

Aplikasi *Travelling Salesman Problem* dengan *Ant Colony Optimization* untuk Pemilihan Rute Kendaraan Antar Jemput Siswa

Ahadi Ihsan Rasyidin 13518006
Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia
13518006@std.stei.itb.ac.id

Abstract—TSP atau *Travelling Salesman Problem* adalah permasalahan matematika yang berfokus pada optimisasi kasus dan sering digambarkan dalam struktur graf. TSP bertujuan untuk mencari rute termurah, terpendek, dan tercepat dari solusi permasalahan. *Ant Colony Optimization* merupakan salah satu algoritma yang dapat digunakan untuk mencari solusi dari TSP. Makalah ini akan membahas bagaimana *Travelling Salesman Problem* dapat dipecahkan dengan *Ant Colony Optimization* dalam implementasinya untuk memilih rute terbaik yang dapat ditempuh kendaraan antar jemput siswa.

Keywords—TSP, *Travelling Salesman Problem*, ACO, *Ant Colony Optimization*, Graf, Simpul, Kendaraan antar jemput .

I. PENDAHULUAN

Kendaraan antar jemput siswa merupakan fasilitas yang disediakan oleh beberapa sekolah untuk siswanya. Kendaraan ini harus menjemput siswa di berbagai titik penjemputan atau rumah yang telah ditentukan. Kendaraan ini akan beroperasi dua kali yaitu ketika siswa berangkat dan pulang sekolah. Dengan banyaknya titik penjemputan yang ada menyebabkan sopir harus memperhitungkan dengan baik rute mana yang harus di pilih sehingga waktu dan jarak yang ditempuh menjadi minimal dan optimal. Hal tersebut disebabkan adanya batasan waktu operasi yaitu sebelum tanda proses belajar dimulai dan keinginan pihak sekolah untuk menghemat biaya bahan bakar yang digunakan.

Semakin banyak bahan bakar yang digunakan tentu semakin besar biaya yang harus dikeluarkan. Biaya yang semakin besar ini tentu akan menjadi beban bagi siswa yang menggunakan fasilitas antar jemput. Dengan keadaan yang demikian sudah tentu harus dilakukan inovasi yang dapat menemukan rute perjalanan paling optimal, sehingga biaya yang dikeluarkan menjadi minimal.

Rute optimal secara sederhana dapat dikatakan sebagai rute dengan jarak tempuh terkecil tetapi dapat mencakup semua titik penjemputan yang ada. Rute dengan jarak tempuh terpendek ini dapat dicari dengan berbagai macam cara. Secara konvensional rute ini dapat di temukan dengan percobaan berulang untuk menemukan semua kemungkinan rute yang ada dan membandingkan jarak serta waktu tempuhnya. Hal ini tentu

memakan waktu yang cukup banyak dan melelahkan. Cara ini juga memakan biaya yang tidak sedikit karena setiap kendaraan harus mencoba semua rute dan kombinasinya.

Terdapat cara yang dapat dikatakan lebih efisien dari cara konvensional yaitu dengan pendekatan heuristik. Cara ini menggunakan perhitungan peluang terhadap kemungkinan yang ada. Perhitungan ini dilakukan pada setiap percabangan jalan dengan memperhatikan parameter-parameter yang diketahui. Walaupun cara ini membutuhkan pemikiran dan perhitungan yang lebih dalam tetapi menjanjikan hasil yang lebih memuaskan.

Travelling Salesman Problem merupakan permasalahan klasik dalam kehidupan yang erat analoginya dengan permasalahan pemilihan rute kendaraan antar jemput siswa. TSP menjadi persoalan matematika sejak tahun 1800 yang kemudian direpresentasikan dengan struktur graf. TSP menceritakan seorang sales yang harus berjalan ke beberapa kota berbeda. Dia tidak memperdulikan berapa lama dia berada dalam satu kota. Dalam hal ini yang menjadi pertimbangan adalah jarak antar kota yang mempengaruhi biaya dan waktu perjalanan sales tersebut. Setiap kota bertindak sebagai simpul dalam graf dan saling terhubung satu sama lain. Representasi graf yang digunakan adalah graf lengkap dengan sisi yang merepresentasikan jarak atau biaya transportasi. Solusi dari TSP harus merupakan rute terpendek dan teroptimal dari semua kemungkinan rute yang ada. Banyak cara yang dapat dilakukan untuk mendapatkan solusi dari TSP, namun cara yang ada tidak efisien jika digunakan untuk pemecahan TSP yang kompleks.

Ant Colony Optimization yaitu algoritma yang terinspirasi dari aktifitas koloni semut ketika mencari makanan. Secara alami koloni semut dapat menemukan jalur terpendek dari sarangnya menuju sumber makanan. Rute tersebut didapatkan dengan mengikuti jejak feromon yang ditinggalkan semut ketika melakukan perjalanan. Diawal pencarian semut akan berjalan secara acak mencari sumber makanan. Setelah itu semut akan kembali ke sarang dan memberi informasi sumber makanan kepada koloninya. Semut lain akan mengikuti jejak feromon yang ditinggalkan semut pioneer diawal pencarian. Suatu saat akan ada semut yang tidak sengaja menemukan rute terpendek dari semua rute yang ada. Semut ini akan melakukan perjalanan lebih cepat daripada semut lainnya. Hal itu menyebabkan semut

dengan rute tercepat dapat melakukan iterasi perjalanan lebih banyak dibandingkan semut lainnya. Semakin sering suatu rute dilalui semut semakin jelas jejak feromon yang dihasilkan. Kemudian semut akan mengikuti rute dengan jejak feromon terkuat. Saat itulah semua koloni melalui rute terpendek yang telah ditemukan. Perilaku koloni semut ini yang kemudian dirumuskan sebagai *Ant Colony Optimization*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

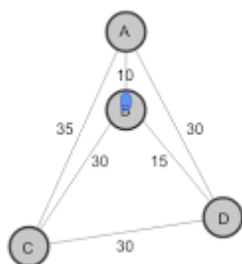
Travelling Salesman Problem adalah permasalahan mencari jalur terpendek untuk pergi dari suatu kota ke kota lain untuk kembali ke kota asal. TSP memberikan permasalahan bagaimana seseorang dapat mengunjungi setiap kota yang ada tepat satu kali dengan jarak tempuh yang direpresentasikan dengan biaya terendah. Prinsip TSP digunakan dalam dunia industri yang memerlukan pendistribusian logistic kebanyakan.

Pada dasarnya TSP sangat mudah dipahami dengan konsep konvensional. Yaitu dengan mencoba semua kemungkinan yang didapat. Kemungkinan tersebut yaitu semua kombinasi urutan kunjungan ke kota-kota yang terdapat dalam graf. TSP adalah graf lengkap maka semua kemungkinan yang ada berjumlah $(n!)$.

Dari rumus yang demikian maka untuk permasalahan TSP yang besar kemungkinan yang ada juga akan semakin banyak. Hal ini menjadi tidak mungkin untuk dilakukan perhitungan secara konvensional dengan metode enumerasi seperti uraian diatas.

TSP berbeda dengan sirkuit Hamilton. Perbedaan ini dapat dilihat bahwa sirkuit Hamilton hanya memberikan informasi terdapat jalur yang memungkinkan mengunjungi satu kota tepat sekali, sedangkan TSP merupakan graf lengkap berbobot yang sudah pasti memiliki lebih dari satu sirkuit Hamilton. TSP bertujuan mencari sirkuit Hamilton dengan jarak terpendek dari sekian kemungkinan yang ada.[1]

Graf secara sederhana terdiri dari simpul dan sisi. Simpul-simpul yang ada terhubung oleh sisi baik berarah maupun tidak. Graf lengkap yaitu graf yang setiap simpulnya mempunyai sisi ke setiap simpul lain. Setiap graf lengkap merupakan graf Hamilton.[2]



Gambar 1. graf TSP

Graf memiliki representasi yang beragam. Graf yang digunakan dalam implementasi TSP yaitu graf lengkap berbobot. Graf ini mempunyai simpul yang terhubung dengan semua simpul lain yang terdapat dalam graf. Simpul satu dengan yang lain terhubung dengan sisi yang memiliki nilai. Nilai ini merepresentasikan jarak atau biaya yang dibutuhkan untuk

berkunjung dari satu simpul atau kota ke kota lainnya.

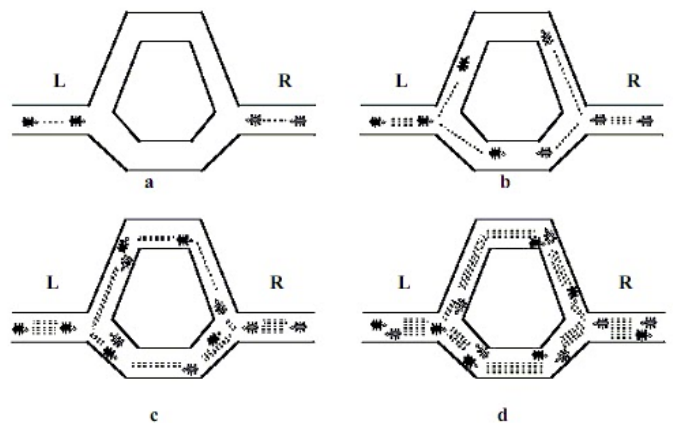
Dalam penyelesaian permasalahan TSP terdapat dua jenis metode yang biasa digunakan. Metode tersebut yaitu metode enumerasi dan metode heuristic. Pada praktiknya metode enumerasi menjadi tidak efisien dan memakan waktu lama. Metode enumerasi hanya cocok digunakan pada permasalahan TSP sederhana. Sampai sekarang belum ditemukan algoritma *brute force* enumerasi yang efektif untuk kasus kompleks. Enumerasi yaitu pencarian solusi dengan mencari semua kemungkinan sirkuit Hamilton dan membandingkan masing masing jarak yang didapatkan. Jarak terpekecil menandakan rute tersebut solusi dari TSP yang ada.

Ant Colony Optimization adalah algoritma *heuristic* yang digunakan dalam kasus-kasus optimisasi. Salah satu contoh penerapan algoritma ACO yaitu pencarian jalur terpendek. Semut berkomunikasi dengan media lingkungan sekitar. Di alam feromon yang ditinggalkan semut menjadi salah satu alat komunikasi semut yang paling kuat.

ACO sebagai algoritma yang hadir dari alam memberikan hasil yang lebih optimal daripada cara konvensional. ACO bekerja sesuai terminology koloni semut yang berkomunikasi dengan feromon. Feromon ini dihasilkan oleh kaki kaki semut dan menjadi jejak ketika semut berjalan kemanapun.

Pada dasarnya semut akan berjalan secara acak ketika tidak ada jejak feromon pada suatu daerah tertentu. Pergerakan acak ini dimaksudkan untuk menyisir wilayah dan mencari sumber makanan. Jejak feromon yang ditinggalkan menjadi semakin kuat ketika semakin sering daerah tersebut dilalui semut.

Pada komunikasi dengan feromon semut yang berada disekitar jejak feromon akan mengikuti alur rute yang terbentuk sebelumnya. Selama semut mengikuti rute tersebut feromon juga dikeluarkan dari semut itu, sehingga jejak feromon semakin kuat. Sebaliknya jalur yang memiliki rute panjang tidak akan dilalui oleh semut berikutnya. Hal ini menyebabkan kadar jejak feromon yang ada menipis dan lama kelamaan hilang.



Gambar 2. Kebiasaan semut dalam mencari rute

Sumber:

<https://rofiqfikom.files.wordpress.com/2012/04/img.jpg>

Pada gambar 1.a dapat di informasikan jalur yang akan dilalui semut memiliki percabangan dengan salah satu cabang merupakan rute terpendek. Disini semut akan memulai proses pengambilan keputusan rute mana yang harus dia ambil. Pada awalnya semut secara acak akan melalui kedua jalur dengan

kemungkinan 50 per 50 seperti pada gambar 1.b. Kondisi ini tidak akan bergantung lama. Semut pada jalur bagian bawah dimana jalur tersebut memiliki jarak yang lebih pendek dari jalur lainnya, pergerakan semut menjadi lebih cepat dan menjadi lebih sering melalui jalur bagian bawah. Jika dimisalkan jarak jalur bawah setengah kali jarak jalur atas dan jika dalam satu detik terdapat 10 semut yang melalui jalur bawah, maka hanya ada 5 semut yang melalui jalur atas. Kondisi lalu lintas yang semakin padat dibagian bawah menyebabkan feromon meningkat pesat di jalur bawah. Pada tahap selanjutnya feromon pada jalur bawah semakin kuat dan sebaliknya dengan ditinggalkannya jalur atas maka feromon yang ada menjadi lemah. Pelemahan ini terjadi karena semut yang melintas melalui jalur atas semakin sedikit dan hamper tidak ada. Dengan tanpa penguatan ulang tentunya feromon akan menguap dan hilang. Hal ini mendorong koloni untuk hanya melewati jalur bawah saja. Meskipun pada awal ekspedisi semut berjalan pada jalur yang acak, pada suatu ketika akan memilih jalur stabil dengan rute terpendek yang ada. Aktifitas ini yang kemudian dirumuskan menjadi sebuah algoritma pencarian rute yang cukup efektif sampai saat ini. Penemuan jalur terpendek ini bukan meruokan hal yang disengaja bagi semut. Hal ini merupakan suatu ketidak sengaja yang menimbulkan aktifitas iterasi lebih cepat terjadi karena jalur yang pendek.

Pada implementasinya terhadap permasalahan TSP beberapa semut yang direpresentasikan sebagai agen akan ditempatkan pada sebuah kota. Permulaan tahap diawali di satu buah kota, berbeda dengan pencarian rute terpendek biasa yang penempatan semut-semut dilakukan secara acak disebuah kota. Semut tersebut kemudian akan bergerak untuk membentuk sirkuit Hamilton. Sirkuit Hamilton yaitu setiap simpul hanya boleh dialalui satu kali. Saat berpindah dari satu kota ke kota lain semut akan meninggalkan jejak feromon. Jejak yang sangat berguna bagi semut untuk berkomunikasi dalam pencarian rute ke sumber makanan. Penambahan atau jejak ini disebut local updating pada sisi graf untuk kasus TSP. Setelah beberapa kali iterasi dan salah satu semut telah menemukan rute terpendek. Maka rute itu akan dilalui oleh semut lainnya secara masal. Rute terpendek yang dilalui semut untuk kembali ke kota asal kemudian dicatat. Kemudian akan dilakukan global updating pada semua sisi sesuai rute yang telah dilalui. Global updating merupakan penambahan feromon dengan jumlah penambahan berbanding terbalik dengan jarak tempuh rute yang tercatat.

Dalam perjalanan menemukan rute semut-semut itu hanya diperbolehkan mengunjungi suatu kota tepat satu kali dan semua kota harus dikunjungi, sesuai dengan aturan sirkuit Hamilton. Jadi tidak ada nada pengulangan kunjungan terhadap satu kota atau kasus dimana kota yang sama dikunjungi berkali kali. Kota dengan jarak terpendek merupakan kota yang kemudian memiliki kemungkinan terbesar kunjungan selanjutnya. Pertimbangan lain adalah ketika sisi yang menghubungkan dua kota memiliki kandungan feromon yang lebih banyak maka semakin besar sisi tersebut akan dipilih oleh semut untuk dilalui. Setiap iterasi dilakukan, feromon pada sisi akan berubah secara global berbanding terbalik dengan jumlah jarak. Sehingga dalam prosesnya agen ini harus memiliki memori berapa jarak yang telah ditempuh dan kota mana saja yang telah dikunjungi.

Dalam implementasi pada Bahasa pemrograman semut-semut ini dapat dengan mudah dibuat dengan tipe bentukan baru yang mengandung semua informasi yang diperlukan. Informasi ini kemudian diupdate setiap saat iterasi terjadi.

Pemilihan rute yang dilakukan oleh agen didasari dengan perhitungan kemungkinan. Perhitungan ini didapat dengan membandingkan jarak antara dua sisi atau lebih untuk mencari sisi terpendek untuk menuju kota selanjutnya dan menggunakan formula probabilitas feromon. Dua probabilitas ini digunakan secara bersamaan. Dengan perhitungan yang tepat rute terpendek akan ditemukan dengan mudah.

$$P_{ij}^k = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum [\tau_{ik'}]^\alpha \cdot [\eta_{ik'}]^\beta}$$

- τ_{ij} = feromon pada sisi antara simpul i dan j,
- α = pengaruh feromon (τ_{ij}) terhadap pengambilan keputusan agen,
- η_{ij} = variable jarak, semakin panjang jarak semakin kecil (η_{ij}),
- β = pengaruh jarak (η_{ij}) terhadap pengambilan keputusan semut,
- p_{ij} = peluang semut dari i menuju j.

Dengan formula diatas agen akan menentukan kota mana yang akan dituju selanjutnya. Dengan urutan yang telah diuraikan diatas agen akan menemukan rute terpendek dari semua rute yang ada.

Perbedaan TSP dengan proses pencarian rute terpendek diatas yaitu terdapat pada titik mulai agen dilepas. Pada TSP agen dilepas pada satu titik yang sama dan kembali ke titik awal. Karena kedua proses merupakan sirkuit Hamilton maka ACO dapat digunakan sebagai algoritma dalam penyelesaian permasalahan TSP.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Dorigo dan Gambardella ACO memiliki waktu komputasi yang lebih singkat saat dilakukan simulasi terhadap permasalahan TSP dibandingkan dengan algoritma lain. Dari penelitian ini juga didapatkan informasi bahwa untuk kasus sederhana tidak terdapat perbedaan berarti dalam hal waktu komputasi untuk ACO dengan algoritma lainnya. ACO efektif untuk kasus TSP rumit.

Dalam implementasi ACO terdapat beberapa tahap yang harus dilakukan. Tahapan ini menjadi aturan dasar yang menjadikan ACO tetap optimal.

Aturan perpindahan, prinsip dasar implementasi ACO tentang perpindahan dan pengambilan keputusan adalah berdasarkan probabilitas yang dihasilkan oleh formula. Berdasarkan prioritas jarak yang ada dan kadar feromon yang terkandung.

Aturan Global updating, prinsip yang digunakan adalah untuk menjaga agar tidak ada rute yang memiliki begitu banyak feromon sehingga mengakibatkan semua semut melalui rute itu bahkan ketika rute tersebut bukan rute terpendek. Dengan demikian penting adanya aturan global updating ini

Aturan Local updating rule ini mengatur seberapa banyak setiap semut akan meninggalkan feromon untuk setiap jalur yang dilaluinya. Kadar yang tepat menghasilkan keseimbangan dimana rute terpendek akan menjadi benar benar valid.

Pengaturan parameter, besaran alpha dan beta yang tepat akan menghasilkan kombinasi yang tepa tantara pengaruh jarak dan kadar feromon. Dengan malkukan kalibrasi parameter rute terpendek akan semain cepat didapat.

III. RUTE KENDARAAN ANTAR JEMPUT SISWA

Dalam penyelesaian permasalahan rute terpendek kendaraan antar jemput siswa dengan TSP maka diperlukan representasi graf lengkap berbobot. Konversi ini dilakukan dengan menganalogikan kondisi yang ada dengan elemen-elemen graf yang diinginkan.

Kendaraan antar jemput siswa merupakan fasilitas yang dimiliki sekolah sebagai penunjang transportasi siswanya. Kendaraan ini merupakan sarana dan prasarana milik sekolah. Dengan definisi tersebut dapat diasumsikan bahwa kendaraan antar jemput siswa akan memulai perjalanan dari sekolah. Hal ini dianalogikan sama dengan kota asal dalam terminologi *Travelling Salesman Problem*.

Ketika semua titik penjemputan telah selesai kendaraan akan kembali ke sekolah bersama dengan para siswa. Kembalinya kendaraan ke sekolah juga dapat dianalogikan sebagai kota akhir terminologi graf. Dengan demikian sekolah berperan sebagai kota awal dan kota akhir permasalahan Tsp ini.

Kendaraan antar jemput siswa berperan sebagai agen atau semut dalam terminologi ACO dan TSP. Kendaraan ini kemudian akan melakukan penjemputan ke titik penjemputan yang telah ditetapkan. Yang sama analoginya dengan melakukan kunjungan ke setiap kota yang ada. Titik penjemputan ini dapat berupa suatu tempat yang telah disepakati atau rumah dari masing masing siswa. Titik-titik penjemputan ini kemudian dianalogikan sebagai simpul dalam terminologi TSP. simpul simpul ini yang harus dikunjungi agen tepat satu kali dan semua simpul harus berhasil dikunjungi.

Terdapat banyak jalan yang dapat dilalui kendaraan antar-jemput untuk menuju titik penjemputan. Pada kasus ini semua titik memiliki jalan yang menghubungkan ke titik-titik yang lain. Jalan yang tersedia memiliki jarak yang berbeda bergantung pada posisi titik penjemputan. Dalam graf terdapat sisi yang menghubungkan dua simpul. Jalan merupakan sisi yang menghubungkan dua titik penjemputan. Pada hal ini jalan dianalogikan dengan sisi pada graf dan panjang jalan menjadi bobot dari sisi. Bobot ini yang kemudian menjadi salah satu parameter penentuan peluang agen atau kendaraan untuk melalui jalan tersebut.

Pada kendaraan kini telah terpasang alat khusus yang akan menandai titik mana yang telah dikunjungi dan titik mana yang dapat dikunjungi selanjutnya. Dalam perjalanan dari satu titik ke titik lain alat ini akan memberikan tanda pada peta setiap jalan yang telah dilalui. Tanda ini dianalogikan sebagai feromon dalam terminologi ACO.

IV. PENCARIAN RUTE

Semua elemen yang dibutuhkan telah dianalogikan. Dalam tahap awal proses inisialisasi titik penjemputan dan semua jalur yang menghubungkan dapat dilakukan dengan berbagai macam cara. Pencarian rute terpendek bagi kendaraan antar jemput

siswa dimulai dengan tahap awal yaitu pemilihan jalan secara acak. Hal ini dimaksudkan sebagai langkah inisialisasi posisi titik dan jarak yang dapat ditempuh dari masing masing titik ke titik lainnya. Dalam kasus yang sesungguhnya tahap ini dapat dilakukan dengan observasi peta. Tujuan utama tahap ini untuk mengetahui posisi titik penjemputan dan semua jalan yang mungkin menghubungkan setiap titik yang ada. Data kemudian dicatat untuk diproses dalam tahap selanjutnya. Data yang ada di olah dengan represents graf lengkap berbobot. Dengan simpul sebagai tiik penjemputan dan sekolah, jalan sebagai sisi, dan jarak sebagi bobot dari sisi. Pada kasus ini pemecahan TSP menggunakan algoritma ACO jadi setiap sisi kemudian diberikan atribut kadar feromon. Kadar ini akan di berubah selam tahapan selanjutnya berlangsung.

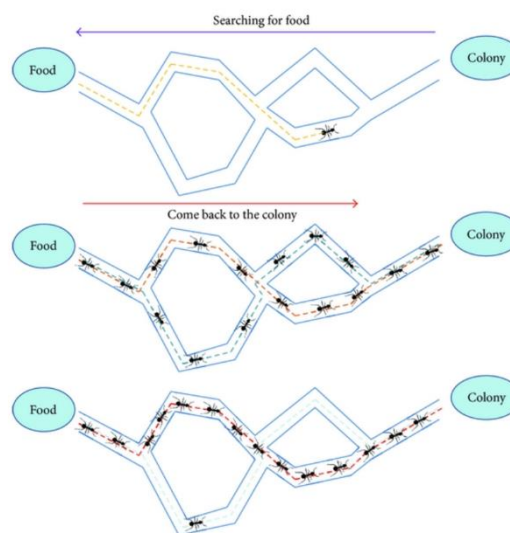
Tahap selanjutnya adalah simulasi TSP ACO dengan program computer sehingga mendapatkan konfigurasi rute terpendek yang dapat digunakan kendaraan antar jemput siswa. Penggunaan program computer dimaksudkan untuk mempercepat proses perhitungan karena dilakukan secara otomatis. Contoh pseudocode dari program yaitu:[3]

```

procedure ACO {
  Inisialisasi();
  while(EOP) {
    NextSimpul();
    HitungJarak();
    UpdateMem();
    UpdateLokal();
  }
  UpdateGlobal();
}

```

Program dimulai dengan inisialisasi yaitu proses untuk mengenali posisi titik dan jarak titik penjemputan satu ke yang lain. Proses ini dapat dilakukan dengan intrepetasi peta.



Gambar 3. implementasi ACO

Berikutnya program akan melakukan looping sampai kondisi berhenti. Kondisi berhenti tercapai saat semut telah menumkan rute yang stabil dan diasumsikan sebagai rute terpendek. Didalam loopin program melakukan aturan perpindahan ke simpul

berikutnya kemudian menghitung jarak total. Jarak total tersebut kemudian disimpan dimemori. Sesuai prinsip ACO bahwa setiap sisi yang dilalui akan mengalami update local feromon maka program mengeksekusi hal tersebut. Setelah iterasi looping selesai program melakukan update global feromon.

Program akan terus berjalan sampai rute teroendek didapatkan. Dengan menggunakan program computer penggunaan algoritma ACO menjadi lebih mudah dan cepat.



Gambar 4. Observasi titik penjemputan pada peta

Sumber :

<https://twitter.com/graphhopper/status/737281566532063233>

Disini rute penjemputan terpendek telah didapat. Pada prinsipnya penggunaan TSP ACO untuk permasalahan rute penjemputan kendaraan antar jemput siswa dapat dilakukan dengan analogi seperti yang telah disebutkan diatas. Pemecahan masalah ini berdasarkan asumsi bahwa yang menjadi perhitungan adalah jarak tempuh dari kendaraan yang akan di buat sependek dan seefisien mungkin. Factor lain dalam perjalanan dan waktu yang dihabiskan pada setiap titik penjemputan diabaikan.

Data rute yang didapatkan kemudian didistribusikan untuk masing-masing kendaraan antar-jemput. Pendistribusian data ini dapat dilakukan dengan berbagai macam cara. Salah satunya dengan membuat peta rute yang dapat dijadikan sebagai pedoman bagi sopir. Selain itu data rute juga dapat dibuat sebagai gps tracking sehingga lebih memudahkan sopir untuk mengetahui rute mana yang harus dilalui.

V. KESIMPULAN

Belum ada algoritma enumerasi yang dapat menyelesaikan permasalahan *Travelling Salesman Problem* dengan efisien dan optimal. Hal ini membuat permasalahan ini terkenal sulit dalam implementasinya.

Dari uraian tentang *Travelling Salesman Problem* dengan *Ant Colony Optimization* untuk mencari rute terpendek kendaraan antar jemput siswa dapat disimpulkan bahwa Terminologi *Travelling Salesman Problem* dengan *Ant Colony Optimization* dapat digunakan untuk mencari rute terpendek yang dapat digunakan kendaraan antar jemput siswa saat melakukan penjemputan siswa di titik-titik penjemputan

VI. SARAN

Dalam penelitian selanjutnya dapat dibangun platform yang benar benar dapat secara otomatis mencari rute terpendek untuk kendaraan antar jemput siswa atau transportasi lain dengan analogi sejenis.

Memperjelas penjelasan tentang bagaimana program bekerja secara tahap per tahap. Dan memberikan contoh implementasi secara nyata.

VII. APENDIX

Kendaraan Antar Jemput siswa menjadi salah satu alternative pengurai kemacetan lalu lintas. Kendaraan ini dapat menjadi pilihan orang tua untuk transportasi anak ke sekolah. Dengan kendaraan antar jemout ini diharapkan angka kecelakaan lalu lintas turun.

Permasalahan pencarian rute terpendek telah diimplementasikan google dalam google maps. Implementasi ini dengan memperhitungkan jarak dan kecepatan mengemudi. Secara otomatis google akan menghitung estimasi waktu yang diperlukan untuk sampai pada suatu tujuan tertentu.

Ant Colony Optimization masih lebih baik dibandingkan algoritma genetic berdasarkan penelitian dari Dorigo dan Gambardella 1996.

Banyak algoritma heuristic lain yang dapat diimplementasikan untuk menyelesaikan permasalahan TSP. Algoritma prim salah satunya.

Dalam perkembangannya *Travelling Salesman Problem* menjadi permasalahan yang sulit dipecahkan dalam kelas implementasi graf.

VIII. ACKNOWLEDGMENT

Terima kasih kepada Allah SWT atas rahmat-Nya saya dapat menyelesaikan makalah ini. Terima kasih kepada ibu Fariska Zakhralativa Ruskanda, S.T., M.T. selaku dosen mata kuliah Matematika Diskrit. Dan terima kasih kepada orang terdekat saya yang telah mensupport dalam bentuk apapun.

REFERENCES

- [1] <https://www.geeksforgeeks.org/travelling-salesman-problem-set-1/> (accessed 06 Desember 2019)
- [2] Keijo Ruohonen, "*Graph Theory*", 2013.
- [3] Irfan Afif, "*Penyelesaian Traveling Salesperson Problem dengan Menggunakan Algoritma Semut*", ITB 2007.
- [4] http://www.scholarpedia.org/article/Ant_colony_optimization (accessed 06 Desember 2019)

- [5] Dorigo, M dan Gambardella, L.M., "*Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem*", Université Libre de Bruxelles Belgium, 1996.
- [6] I'ing Mutakhiroh, Indrato, Taufiq Hidayat, "*Pencarian Jalur Terpendek Menggunakan Algoritma Semut*", Laboratorium Pemrograman dan Informatika Teori, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 2007
- [7] Irfan Sofyana Putra, "*Solusi Permasalahan TSP dengan Dynamic Programming Bitmask dalam Bahasa C++*", Teknik Informatika ITB, 2017.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 6 Desember 2019



Ahadi Ihsan Rasyidin
13518006