdekat menggunakan ACO. Dengan awal proses yang dilakukan peneliti dalam mengimplementasi ACO dengan menggunakan bantuan dari Google Maps dan juga perangkat lunak MATLAB. Penelitian ini diharapkan dapat berguna bagi kendaraan untuk mengevakuasi korban kecelakaan menuju klinik terdekat. Hasil dari perhitungan untuk menentukan jalur terpendek dari tiga lokasi rawan kecelakaan di Kota Pekanbaru menuju klinik terdekat, antara lain:

1. Dari Jl.Sp Palas-Batas Kota (Simpang Bingung) menuju klinik terdekat yaitu Klinik Pratama Palas Medika diperoleh dengan jarak 4711 m.
2. Dari lokasi Jl. Siak II (Simp Jl.Damai) menuju klinik terdekatnya yaitu Klinik Pratama Palas Medika diperoleh dengan jarak 423 m.
3. Dan dari lokasi Jl. Yos Sudarso (U-turn Furniture rotan – simp Jl.Sekolah) menuju Klinik Dr.Misbah diperoleh dengan jarak 110 m.

REFERENSI

- [1] W. Erpurini, “Analisa Kualitas Pelayanan Pasien Pada Klinik Umum Pratama Kasih Bunda Yanti Rajamandala’.,” *Sains Manaj.*, vol. 7, no. 1, pp. 75–88, 2021, doi: 10.30656/sm.v7i1.3330.
- [2] E. Darnila, R. Risawandi, and N. Nursanti, “Aplikasi Pencarian Rute Terdekat Lokasi Klinik Kesehatan Menggunakan Algoritma Steepest Ascent Hill Climbing,” *TECHSI - J. Tek. Inform.*, vol. 11, no. 2, p. 268, 2019, doi: 10.29103/techsi.v11i2.1482.
- [3] “Hasil Sensus Penduduk 2020 Kota Pekanbaru,” *pekanbarukota.bps.go.id*, 2021. <https://pekanbarukota.bps.go.id/pressrelease/2021/04/07/653/hasil-sensus-penduduk-2020-kota-pekanbaru.html>
- [4] M. Marizal, “Estimasi Kondisi Korban Kecelakaan Lalu Lintas Menggunakan Regresi Logistik Ordinal,” vol. 18, no. 2, pp. 292–298, 2021.
- [5] F. Tohom and B. P. S. B. R. Ayu, “Strategi Penanganan Daerah Rawan Kecelakaan Di Ruas Jalan Kota Pekanbaru,” *Borneo Eng. J. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 2, pp. 131–144, 2022, doi: 10.35334/be.v1i2.2528.
- [6] R. Fauzi, “Optimalisasi Rute dan Penjadwalan Pengangkutan Sampah di Kota Pekanbaru (Kec. Tampan) Menggunakan Metode Saving Matrix (Studi Kasus: UD. Salacca Tapanuli Selatan),” *J. Tek. Ind. J. Has. Penelit. dan Karya Ilm. dalam Bid. Tek. Ind.*, vol. 5, no. 1, p. 37, 2020, doi: 10.24014/jti.v5i1.6620.
- [7] M. I. I. Iskandar, “Optimasi Jalur Pengangkutan Sampah Menggunakan Metode Ant Colony Optimization Di Kota Pekanbaru,” *J. CoreIT J. Has. Penelit. Ilmu Komput. dan Teknol. Inf.*, vol. 5, no. Vol 5, No 1 (2019): Juni 2019, pp. 29–35, 2019, [Online]. Available: <http://ejournal.uin-suska.ac.id/index.php/coreit/article/view/8196/pdf>
- [8] R. Yosua, C. Sianturi, B. Rahayudi, and A. W. Widodo, “Implementasi Algoritme Ant Colony Optimization untuk Optimasi Rute Distribusi Produk Kebutuhan Pokok dari Toko Sasana Bonafide Mojoroto,” vol. 5, no. 7, pp. 3190–3197, 2021, [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>

- [9] V. Risqiyanti, H. Yasin, and R. Santoso, "Pencarian Jalur Terpendek Menggunakan Metode Algoritma 'Ant Colony Optimization' Pada GUI Matlab (Studi Kasus: PT Distriversa Buana Mas cabang Purwokerto)," *J. Gaussian*, vol. 8, no. 2, pp. 272–284, 2019, doi: 10.14710/j.gauss.v8i2.26671.
- [10] Yuswardi and Balia, "Distribusi Gas Lpg Dengan Mencari Rute Terpendek Perbandingan Algoritma Dijkstra Dan Ant Colony Wilayah Kabupaten Pidie," *J. Sains Ris.*, vol. 12, no. 1, pp. 132–138, 2022, [Online]. Available: <http://journal.unigha.ac.id/index.php/JSR>
- [11] I. A. Soenandi, J. Joice, and B. Marpaung, "Optimasi Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows dengan Menggunakan Ant Colony Optimization," *J. Sist. dan Manaj. Ind.*, vol. 3, no. 1, p. 59, 2019, doi: 10.30656/jsmi.v3i1.1469.
- [12] D. E. A. Manuputty, C. E. J. C. Montolalu, and T. Manurung, "Penentuan Jalur Terpendek Distribusi Air Mineral Menggunakan Ant Colony Optimization," pp. 76–82, 2021, [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/decartesian>
- [13] D. Udjulawa and S. Oktarina, "Penerapan Algoritma Ant Colony Optimization Untuk Pencarian Rute Terpendek Lokasi Wisata," *Klik - J. Ilmu Komput.*, vol. 3, no. 1, pp. 26–33, 2022, doi: 10.56869/klik.v3i1.326.
- [14] T. Wang, L. Wang, D. Li, J. Cai, and Y. Wang, "welding robot Monte Carlo-based improved ant colony optimization for path," *J. King Saud Univ. - Comput. Inf. Sci.*, p. 101603, 2023, doi: 10.1016/j.jksuci.2023.101603.
- [15] Z. Anshory, "Penerapan Algoritma Ant Colony Optimization Pada Aplikasi Pemandu Wisata Provinsi Sumatera Utara Berbasis Android," *J. Comput. Syst. Informatics*, vol. 1, no. 2, pp. 61–67, 2020, [Online]. Available: <https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/josyc/article/view/106>
- [16] Y. Muharni *et al.*, "Perancangan rute pergerakan material handling crane pada operasional gudang barang jadi menggunakan ant colony optimization," *J. Ind. Serv.*, vol. 7, no. 2, p. 289, 2022, doi: 10.36055/jiss.v7i2.14468.
- [17] D. W. Nugraha, Amriana, and R. Setiawati, "Implementasi algoritma Ant Colony Optimization (ACO) pada pencarian jalur terpendek Automatic Teller Machine (ATM) di Kota Palu," *J. Nas. Inform. dan Teknol. Jar.*, vol. 4, no. 2, pp. 191–202, 2020.
- [18] M. D. Khairansyah, M. Luqman Ashari, and I. Mufidah, "Penentuan Jalur Evakuasi Terpendek Pada Industri Plastik Menggunakan Ant Colony Optimization," *J. Keselam. Transp. Jalan (Indonesian J. Road Safety)*, vol. 8, no. 1, pp. 53–61, 2021, doi: 10.46447/ktj.v8i1.312.