

Penentuan Jalur Terpendek Distribusi Air Mineral Menggunakan Ant Colony Optimization

Debora E. A. Manuputty¹, Christie E. J. C. Montolalu ^{1*}, Tohap Manurung ¹

¹Jurusan Matematika–Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam–Universitas Sam Ratulangi Manado, Indonesia

*Corresponding author : christelly@unsrat.ac.id

ABSTRAK

Penentuan jalur distribusi berpengaruh dalam pengoptimalan biaya dan kualitas barang serta ketepatan waktu pengantaran di PT. Tirta Investama- DC.AQUA. *Traveling Salesman Problem (TSP)* dapat digunakan menentukan lintasan terpendek sebuah siklus tur yang mengunjungi semua kota tepat hanya satu kali. Salah satu cara menyelesaikan permasalahan *TSP* adalah menggunakan *Ant Colony Optimization* dengan Algoritma *Ant System*. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan pendistribusian air mineral sehingga dicari jalur pendistribusian terpendek dalam mengurangi kerugian perusahaan. Berdasarkan hasil penelitian perhitungan algoritma *Ant System* menunjukkan jalur distribusi yang diperoleh 18,14 Km yang memiliki jalur distribusi lebih pendek dibandingkan dengan jalur yang sama berdasarkan *Google Maps* diperoleh jalur distribusi yaitu 19,60 Km.

INFO ARTIKEL

Diterima :

Diterima setelah revisi :

Tersedia online :

Kata Kunci:

Ant Colony Optimization
Traveling Salesman Problem
Jalur

ABSTRACT

Determination of distribution channels has an effect in optimizing the cost and quality of goods as well as punctuality of delivery at PT. Tirta Investama- DC.AQUA. *Traveling Salesman Problem (TSP)* can be used to determine the shortest trajectory of a tour cycle that visits all cities exactly once. One way to solve *TSP* problems is to use *Ant Colony Optimization* with *Ant System* Algorithm. This research aims to optimize the distribution of mineral water so that the shortest distribution path is sought in reducing the company's losses. Based on the results of the study ant system algorithm calculation shows the distribution path obtained 18.14 Km which has a shorter distribution path compared to the same path based on *Google Maps* obtained a distribution line of 19.60 Km.

ARTICLE INFO

Accepted :

Accepted after revision :

Available online :

Keywords:

Ant Colony Optimization
Traveling Salesman Problem
Path

1. PENDAHULUAN

Traveling Salesman Problem (TSP) dikenal sebagai salah satu masalah optimasi yang mencari sebuah siklus tur untuk mengunjungi semua kota tepat hanya satu kali. *TSP* merupakan permasalahan yang banyak diaplikasikan pada berbagai persoalan dunia nyata. Salah satu contoh *TSP* adalah kegiatan distribusi dalam menentukan jalur terpendek. Kenaikan harga kegiatan yang sering dilakukan untuk menyalurkan hasil produksi kepada para konsumen dalam dunia industri disebut kegiatan distribusi, dimana pengoptimalan biaya dan kualitas barang serta ketepatan waktu pengantaran tergantung dari proses pendistribusiannya.

Proses pendistribusian produk air mineral menjadi hal yang berpengaruh dengan meningkatnya kesadaran masyarakat akan pentingnya kebutuhan air mineral di dalam tubuh manusia. Air mineral AQUA merupakan minuman kemasan yang sudah terkenal sejak tahun 1973 di Indonesia. PT. Tirta Investama- DC. AQUA yang terdapat di area Minahasa Utara menjadi salah satu distributor AQUA yang menyalurkan kepada para pelanggan dengan

mengunjungi semua agen/toko sesuai permintaan dan kemampuan truk. Dalam mengoptimalkan proses pendistribusiannya maka dibutuhkan proses pencarian jalur terpendek yang berfungsi untuk mempercepat proses pencarian tempat, menghemat waktu dan biaya. Metode *Ant Colony Optimization (ACO)* menjadi salah satu metode yang dapat menyelesaikan masalah tersebut dengan berorientasi terhadap jarak. [1] berdasarkan yang mereka teliti *ACO* memiliki performa yang jauh lebih baik dibanding dengan algoritma lain. Dalam penelitiannya [6] tentang *ACO* untuk menyelesaikan *TSP* memiliki kelebihan yang jika dibandingkan dengan algoritma lain adalah pencarian nilai terpendek memberikan hasil yang akurat karena adanya proses optimasi di dalam cakupan parameter optimal. Berdasarkan penelitian [8] hasil sebelum perhitungan terjadi pemborosan bahan bakar dan sesudah perhitungan terjadi konsumsi bahan bakar yang lebih hemat dalam menentukan rute distribusi di PT Sinar Harapan Plastik dengan metode *ACO*.

ACO sendiri terinspirasi dari perilaku semut, dimana semua semut secara probabilistik cenderung menyukai titik yang dekat dan terhubung dengan tingkat

Pheromone yang tinggi, dimanakan untuk membangun jalur terpendek dari setiap semut memiliki bentuk memori yang disebut *tabu list* dan berfungsi menentukan himpunan titik sehingga menjamin terbentuknya jalur terpendek dan semut juga bisa melacak kembali lintasan yang telah diselesaikan.

Berdasarkan latar belakang tersebut penelitian ini bertujuan menentukan Jalur Distribusi Air Mineral Menggunakan Metode *Ant Colony Optimization*.

Proses Distribusi

Distribusi adalah proses perpindahan atau penyaluran barang dan jasa dari produsen kepada konsumen. Penerapan strategi pemasaran yang tepat merupakan bagian penting, salah satunya kegiatan distribusi dimana serangkaian organisasi yang saling tergantung dan terlibat dalam proses untuk menjadikan suatu barang atau jasa siap untuk digunakan atau dikonsumsi [4].

Teori Graf

Suatu graf G terdiri atas himpunan yang tidak kosong dari elemen-elemen yang disebut titik (*vertex*), dan suatu daftar pasangan *vertex* yang tidak terurut disebut sisi (*edge*).

Jenis – Jenis Graf

Menurut [7] berdasarkan ada tidaknya gelang atau sisi ganda pada suatu graf, maka secara umum graf dapat digolongkan menjadi dua jenis:

1. Graf sederhana (*simple graph*)

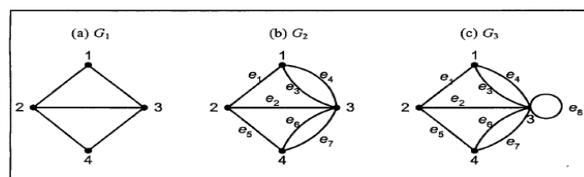
Graf yang tidak mengandung gelang maupun sisi-ganda dinamakan graf sederhana. G_1 pada gambar 1(a) adalah contoh graf sederhana. Pada graf sederhana, sisi adalah pasangan tak terurut (*unordered pairs*). Jadi, menuliskan sisi (u, v) sama saja dengan (v, u) . Kita dapat juga mendefinisikan graf sederhana $G = (V, E)$ terdiri dari himpunan tidak kosong simpul-simpul dan E adalah himpunan pasangan tak-terurut yang berbeda yang disebut sisi.

2. Graf tak-sederhana (*unsimple-graph*)

Graf yang mengandung sisi ganda atau gelang dinamakan graf tak-sederhana. Ada dua macam graf tak-sederhana, yaitu graf ganda (*multigraph*) dan graf semu (*pseudograph*). Graf ganda adalah graf yang mengandung sisi ganda (*multiple edges* atau *parallel edges*).

Sisi ganda yang menghubungkan sepasang simpul bisa lebih dari dua buah. G_2 pada Gambar 1(b) adalah contoh graf ganda karena memiliki sisi e_3 dan e_4 yang merupakan sisi-ganda. Sisi ganda dapat diasosiasikan sebagai pasangan tak-terurut yang sama. Kita dapat juga mendefinisikan graf ganda $G = (V, E)$ terdiri dari himpunan tidak kosong simpul-simpul dan E adalah himpunan-ganda (*multiset*) yang mengandung sisi ganda.

Graf semu adalah graf yang mengandung gelang (*loop*). G_3 pada Gambar 1(c) adalah contoh gra f semu karena memiliki sisi e_8 yang merupakan gelang



Gambar 1. Tiga buah graf (a) graf sederhana, (b) graf ganda, dan (c) graf semu

Komponen- Komponen Graf

Menurut [9] ada beberapa terminologi dari teori graf yang digunakan untuk menjelaskan apa yang dilihat ketika melihat suatu graf. Graf dapat dilihat dari komponen-komponen penyusunnya.

1. Titik (*Vertex*)

Titik (*vertex*) yang disimbolkan dengan v adalah himpunan titik yang terbatas dan tidak kosong. Jumlah titik pada graf dapat dinyatakan dengan $n = |v|$.

2. Sisi (*Edge*)

Sisi (*edge*) yang disimbolkan dengan e adalah himpunan sisi yang menghubungkan sepasang titik.

3. Derajat (*Degree*)

Derajat (*degree*) suatu titik yang disimbolkan dengan $d(v)$ adalah jumlah sisi yang berada pada titik tersebut.

4. Ukuran (*Size*)

Ukuran (*size*) dari suatu graf adalah banyaknya titik yang dimiliki

Optimasi

Menurut [10] optimasi adalah cabang ilmu yang sudah lama berkembang dalam hal teknik maupun aplikasinya yang bisa digambarkan secara definitif sebagai suatu kumpulan formula matematis dan metode numerik untuk menemukan dan mengidentifikasi kandidat terbaik dari sekumpulan alternatif tanpa harus eksplisit menghitung dan mengevaluasi semua alternatif yang memungkinkan.

Definisi Nilai Optimal

Menurut [11] nilai optimal adalah nilai yang didapat melalui suatu proses dan dianggap menjadi solusi jawaban paling baik dari semua solusi.

Penyelesaian Masalah Optimasi

Secara umum, penyelesaian masalah pencarian rute terpendek dapat dilakukan dengan menggunakan dua metode yaitu konvensional dan metode heuristik. Metode konvensional sendiri dihitung dengan matematis biasa sedangkan heuristik dihitung menggunakan sistem pendekatan.

a. Metode Konvensional

Metode yang bisa digunakan dalam pencarian rute terpendek diantaranya menggunakan beberapa algoritma : algoritma Dijkstra, algoritma *Floyd-Warshall*, dan algoritma *Bellman-Ford*

b. Metode Heuristik

Metode ini adalah suatu metode yang menggunakan sistem pendekatan dalam melakukan pencarian dalam optimasi yang digunakan pada beberapa algoritma yakni Algoritma Genetika, Ant Colony Optimization, logika Fuzzy, jaringan syaraf tiruan, *Tabu Search*, *Simulated Annealing* dan lain-lain.

Travelling Salesman Problem (TSP)

TSP merupakan masalah klasik untuk mencari rute terpendek yang dapat dilewati salesman ke sejumlah tempat tanpa harus mendatangi tempat yang sama lebih dari satu kali [5]. Memiliki beberapa batasan yang pertama berfungsi untuk menjamin satu kota hanya satu kali dikunjungi dari kota lain. Batasan kedua berfungsi menjamin satu kota hanya akan mengunjungi satu kota lain. Sedangkan batasan ketiga untuk menjamin agar tidak terjadi subroute dari satu kota i ke kota j dan langsung kembali ke i lagi. *TSP* dapat dinyatakan sebagai permasalahan dalam mencari jarak minimal sebuah *tour* tertutup terhadap sejumlah n kota. Dalam mencari sirkuit terpendek yang harus dilalui oleh seorang salesman bila berangkat dari kota asal dan menyinggahi setiap kota tepat satu kali dan kembali ke kota asal keberangkatan maka mencari jumlah sirkuit

Hamilton dalam graf lengkap dengan n titik adalah $\frac{(n-1)!}{2}$ menjadi solusinya.

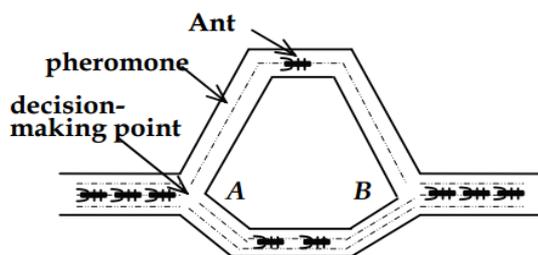
Ant Colony Optimization (ACO)

Ant Colony Optimization (ACO) diadopsi dari perilaku koloni semut yang dikenal sebagai sistem semut [2]. Algoritma ACO menggunakan fungsi heuristik untuk mendapatkan hasil yang optimal sehingga kekurangan dari algoritma ACO ini adalah waktu proses dalam mendapatkan hasil yang paling optimal sangat tergantung dari jumlah iterasi perhitungan yang digunakan [3].

Pheromone merupakan zat kimia yang berasal dari kelenjar endokrin dan digunakan dalam mengenali sesama jenis, individu lain, kelompok dan membantu proses reproduksi yang hanya dapat mempengaruhi dan dikenal oleh individu lain yang sejenis (satu spesies) kemudian menyebar diluar tubuh. Proses peninggalan *Pheromone* dikenal sebagai *Stigmergy* yaitu sebuah proses yang memodifikasi lingkungannya dengan tujuan untuk mengingat jalan pulang ke sarang dan juga memungkinkan bagi para semut berkomunikasi dengan koloninya. Jejak *Pheromone* sendiri seiring waktu akan menguap dan mengurangi daya tariknya maka semakin banyak atau semakin cepat setiap semut pulang pergi melalui rute tersebut maka semakin kecil penguapan yang terjadi dari *Pheromone* itu sendiri dan begitu pula sebaliknya.

Cara Kerja Semut Menemukan Rute Terpendek dalam ACO

Secara alamiah semut dapat menemukan rute terpendek dalam perjalanan dari sarang menuju ke sumber makanan berdasarkan jejak kaki pada lintasan yang telah dilalui. Semakin banyak semut yang melalui lintasan, maka akan semakin jelas bekas jejak kakinya. Hal ini akan menyebabkan lintasan yang dilalui semut dalam jumlah sedikit, semakin lama akan semakin berkurang kepadatan semut melewatinya atau bahkan tidak akan dilewati. Sebaliknya lintasan yang dilalui semut dalam jumlah banyak, semakin lama akan semakin bertambah kepadatan semut melewatinya, atau bahkan semua semut akan melalui lintasan tersebut.



Gambar 2. Perjalanan semut dari sarang menuju sumber makanan

Gambar 2 menunjukkan langkah-langkah yang diambil semut dalam mencari rute terpendek dari sarang menuju tempat makanan dengan langkah awal membagi dua kelompok kemudian berpencar dengan pergi dan kembali ke sarang kemudian melihat rute yang mana menjadi rute terpendek dengan meninggalkan *Pheromone* dimana jalur yang paling banyak *Pheromone* maka jalur tersebut menjadi jalur yang paling banyak dilalui oleh semut.

Algoritma Ant System (AS)

AS adalah algoritma dari Metode ACO yang dirumuskan untuk menyelesaikan kasus TSP yang tersusun atas sejumlah m semut yang bekerja sama dan berkomunikasi secara tidak langsung melalui *Pheromone*.

Peranan utama dari penguapan *Pheromone* adalah untuk mencegah stagnasi dimana semua semut berakhir dengan melakukan *tour* yang sama.

Dalam algoritma semut diperlukan beberapa variabel dan langkah-langkah untuk menentukan jalur terpendek, yaitu :

Langkah 1 :

Inisialisasi harga parameter-parameter algoritma. Parameter yang terdapat dalam inisialisasi adalah :

1. Intensitas jejak semut antar kota dan perubahannya (τ_{ij})
2. Banyak kota (n) termasuk koordinat (x, y) atau jarak antar kota (d_{ij})
3. Kota berangkat dan kota tujuan
4. Tetapan siklus semut (Q) yang didapat dari jumlah rute
5. Tetapan pengendali intensitas jejak semut (α), nilai $\alpha \geq 0$
6. Tetapan pengendali visibilitas (β), nilai $\beta \geq 0$
7. Visibilitas antar kota

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

8. Banyak semut (m)
9. Tetapan penguapan jejak semut (ρ), nilai ρ harus > 0 dan < 1 untuk mencegah jejak *Pheromone* yang tak terhingga.
10. Jumlah siklus maksimum ($NCmax$) bersifat tetap selama algoritma dijalankan, sedangkan τ_{ij} akan selalu diperbaharui harganya pada setiap siklus algoritma mulai dari siklus pertama $NC = 1$ sampai tercapai siklus maksimum ($NC = NCmax$) atau sampai terjadi konvergensi.
11. Inisialisasi kota pertama setiap semut. Setelah inisialisasi τ_{ij} dilakukan, kemudian m semut ditempatkan pada kota pertama tertentu secara acak.

Langkah 2 :

Pengisian kota pertama ke dalam *tabu list*. Hasil inisialisasi kota pertama setiap semut dalam langkah 1 harus diisikan sebagai elemen pertama *tabu list*. Hasil dari langkah ini adalah terisinya elemen pertama *tabu list* setiap semut dengan indeks kota tertentu yang berarti bahwa *tabu list* bisa berisi indeks kota antara 1 sampai n sebagaimana hasil inisialisasi pada langkah 1.

Langkah 3 :

Penyusunan rute kunjungan setiap semut ke setiap kota. Koloni semut didistribusi ke setiap kota dari asal kota. Kemudian dari kota kedua menuju ke selanjutnya dan akan dilanjutkan sampai setiap kota telah dikunjungi satu persatu. Untuk menentukan kota tujuan digunakan probabilitas kota untuk dikunjungi sebagai berikut :

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha, [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in j_i^k} [\tau_{ij}]^\alpha, [\eta_{ij}]^\beta}, & \text{untuk } s \in j_i^k \\ 0, & \text{untuk } s \text{ lainnya} \end{cases} \quad 2$$

Dengan i sebagai indeks kota asal dan j sebagai indeks kota tujuan.

Langkah 4 :

Perhitungan panjang rute setiap semut

- a. Perhitungan panjang rute tertutup setiap semut dilakukan setelah siklus diselesaikan oleh semua semut. Perhitungan ini dilakukan berdasarkan tabuk masing-masing dengan persamaan berikut:
- b. Pencarian rute terpendek

$$c_k = d_{tabu(n),tabu(1)} + \sum_{k=1}^{n-1} d_{tabu(s),tabu(s+1)} \quad 3$$

Setelah setiap semut dihitung didapat harga minimal panjang rute tertutup setiap siklus dan harga minimal panjang rute tertutup secara keseluruhan

- c. Perhitungan perubahan harga intensitas jejak kaki semut antar kota

Koloni semut meninggalkan jejak-jejak kaki lintasan antar kota yang dilalui. Adanya penguapan dan perbedaan jumlah semut yang lewat, menyebabkan kemungkinan terjadinya perubahan harga intensitas jejak kaki semut antar kota. Persamaan perubahan ini adalah

$$\Delta\tau_{rs} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{rs}^k \quad 4$$

Dengan $\Delta\tau_{rs}^k$ adalah perubahan harga intensitas jejak kaki semut antar kota setiap semut dihitung berdasarkan persamaan :

$$\Delta\tau_{rs}^k = \frac{1}{L_Q} \quad 5$$

Untuk $(i, j) \in$ kota asal dan kota tujuan dalam tabu dan

$$\Delta\tau_{rs}^k = 0 \quad 6$$

Dimana L_Q adalah panjang rute siklus semut

Langkah 5 :

Perhitungan harga intensitas jejak kaki semut antar kota untuk siklus selanjutnya. Harga intensitas jejak kaki semut antar kota pada semua lintasan antar kota ada kemungkinan berubah karena adanya penguapan dan perbedaan jumlah semut yang melewati. Untuk siklus selanjutnya, semut yang akan melewati lintasan tersebut harga intensitasnya telah berubah. Harga intensitasnya jejak kaki semut antar kota untuk siklus selanjutnya dihitung dengan persamaan :

$$\tau_{rs} = (1 - \rho) \cdot \tau_{rs} + \Delta\tau_{rs} \quad 7$$

Atur ulang harga perubahan intensitas jejak kaki semut antar kota. Untuk siklus selanjutnya perubahan harga intensitas jejak semut antar kota perlu diatur kembali agar memiliki nilai sama dengan nol.

Langkah 6 :

Pengosongan *tabu list* dan ulangi langkah 2 jika diperlukan. *Tabu list* perlu dikosongkan untuk diisi lagi dengan urutan kota yang baru pada siklus selanjutnya, jika jumlah siklus maksimum belum tercapai atau belum terjadi konvergensi. Algoritma diulang lagi dari langkah 2 dengan harga parameter intensitas jejak kaki semut antar kota yang sudah diperbaharui.

2. METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan dari bulan Oktober 2020 sampai Juli 2021, mulai dari penyusunan proposal, pengambilan data, pengolahan data serta pengambilan kesimpulan. Pengambilan data dilakukan melalui peta dari setiap minimarket yang menjadi pelanggan tetap dari PT. Tirta Investama- DC. AQUA area kabupaten Minahasa Utara dan 5 Indomaret .

Analisis Data

Data yang digunakan untuk penelitian berupa lokasi distribusi dan jarak dari PT. Tirta Investama- DC. AQUA menuju 5 Indomaret dengan data yang diinput berupa jarak dalam satuan kilometer (Km). Penelitian ini menggunakan bantuan *google map*. Fungsi dari *google map* dalam penelitian ini adalah mendapatkan koordinat setiap minimarket dan PT. Tirta Investama- DC. AQUA.

Untuk menentukan jalur terpendek dengan menggunakan metode *Ant Colony Optimization* dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Cara Kerja Metode *Ant Colony Optimization*

- a. Penentuan lokasi yang akan dikunjungi dan jarak antar titik
- b. Simbolisasi parameter-parameter algoritma yang terdiri dari
 - Jumlah titik (n) beserta jarak antar titik (d_{rs})
 - Tetapan siklus semut (Q)
 - Tetapan pengendali intensitas jejak semut (α), dimana $\alpha \geq 0$
 - Tetapan pengendali visibilitas (β)
 - Jumlah semut (m)
 - Tetapan penguapan jejak semut (ρ), dimana $0 < \rho < 1$
 - Jumlah siklus maksimum (NC_{maks})
 - Intensitas jejak semut antar titik (τ_{rs})
- c. Penyusunan dan pengisian daftar jarak PT. Tirta Investama- DC. AQUA dan 5 indomaret ke dalam *tabu list*
- d. Penyusunan jalur perjalanan setiap semut dalam bentuk tabel

e. Perhitungan panjang jalur setiap semut dilakukan setelah satu siklus diselesaikan oleh semua semut

2. Hasil Perhitungan Metode *Ant Colony Optimization*
 - a. Perhitungan jejak *Pheromone* antar titik siklus selanjutnya
 - b. Menentukan hasil metode *ACO* dengan jarak terpendek dari hasil perhitungan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

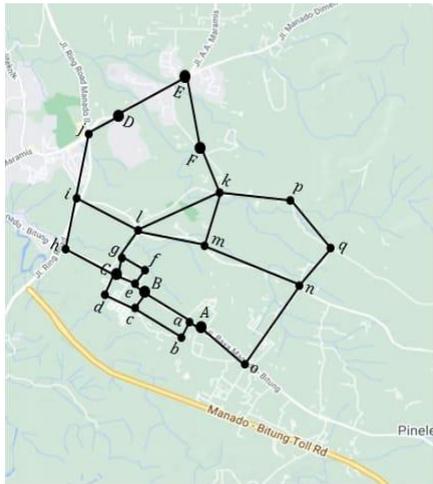
Metode *Ant Colony Optimization* Untuk Pencarian Jalur Terpendek

Metode *ACO* dapat diaplikasikan dengan cara menentukan jumlah titik yang akan dilalui semut dan mencari jarak antar titik tersebut. Kemudian menyusun rute kunjungan semut ke setiap kota dengan titik-titik yang ada hanya dikunjungi sekali dimana titik awal sama dengan titik akhir, dengan tujuan mencari rute terpendek terhadap n titik.

Setiap semut melanjutkan perjalanannya melalui sebuah titik yang sudah ditentukan. Secara berulang kali, satu persatu titik yang ada dikunjungi oleh semut dengan tujuan menghasilkan sebuah perjalanan dengan mempertimbangkan invers dari jarak titik tersebut dan jumlah *pheromone* yang terdapat pada ruas yang menghubungkan titik tersebut dengan probabilitas semut akan lebih mengarah ke ruas yang pendek dan memiliki tingkat *pheromone* yang tinggi.

Lokasi Penelitian dan Simbolisasi

Pemilihan dari studi penelitian ini ada di beberapa titik Indomaret di sekitar PT. Tirta Investama- DC. AQUA. Alasan mengambil titik tersebut untuk mengimplementasikan ilmu yang di dapat dalam pencarian rute terpendek dalam pendistribusian air mineral.



Gambar 3. Graf Lokasi Penelitian

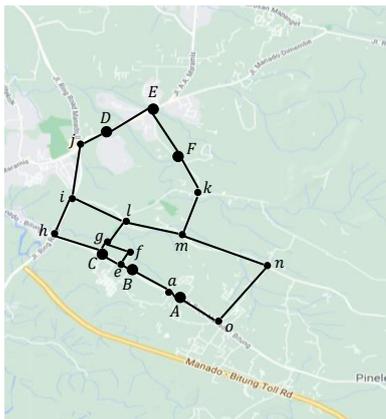
Dibawah ini diberikan keterangan masing-masing titik dari Gambar 3 :

- A : PT. Tirta Investama- DC. AQUA
- B : Indomaret Maumbi
- C : Indomaret Raya Maumbi
- D : Indomaret Paniki Bawah
- E : Indomaret Hybrid Paniki Satu
- F : Indomaret Paniki Atas

Dengan keterangan titik a, b, c, d, f, g, h, i, j, k, l, m, n sampai o adalah titik penghubung atau titik bantuan antar 5 titik indomaret dan PT. Tirta Investama- DC. AQUA.

Penempatan titik a, b, c, d, f, g, h, i, j, k, l, m, n sampai o mempermudah jalur pendistribusian antar titik sebagai titik bantuan. Untuk menemukan jarak dari titik awal menuju titik berikutnya maka dilalui beberapa titik bantuan kemudian dari jalur tersebut maka dapat diketahui jalur terpendek antar titik.

Jarak Antar Titik



Gambar 4. Graf Jalur terdekat antar titik

Tabel 1. Bobot Antar Titik (Km)

d	A	B	C	D	E	F
A	0	1.17	1.79	12.25	0	6.8
B	1.17	0	0.62	8.02	0	4.97
C	1.79	0.62	0	6.15	0	3.95
D	12.25	8.02	6.15	0	1.3	9.25
E	0	0	0	1.3	0	2.1
F	6.8	4.97	3.95	9.25	2.1	0

Gambar 4 menunjukkan jalur yang terdekat antar titik sehingga memudahkan langkah berikutnya dalam memperhitungan *Ant system*.

Langka akan berhenti disini ketika permintaan pendistribusian hanya untuk 1 titik tujuan dan langsung kembali pada titik awal karena setiap jarak antar titik yang dapat dilihat Tabel 1 Bobot Antar Titik (Km) menjadi jalur dengan jarak terdekat dari satu titik ketitik yang lain.

Jalur Perjalanan Semut

Penulis mengambil titik awal dan titik akhir adalah PT. Tirta Investama- DC. AQUA dengan melewati beberapa titik toko indomaret dan kembali ke tempat awal. Untuk menentukan rute perjalanan semut dengan cara mencari sirkuit hamilton di dalam graf lengkap dengan n vertex adalah $\frac{(n-1)!}{2}$, sehingga graf yang dimiliki $\frac{(6-1)!}{2} = 60$ sirkuit Hamilton yang terlampir pada lampiran 1.

Dalam kehidupan nyata penerapan rute semut hanya bisa dilalui dari 5 rute saja dari 60 rute yaitu C1, C9, C24, C25, dan C30. Maka dari kelima data tersebut didapat ada 5 semut dan 5 rute yang akan dijalankan.

Panjang Jalur Perjalanan Semut (C^k)

Dalam mencari jalur perjalanan semut, maka akan dilihat jarak terdekat dari titik awal kemudian akan dilakukan beberapa iterasi untuk melihat perubahan *Pheromone* dimana dari perubahan *Pheromone* akan dilihat jalur manakah yang paling sering dilewati oleh semut dan jalur mana yang jarang dilalui oleh semut bahkan tidak dilalui oleh semut.

Tabel 2. Nilai Parameter

α	1
β	1
ρ	0.5
Q	5

Kemudian untuk *Pheromone* (τ) awal akan di tetapkan untuk semua rute perjalanan adalah 0,1.

Tabel 3. Visibilitas antar titik

η	A	B	C	D	E	F
A	0.00000	0.85470	0.55866	0.08163	0.00000	0.14706
B	0.85470	0.00000	1.61290	0.12469	0.00000	0.20121
C	0.55866	1.61290	0.00000	0.16260	0.00000	0.25316
D	0.08163	0.12469	0.16260	0.00000	0.76923	0.10811
E	0.00000	0.00000	0.00000	0.76923	0.00000	0.47619
F	0.14706	0.20121	0.25316	0.10811	0.47619	0.00000

Seberapa diinginkannya jalur yang akan dilewati oleh semut dapat dilihat dari visibilitas antar kota. Semakin besar nilai visibilitas yang ada maka semakin besar peluang semut akan memulai dari titik tersebut seperti pada Tabel 3.

Semua semut akan mengawali perjalan dari berbeda-beda titik maka dari itu memerlukan beberapa langkah agar seluruh kota bisa dikunjungi yaitu semut akan:

1. Memilih kota secara acak
2. Mencatat titik yang telah dikunjungi didalam *tabu list*

Setelah menghitung nilai dari probabilitasnya dan seluruh kota telah dikunjungi dari setiap iterasi kemudian bisa dihitung Perubahan *Pheromone*.

Tabel 4. Perubahan *Pheromone*

Semut	rute	jarak	$\Delta\tau$
1	A-B-C-D-E-F	18.14	0.05513
2	A-F-E-D-B-C	20.63	0.04847
3	A-B-F-E-D-C	18.56	0.05388
4	A-B-D-E-F-C	19.41	0.05152
5	A-C-B-F-E-D	23.03	0.04342

Hasil Perhitungan Algoritma Ant System

Untuk mencari lintasan terpendek dengan menggunakan metode algoritma semut dilakukan beberapa langkah, yang pertama dengan menentukan intensitas jejak semut antar titik dan perubahannya (τ). Nilai τ_{rs} akan selalu diperbaharui pada setiap iterasi maksimum yang akan ditentukan atau telah mencapai hasil yang optimal. Adapun τ awal yang penulis gunakan adalah 0,1.

Setelah nilai τ ditentukan selanjutnya masing-masing semut ditempatkan pada titik pertama tertentu pada sejumlah titik berdasarkan Tabel 1 .

Tabel 5. Banyak *Pheromone* iterasi I

τ	A	B	C	D	E	F
A	0.0500	0.2105	0.0934	0.0500	0.0500	0.0985
B	0.0500	0.0500	0.1536	0.1015	0.0500	0.1473
C	0.2039	0.0934	0.0500	0.1051	0.0500	0.0500
D	0.0934	0.0985	0.1039	0.0500	0.1566	0.0500
E	0.0500	0.0500	0.0500	0.1958	0.0500	0.1566
F	0.1051	0.0500	0.1015	0.0500	0.1958	0.0500

Tabel 6. Banyak *Pheromone* iterasi II

τ	A	B	C	D	E	F
A	0.0250	0.2658	0.0901	0.0250	0.0250	0.0977
B	0.0250	0.0250	0.1804	0.1023	0.0250	0.1710
C	0.2558	0.0901	0.0250	0.1077	0.0250	0.0250
D	0.0901	0.0977	0.1058	0.0250	0.1850	0.0250
E	0.0250	0.0250	0.0250	0.2437	0.0250	0.1850
F	0.1077	0.0250	0.1023	0.0250	0.2437	0.0250

Tabel 7. Banyak *Pheromone* iterasi III

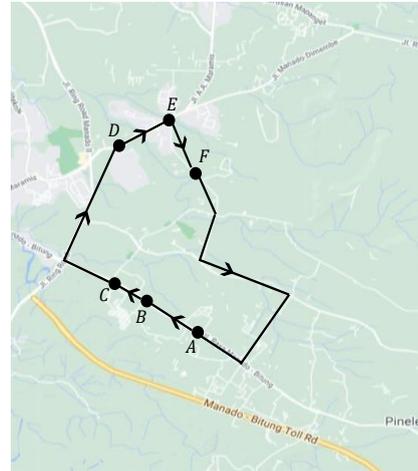
τ	A	B	C	D	E	F
A	0.0125	0.2934	0.0885	0.0125	0.0125	0.0973
B	0.0125	0.0125	0.1938	0.1027	0.0125	0.1828
C	0.2818	0.0885	0.0125	0.1090	0.0125	0.0125
D	0.0885	0.0973	0.1068	0.0125	0.1991	0.0125
E	0.0125	0.0125	0.0125	0.2676	0.0125	0.2476
F	0.1090	0.0125	0.1027	0.0125	0.2676	0.0125

Tabel 8. Banyak *Pheromone* iterasi IV

τ	A	B	C	D	E	F
A	0.0063	0.3072	0.0877	0.0063	0.0063	0.0971
B	0.0063	0.0063	0.2005	0.1028	0.0063	0.1887
C	0.2432	0.0877	0.0063	0.1096	0.0063	0.0063
D	0.0877	0.0971	0.1073	0.0063	0.2062	0.0063
E	0.0063	0.0063	0.0063	0.2796	0.0063	0.2304
F	0.1096	0.0063	0.1028	0.0063	0.2796	0.0063

Dari tabel 5 sampai tabel 8 terlihat bahwa terjadi perubahan nilai *Pheromone* dari setiap iterasi dimana jalur yang sering dilalui semut akan terjadi peningkatan nilai *Pheromone* sedangkan jalur yang jarang dilalui semut terjadi pengurangan nilai *Pheromone*. Karena tingkat iterasinya sudah terbilang konvergensi maka sudah tidak diperlukan iterasi berikutnya.

Berdasarkan gambar 5 dengan penyelesaian metode *ACO* rute perjalanan yang akan dilalui yaitu perjalanan berawal dari (A) PT. Tirta Investama- DC. AQUA menuju (B) Indomaret Maumbi menuju(C) Indomaret Raya Maumbi menuju (D) Indomaret Paniki Bawah menuju (E) Indomaret Hybrid Paniki Satu menuju (F) Indomaret Paniki Atas kemudian kembali ke (A) PT. Tirta Investama- DC. AQUA dengan panjang jalur pendistribusian yakni 18,14 Km.



Gambar 5. Graf Hasil Penelitian

Berdasarkan gambar 6 Lintasan terpendek menurut *Google Maps* dengan penentuan jarak menjadi 19,6 Km lebih panjang jalur pendistribusian dibandingkan dengan penentuan jalur pendistribusian berdasarkan Algoritma *Ant System* lebih pendek.



Gambar 6. Hasil Google Maps

Tabel 9 merupakan ilustrasi menemukan jalur pendistribusian dari lokasi perusahaan dengan mempertimbangkan akses jalan dengan bobot yang terbagi dari 3 kategori bobot mengingat jalur yang ditentukan pada tabel 1 tidak memiliki kendala maka ilustrasi ini menjelaskan jika jalur tersebut memiliki kendala dalam akses jalan.

Tabel 9. Bobot Akses Jalan

d	A	B	C	D	E	F
A	0	1	1	1	0	1
B	1	0	1	1	0	1
C	1	2	0	2	0	1.5
D	1	1	1	0	1	2
E	0	0	0	1.5	0	2
F	1.5	1.5	1	1	1	0

Kategori bobot bernilai 1 yaitu jalan dengan akses paling mudah (jalan tidak macet dan jalan tidak rusak), kategori bernilai 1.5 yaitu jalan dengan akses jalan sedang (macet dan jalan tidak rusak), dan kategori bernilai 2 yaitu jalan dengan akses paling sulit (macet dan jalan rusak)

Tabel 10. Bobot Graf

d	A	B	C	D	E	F
A	0	1.17	1.79	12.25	0	6.80
B	1.17	0	0.62	8.02	0	4.97
C	1.79	1.24	0	12.30	0	5.93
D	12.25	8.02	6.15	0	1.30	18.50
E	0	0	0	1.95	0	4.20
F	10.20	7.46	3.95	9.25	2.10	0

Perhitungan akan dilanjutkan berdasarkan Tabel 10 dengan perjalanan semut hanya saja ada penambahan bobot.

4. PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kesimpulan, bahwa jalur terpendek pendistribusian air mineral dari PT. Tirta Investama- DC. AQUA ke PT. Tirta Investama- DC. AQUA adalah dengan menggunakan metode *Ant Colony Optimization*, diperoleh jalur terpendek adalah perjalanan berawal dari (A) PT. Tirta Investama- DC. AQUA menuju (B) Indomaret Maumbi menuju (C) Indomaret Raya Maumbi menuju (D) Indomaret Paniki Bawah menuju (E) Indomaret Hybrid Paniki Satu menuju (F) Indomaret Paniki Atas kemudian kembali ke (A) PT. Tirta Investama- DC. AQUA dengan panjang jalur 18,14 Km lebih pendek dari panjang jalur pendistribusian menggunakan google maps yaitu 19,60 Km.

REFERENSI

- [1] Dorigo, M., & Gambardella, L. M. 1997. Ant colonies for the travelling salesman problem. *biosystems*, 43(2), 73-81.
- [2] Dorigo, M., Maniezzo, V., & Colorni, A. 1996. Ant system: optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 26(1), 29-41.
- [3] Karjono., Moedjiono., & Denni, K. 2016. "Ant colony optimization". *Jurnal Basic Science And Technology*. Malang.
- [4] Kotler. 2002. *Manajemen Pemasaran Jilid 1*. Edisi Milenium, Prehallindo. Jakarta.
- [5] Kusriani, K., & Istiyanto, J. E. 2007. Penyelesaian Travelling Salesman Problem dengan Algoritma Cheapest Insertion Heuristics dan Basis Data. *Jurnal Informatika*, 8(2), 109-114.
- [6] Leksono, A., & Sarwadi, S. 2009. Algoritma Ant Colony Optimization (ACO) Untuk Menyelesaikan Traveling Salesman Problem (TSP). (Doctoral dissertation, Mathematics and Natural science).
- [7] Munir, R. 2010. *Matematika Diskrit*. Edisi ke-3. Informatika, Bandung.
- [8] Nurharyanto, N., & Perdana, S. 2021. Menentukan Rute Distribusi Di PT Sinar Harapan Plastik Dengan Metode Algoritma Ant Colony Optimization. *IKRA-ITH TEKNOLOGI: Jurnal Sains & Teknologi*, 5(1), 68-77.
- [9] Prasetyo, V. Z. 2013. Penerapan Algoritma Dijkstra Untuk Perutean Adaptif Pada Jaringan

Pendistribusian Air PDAM di Kabupaten Demak (Doctoral dissertation, Universitas Negeri Semarang).

- [10] Santosa, B., & Willy, P. 2011. *Metoda Metaheuristik konsep dan implementasi*. Guna Widya, Surabaya.
- [11] Wardy, I. S. 2007. *Penggunaan Graph Dalam Algoritma Semut Untuk Melakukan Optimisasi*. Program studi Teknik Informatika, ITB, Bandung.

Debora E. A. Manuputty

(17101103051@student.unsrat.ac.id)



Lahir di Ambon pada tanggal 04 Oktober 1999. Menempuh pendidikan tinggi Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Sam Ratulangi Manado. Tahun 2021 adalah tahun terakhir ia menempuh studi. Makalah ini merupakan hasil penelitian skripsinya yang dipublikasikan.

Christie E. J. C. Montolalu

(christelly@unsrat.ac.id)



Lahir tanggal 10 Desember 1985. Pada tahun 2007 memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di Universitas Sam Ratulangi Manado. Gelar Master Of Science (M.Sc) diperoleh dari University Of Queensland Australia pada tahun 2015. Bekerja di UNSRAT di Program Studi Matematika sebagai pengajar akademik tetap UNSRAT.

Tohap Manurung

(tohapm@unsrat.ac.id)



Lahir pada tanggal 24 Desember 1979. Pada tahun 2003 mendapatkan gelar Sarjana Sains (S.Si). yang diperoleh dari Universitas Sumatera Utara. Gelar Magister Sains (M. Si) diperoleh dari Institut Teknologi Bandung pada 2010. Ia bekerja di UNSRAT di Program Studi Matematika sebagai pengajar akademik tetap UNSRAT.