Pencarian Rute Optimal Wisata Alam Kota Tomohon Menggunakan *Ant Colony Optimization (ACO)*

Torany Kaunang[1], Kristoko D. Hartomo[2]

[1,2] *Program Studi Teknik Informatika, Universitas Kristen Satya Wacana*

Email: 672015273@student.uksw.edu

***Abstract*—Tomohon City is one of the popular tourist destinations in Indonesia which has many interesting tourist attractions. Tourist locations that are far apart cause a lot of time needed to travel in the city of Tomohon. Therefore, a method for determining the optimal tourist route is needed. The study presents the determination of tourist routes in Tomohon City using Ant Colony Optimization (ACO). Based on the experiments conducted, 75% of the routes generated with ACO are more optimal than the standard routes. The results show that ACO can solve the problem of determining tourist routes in Tomohon City both in terms of cost and route time.**

Keywords*— *Algorithm, Optimization, Tourism

***Abstrak*— Kota Tomohon merupakan salah satu destinasi wisata populer di Indonesia yang memiliki banyak tempat wisata yang menarik. Lokasi wisata yang berjauhan menyebabkan banyaknya waktu yang dibutuhkan untuk berwisata di kota Tomohon. Oleh karena itu, diperlukan metode penentuan rute wisata optimal. Penelitian menyajikan penentuan rute wisata di Kota Tomohon dengan menggunakan *Ant Colony Optimization (ACO*). Berdasarkan percobaan yang dilakukan, 75 % rute yang dihasilkan dengan *ACO* lebih optimal dari rute standar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *ACO* dapat menyelesaikan masalah penentuan rute wisata di Kota Tomohon dengan baik dari segi biaya dan waktu rute.**

Kata Kunci*— *Algoritma, Optimisasi, Pariwisata

I. PENDAHULUAN

Sulawesi Utara adalah salah satu provinsi yang memiliki banyak destinasi wisata unggulan di Indonesia. Provinsi ini terdiri dari 4 kota dan 11 kabupaten. Provinsi memiliki penduduk berjumlah 2.655.970 jiwa, dengan kepadatan 191 jiwa/km^2.

Salah satu kota tujuan utama pariwisata di Sulawesi Utara adalah Tomohon. Menurut data Dinas Pariwisata Kota Tomohon, terdapat 84 destinasi wisata di Kota Tomohon hingga tahun 2021. Beberapa kategori pariwisata di kota ini termasuk alam, permainan, edukasi, sejarah, dan kuliner. Dari kategori-kategori ini, alam merupakan kategori dengan jumlah terbanyak yaitu 38 destinasi. Danau Linow, Gunung Lokon, dan Gunung Mahawu adalah beberapa contohnya.

Walaupun mengalami kondisi pandemi Covid-19, kunjungan wisatawan ke Kota Tomohon cukup stabil di angka 700 ribu wisatawan, dengan rincian 600 ribu wisatawan domestic, dan 100 ribu wisatawan asing, seperti yang terlihat pada Tabel I. Meningkatkan jumlah wisatawan akan menjadi tantangan berat dimasa pandemi.

TABEL I. KUNJUNGAN WISATAWAN DI TOMOHON

No.	Wisatawan	Jumlah		
		2018	2019	2020
1.	Domestik	546.820	601.510	504.920
2.	Mancanegara	90.910	100.000	105.550
	Jumlah	637.730	701.510	610.470

A. Permasalahan

Saat ini Dinas Pariwisata Kota Tomohon sedang berusaha memulihkan kunjungan wisatawan sejak pandemi dimulai tahun 2020. Targetnya mencapai 544.795 pengunjung, terdiri dari 543.595 wisatawan domestik dan 1200 wisatawan mancanegara. Target wisatawan mancanegara menurun drastis dengan adanya batasan masuknya wisatawan asing ke Indonesia. Salah satu strategi yang digunakan adalah dengan mengoptimalkan rute wisata menuju destinasi-destinasi andalan. Oleh karena itu, diperlukan taktik-taktik yang dapat mempercepat target ini sehingga perekonomian di Kota Tomohon bisa pulih.

Biasanya perencanaan rute wisata di Sulawesi Utara sangat bergantung pada agen perjalanan. Dimana kunjungan ke destinasi pariwisata sudah ditentukan. Walupun jarak dan waktu perjalanan sudah diperhitungkan, beberapa faktor seperti lalu lintas, jam sibuk, serta preferensi wisatawan diabaikan.

Tempat wisata di Kota Tomohon terletak berjauhan. Oleh karena itu, peningkatan jumlah destinasi wisata yang dikunjungi akan sangat berpengaruh terhadap waktu yang diperlukan. Selain itu, setiap wisatawan akan kesulitan menentukan rute perjalanan optimal sesuai waktu liburan yang dimiliki. Diperlukan perencanaan rute yang baik agar destinasi pariwisata yang dipilih dapat dikunjungi dalam rentang waktu tertentu.

Optimasi rute wisata menjadi salah satu solusi bagi wisatawan di Kota Tomohon. Optimasi ini diperlukan untuk mempertimbangkan beberapa faktor yang sangat berpengaruh terhadap waktu dan biaya yang diperlukan selama kunjungan wisata. Rute yang optimal akan meningkatkan kepuasan wisatawan dan kunjungan di Kota Tomohon.

Dalam penelitian ini, akan digunakan metode *Ant Colony Optimization* (*ACO*). *ACO* adalah algoritma yang mengadopsi perilaku koloni semut. Semut bisa menemukan rute terpendek dalam mencari sumber makanan. Hal ini didasarkan pada jejak kaki pada lintasan yang telah dilalui. Semakin banyak semut yang melalui rute tertentu, semakin mudah lintasan ini dikenali oleh semut yang lain.

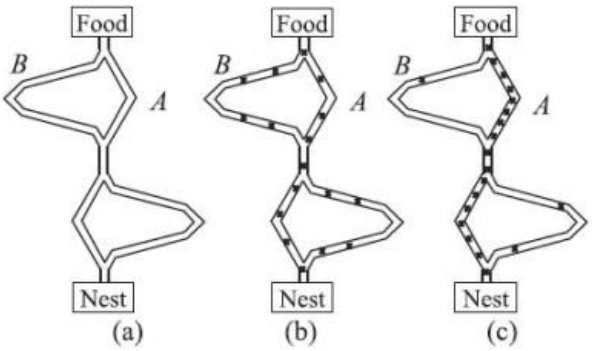
II. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam kehidupan sehari-hari, koloni semut mengangkut makanan dan kembali ke sarang dengan jalur tertentu. Koloni semut menemukan rute antara sarang dan makanan dengan mengandalkan jejak sekresi (dikenal sebagai *Feromon*), bukan penglihatan. Semut mengandalkan *feromon* untuk menginformasikan rute makanan. Koloni semut umumnya memilih rute dengan tinggi konsentrasi *feromon* terbanyak. Jika hambatan ditemukan, koloni semut akan mencoba rute di berbagai arah. Semut berikut akan menentukan rute yang harus diambil sesuai dengan jumlah *feromon*. Konsentrasi *feromon* dari sebuah rute akan meningkat saat koloni semut lewat. Namun, seiring berjalannya waktu, *feromon* di rute secara bertahap akan menguap. Namun, pada beberapa rute yang lebih pendek, meskipun *feromon* dapat menguap, *feromon* yang terus menerus ditinggalkan oleh koloni semut untuk membangun akumulasi *feromon* pada rute.

Penelitian optimasi untuk mencari rute terpendek telah dilakukan menggunakan berbagai macam algoritma. Beberapa algoritma yang sudah digunakan seperti Support Vector Machine [5], Greedy [6], Deterministik [9], dan TABU [10]. Pencarian rute terpendek juga dilakukan dengan algoritma lain seperti Algoritma Genetika. Algoritma ini diterapkan untuk jalur distribusi [4] dan inventarisasi [7].

B. Ant Colony Optimization

Ant Colony Optimization (*ACO*) adalah algoritma optimasi cerdas berdasarkan populasi. Algoritma ini dapat memperoleh jalur terpendek yang khas antara permintaan sarang dan makanan menggunakan mekanisme paralel positif kerjasama antara semut. Desain algoritma *ACO* seperti terlihat pada Gbr 1 berikut ini:



Gbr. 1 Algoritma *ACO*

Gambar di atas mensimulasikan perilaku koloni semut alami dalam pencarian makanan. Semut dapat memilih rute sesuai dengan feromon yang disekresikan oleh semut sebelumnya, dan probabilitas rute ke sumber makanan sebanding dengan intensitas feromon yang disekresikan pada rute. Oleh karena itu, fenomena umpan balik informasi akan terbentuk di jalur semut, yaitu semakin semut memilih jalan tertentu, lebih banyak feromon yang tersisa di jalan, dan semakin kemungkinan semut berikutnya akan memilih jalan ini untuk menemukan jalur terpendek.

Melalui para ahli yang meneliti selama bertahun-tahun, penerapan Algoritma *ACO* telah membuat kemajuan penelitian yang besar dan peran yang luas di berbagai bidang teknik. Algoritma dengan kecepatan konvergensi yang lebih lambat cenderung terbagi menjadi lokal solusi optimal, dan kekurangan lainnya dapat diselesaikan melalui peningkatan aturan pembaruan feromon lokal, penyesuaian dinamis parameter terkait dan optimal kombinasi, dan implementasi strategi pembaruan global optimasi algoritma untuk meningkatkan kecepatan konvergensi algoritma koloni semut, meningkatkan keacakan pencarian global, dan secara signifikan menghambat algoritma munculnya fenomena prematur. Algoritma koloni semut meningkatkan mode pembaruan feromon dengan menggunakan fungsi *constraint model*, yang terdiri dari waktu transportasi aliran material faktor, faktor biaya transportasi dan faktor mobilitas rata-rata jalan.

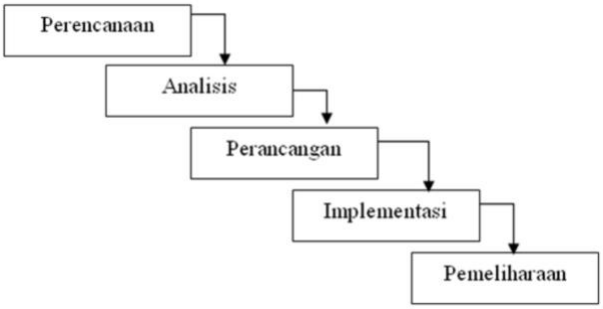
ACO juga dapat digunakan untuk optimasi rute wisata. Konsep dari *ACO* diusulkan oleh Dorigo [2]. dimana perilaku mencari makan semut koloni disebut sebagai *Ants System* (AS). *ACO* pertama digunakan untuk memecahkan masalah penjual keliling, dimana seorang penjual ingin mengunjungi kota dan mencari rute dengan biaya minimum yang mencakup semua kota sebelum kembali ke titik awal (rute terpendek dari total jarak). *ACO* tidak hanya memiliki keunggulan paralelisme yang baik dan cepat memecahkan kecepatan tetapi juga memiliki kinerja yang sangat baik di jalur optimalisasi dan penugasan tugas. Beberapa penelitian *ACO* sudah digunakan untuk kasus pengambilan sampah [1], dan pencarian rute terpendek untuk wisatawan di Kota Magelang[3].

III. METODE PENELITIAN

Penelitian akan dilakukan di Kota Tomohon dengan mengamati destinasi-destinasi pariwisata yang menjadi prioritas. Penelitian memerlukan waktu 3 bulan dalam

penyelesaiannya. Program MATLAB R2014 digunakan untuk simulasi hasil *ACO*.

Selain studi literatur dan pengumpulan data, Model *Waterfall* (Gbr 2) digunakan untuk mengembangkan sistem. Metode ini terdiri dari enam tahapan, dimulai dari Perencanaan dan diakhiri dengan Pemeliharaan.



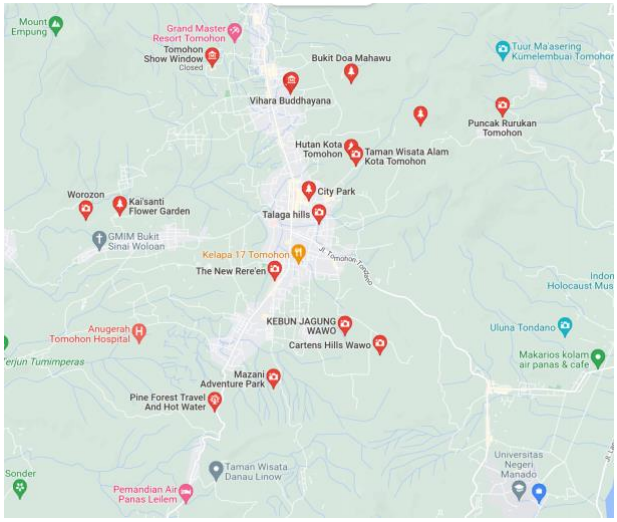
Gbr. 2 Model *Waterfall*

IV. HASIL PENELITIAN

C. *Studi Pustaka*

Langkah awal penelitian dimulai dari studi pustaka dimana dilakukan pendalaman mengenai penelitian yang terkait dan kebaruan penelitian tersebut. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data di Dinas Pariwisata dan media elektronik. Selain pengumpulan data, dilakukan juga pengumpulkan data dari sumber yang relevan dan dilengkapi dengan wawancara.

Dari hasil pengamatan, Kota Tomohon memiliki banyak tempat wisata yang menarik. Penulis memilih 10 destinasi wisata paling populer di Tomohon berdasarkan data tempat wisata. Penulis memilih Hotel Villa Emita Tomohon sebagai depo karena berada di pusat Kota Tomohon. Data waktu perjalanan diambil dari *Google Maps (Gbr. 3)*..



Gbr. 3 Peta Destinasi Wisata di Kota Tomohon.

Berdasarkan peta destinasi wisata di Kota Tomohon, peneliti membuat tabel jarak yang diukur dari pusat kota. Tabel ini dapat digunakan untuk memperhitungkan rute antar destinasi wisata saat melakukan perjalanan. Rute yang digunakan kemudian dapat digunakan untuk menghitung waktu tempuh bila rute perjalanan telah ditetapkan.

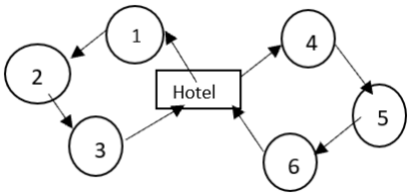
TABEL II. DAFTAR JARAK

DESTINASI WISATA KOTA TOMOHON

Nama Tempat Wisata	**Jarak**
Puncak Temboan Rurukan	5.3 km
Welu Cafe	3.8 km
Valentine Hills	4.8 km
Puncak Kai Santi Woloan	4.7 km
Puncak Wawo	1.5 km
Danau Linow	4.7 km
Bukit Doa Mahawu	4.4 km
Pagoda Ekayana	4.2 km
Pasar Ekstreme	1.9 km
Air Terjun Tumimperas Pinaras	7.3 km

D. *Perencanaan*

Dalam praktiknya, wisatawan dapat memilih satu hotel sebagai sumber dari dataset dan beberapa tempat wisata yang akan dikunjungi dari dataset objek wisata. Wisatawan berangkat dari hotel untuk mengunjungi beberapa turis terpilih atraksi dan kembali ke hotel ketika semua tempat wisata telah dikunjungi. Jika waktu yang dihabiskan untuk mengunjungi beberapa tempat wisata melebihi waktu yang tersedia dalam satu hari sementara ada tempat wisata yang belum dikunjungi, maka wisatawan harus kembali ke hotel dan melanjutkan perjalanan keesokan harinya. Gbr. 4 menunjukkan ilustrasi rute dari deskripsi masalah dengan rincian 1 hotel dengan 6 wisatawan atraksi dan dikunjungi selama 2 hari.



Gbr. 4 Contoh Rute Wisata di Kota Tomohon

E. *Analisis*

Tahap selanjutnya adalah analisis data yang didapatkan dan mendesain solusi menggunakan *ACO* untuk menyelesaikan masalah. Bagian ini akan menjelaskan deskripsi masalah, data penelitian, metode *ACO* standar, *ACO* dengan tabel feromon ganda, dan diagram alur metode dan evaluasi metode. Selain itu dijelaskan juga bagaimana keterkaitan *ACO* dengan rute pariwisata di Kota Tomohon.

ACO dengan tabel feromon ganda adalah perpanjangan dari *ACO* untuk mencegah *ACO* dari mengalami stagnasi optimal dan solusi lokal. Aturan tabel feromon ganda terdiri dari dua jenis feromon, yaitu feromon positif dan feromon negatif, yang berfungsi untuk meningkatkan probabilitas mencari semua arah potensial untuk meningkatkan kualitas hasil akhir. Secara umum, langkah-langkah di *ACO* dengan tabel feromon ganda sama dengan *ACO* tetapi ada beberapa modifikasi dibuat untuk *ACO*.

Penulis melakukan eksperimen dari data untuk mendapatkan solusi menggunakan *ACO* standar. Penulis juga melakukan eksperimen menggunakan *ACO* dengan tabel feromon ganda untuk evaluasi kinerja secara berurutan untuk mengetahui apakah *ACO* dengan dua feromon agar dapat meningkatkan *ACO* standar.

Penulis menerapkan *ACO* dengan tabel feromon ganda dan standar di MATLAB R2014. Sistem komputer yang digunakan memiliki spesifikasi Intel(R) Core(TM) i5-3337U CPU 1.80GHz, RAM 4 GB, hard disk 500 GB dan Microsoft Windows 8 Pro sebagai sistem operasinya. Nilai parameter dalam *ACO* dengan tabel feromon ganda dan standar ditentukan berdasarkan nilai parameter. Dua metode mampu mendapatkan nilai terbaik. Dalam percobaan ini kedua *ACO* dengan tabel feromon ganda dan *ACO* standar dijalankan 10 kali untuk 100 iterasi dan 100 semut.

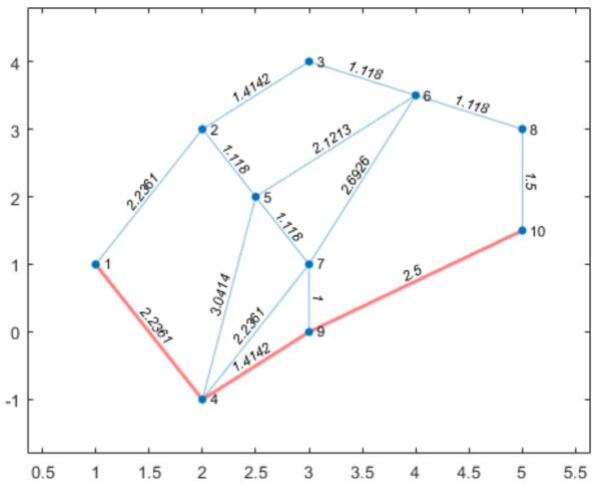
Dalam menentukan rute optimal, penulis menggunakan algoritma *ACO* untuk menentukan jarak optimal yang dapat ditempuh. Jarak Optimal (J) dapat dihitung dengan cara menghitung bobot atau kemacetan di tiap rute untuk menghubungkan destinasi wisata pertama (A_1) dan destinasi wisata kedua (A_2). Selain itu dipertimbangkan juga metode dan Algoritma *ACO* dalam menentukan rute ini. Rumus dari pencarian rute ini adalah sebagai berikut:

J = Jarak Optimal (B,A1,A2,'Metode', *ACO*)

dimana

B = Bobot rute
A1= Titik pertama
A2= Titik kedua

Hasil perhitungan rute optimal akan dijumlahkan sesuai dengan jumlah destinasi wisata yang dijadwalkan. Contoh pencarian rute ini dapat dilihat pada Gbr.5 berikut:



Gbr. 5 Contoh Pencarian Rute Optimal Destinasi Wisata

F. Hasil Penelitian

Penulis membandingkan metode sehubungan dengan solusi terbaik dari biaya waktu rute untuk semua berjalan dalam hitungan menit dan waktu eksekusi dalam hitungan detik. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa *ACO* dengan tabel feromon ganda dapat memecahkan masalah penentuan rute wisata di Kota Tomohon dengan hasil yang lebih optimal. 75 % rute yang dihasilkan dengan *ACO* feromon ganda lebih optimal dari rute standar. *ACO* dengan tabel feromon ganda juga memiliki peluang lebih baik daripada *ACO* standar dalam memilih arah pencarian yang berbeda sehingga *ACO* dengan tabel feromon ganda menyatu lebih cepat ke nilai minimumnya. Ini karena feromon negatif di *ACO* dengan tabel feromon ganda menghilangkan jalur yang paling mustahil, sehingga mencegah semut jatuh ke optima lokal.

V. KESIMPULAN

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa *Ant Colony Optimization* mampu memecahkan masalah penentuan rute wisata di Kota Tomohon sehingga hasil yang didapat bisa menjadi pertimbangan bagi wisatawan saat berlibur ke Kota Tomohon. Selain itu, evaluasi kinerja menunjukkan bahwa *ACO* dengan tabel feromon ganda mampu memperoleh hasil yang lebih baik dalam biaya dan waktu dibandingkan *ACO* standar dalam setiap percobaan. Hal ini berarti bahwa tabel feromon ganda dapat diterapkan ke *ACO* dan dapat meningkatkan kinerja *ACO*, walaupun membutuhkan lebih banyak waktu perhitungan. Feromon negatif di *ACO* dengan feromon ganda dapat mencegah semut jatuh ke optima lokal. Penelitian di masa depan dapat difokuskan untuk mengurangi waktu perhitungan *ACO* dengan tabel feromon ganda sementara dan pada saat yang sama meningkatkan kualitasnya.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. Anadayani, Sri., dan Perwitasari, EW. 2014. "Penentuan Rute Terpendek Pengambilan Sampah di Kota Merauke Menggunakan Algoritma Dijkstra." SEMANTIKA . ISBN: 979-26-0276-3. 164-170.

[2]. Dorigo, Marco., and Gambardella, LM.1996. "Ant Colonies for the traveling salesman problem." Université Libre de Bruxelles.

[3]. Fatkhurrozi, Bagus., dan Setyowati, Ika. 2015. "Pencarian Rute Terpendek Objek Wisata di Magelang Mengunakan Ant Colony Optimization (*ACO*)." Prosiding SENATEK. 205-212.

[4]. Joni, IDMAB., dan Nurcahyawati, Vivine. 2012. "Penentuan Jarak Terpendek pada Jalur Distribusi Barang di Pulau Jawa dengan Menggunakan Algoritma Genetika." JANAPATI. Volume, 1. Nomor, 3. 244-258.

[5]. Kurniawan, Defri., dan Supriyanto, Catur. 2013. "Optimasi Algoritma Support Vector Machine (SVM) Menggunakan ADABOOST untuk Penilaian Risiko Kredit." Jurnal Teknologi Informasi. Volume, 9. Nomor, 1.

[6]. Paryanti. 2009. "Optimasi Strategi Algoritma Greedy untuk Menyelesaikan Permasalahan Knapsack 0-1." SemnasIF. A-101-110.

[7]. Ramuna, Maretta., dan Mahmudy, Wayan. 2015. "Optimasi persediaan barang dalam produksi jilbab menggunakan alroritma genetika." DORO: Repository Jurnal Mahasiswa PTIIK Universitas Brawijaya. Volume, 5. No. 14.

[8]. Satzinger, John, w., et al. 2010. Systems Analysis and Design in a Changing World, Fifth Edition. Boston: Course Technology.

[9]. Suyanto. 2010. Algoritma Optimasi Deterministik dan Probabilistik. Yogyakarta: Graha Ilmu

[10]. Togatorop, Disbun. 2014. "Perancangan Aplikasi Pencarian Jalur Terpendek dengan Algoritma TABU SEARCH." Pelita Informatika Budi Darma. Volume, 7. Nomor, 1. 49-54.