

## Penerapan Algoritma *Ant Colony Optimization* dalam Menyelesaikan *Traveling Salesman Problem* (Studi Kasus: PT Kobe Boga Utama Kota Depok)

Muhamad Ilsa Aljabar, Amar Sumarsa, Maya Widyastiti\*

Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Pakuan, Bogor, Indonesia

\*Email Penulis Korespondensi: maya.widyastiti@unpak.ac.id

**Abstrak.** *Traveling salesman problem* (TSP) merupakan salah satu model penyelesaian proses distribusi. Masalah ini dapat dilihat sebagai kasus dimana seorang salesman harus mengunjungi sejumlah kota dari fasilitas terpusat dan kembali lagi ke kota awal sehingga total jarak atau biaya perjalanan dapat diminimalkan. Masalah ini merupakan masalah NP-Hard dalam optimasi. Sangat sulit untuk menyelesaikan masalah ini dengan menggunakan metode yang tepat. Biasanya diselesaikan dengan pendekatan heuristik. Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) merupakan metode meta-heuristik, yaitu algoritma yang menggunakan semut sebagai agen dengan update Pheromone dalam proses pencarian solusi secara efisien dan efektif. Dalam penelitian ini data yang digunakan adalah sebaran dari pengiriman PT Kobe Boga Utama ke outlet lain yang terbagi dalam 3 kecamatan di Kota Depok, yaitu Sawangan, Pancoran Mas, dan Cimanggis. Dimana total outletnya sebanyak 66, terdiri dari 20 outlet di kecamatan Sawangan, 24 outlet di kecamatan Pancoran Mas, dan 22 outlet di kecamatan Cimanggis. Dari hasil yang diperoleh optimasi terbaik adalah sebesar Rp. 64.044 (68,63%) pada kecamatan Sawangan, Rp. 61.006 (77,03%) pada kecamatan Pancoran Mas, dan Rp. 66.839 (61,65%) pada kecamatan Cimanggis.

Kata Kunci: *Ant Colony Optimization*; biaya; pendistribusian; *Traveling Saleman Problems*.

### *Application of the Ant Colony Optimization Algorithm in Resolving the Traveling Salesman Problem (Case Study: PT Kobe Boga Utama Depok City)*

**Abstract.** *The traveling salesman problem (TSP) is one of the models for solving the distribution process. This problem is viewed as a case in which a salesman must visit several cities from a centralized facility and return (return) to the initial city to minimize the total travel distance or cost. The traveling salesman problem is an NP-Hard class problem in optimization. It is very difficult to solve this problem using the exact method. Usually, it is solved by heuristic approaches. Ant Colony Optimization Algorithms (ACO) is a meta-heuristic method. Ant Colony Optimization (ACO) algorithms apply the ants as agents with an updated Pheromone in the search solution process efficiently and effectively. In this research, the data is the distribution from the PT Kobe Boga Utama delivering to other outlets, it is divided into 3 subdistricts in Depok City. There are Sawangan, Pancoran Mas and Cimanggis. Where the total number of outlets is 66 outlets, Sawangan has 20 outlets, Pancoran Mas has 24 outlets, and Cimanggis has 22 outlets. From the results obtained the best optimization is Rp. 64.044 (68.63%) in the Sawangan, Rp 61.006 (77.03%) in the Pancoran Mas, and Rp. 66.839 (61.65%) in the Cimanggis.*

Kata Kunci: *Ant Colony Optimization*; distribution; cost, *Traveling Salesman Problems*.

## PENDAHULUAN

Proses pendistribusian diartikan sebagai proses penyaluran, pembagian, atau pengiriman hasil dari produksi yang berupa barang atau produk yang akan disebarluaskan. Pendistribusian bertujuan untuk memudahkan menyalurkan barang hasil produksi kepada konsumen sehingga konsumen mendapatkan kebutuhan barang atau produk yang diperlukan dan dapat membelinya dengan mudah karena adanya pendistribusian tersebut. Proses pendistribusian produk atau barang tidak pernah lepas dari kegiatan industri dan bisnis. Permasalahan pendistribusian dalam dunia usaha menjadi pokok penting bagi keberlangsungan suatu perusahaan. Oleh karena itu, masalah pendistribusian memerlukan pertimbangan yang tepat karena berkaitan dengan jarak atau biaya atau waktu transportasi yang harus dikeluarkan sehingga dapat meminimumkan jarak atau biaya atau waktu pendistribusian.

Pada penelitian ini, permasalahan pendistribusian akan diterapkan di salah satu perusahaan yang bergerak di divisi *food service* (produksi makanan) yaitu PT. Kobe Boga Utama yang berada di kota Depok. PT. Kobe Boga Utama merupakan sebuah perusahaan yang memproduksi bumbu tumis siap pakai dengan penjualan terbesar di Indonesia yang terus berkembang dengan mengeluarkan berbagai macam varian produk bumbu dan tepung. PT. Kobe Boga Utama bermula pada tahun 1979 sebagai pelopor tepung bumbu di Indonesia. Pada pelaksanaannya, PT. Kobe Boga Utama memiliki bagian yang bertugas untuk melakukan pendistribusian agar produk tersebut dapat tersebar di masyarakat luas guna memenuhi kebutuhan bumbu siap pakai. PT. Kobe Boga Utama umumnya melakukan pendistribusian yang tersebar ke berbagai daerah seperti Bogor, Jakarta, Bekasi dan Depok serta kota-kota lainnya. Untuk daerah kota Depok terdapat 1.590 titik pendistribusian yang harus dikunjungi oleh PT. Kobe Boga Utama.

Saat ini, pihak perusahaan mengeluarkan biaya yang cukup besar dalam satu kali pendistribusian. Hal tersebut terjadi karena proses pendistribusian tidak menggunakan suatu program atau metode tertentu, dan masih menggunakan perhitungan jarak secara manual dengan penentuan tersendiri dari sopir atau petugas yang melakukan proses pendistribusian. Oleh karena itu, agar biaya distribusi yang dikeluarkan minimum dan jarak yang didapatkan lebih pendek, maka perlu dilakukan upaya perencanaan pendistribusian dengan metode tertentu. Kegiatan pendistribusian ini dapat dikategorikan sebagai jenis permasalahan yang dikenal pada *Traveling Salesman Problem*.

*Traveling Salesman Problem* (TSP) merupakan salah satu permasalahan penentuan rute optimal dimana konsumen hanya akan dikunjungi satu kali. Kegiatan pendistribusian akan dimulai dari depot dan akan kembali ke depot. TSP bertujuan mencari rute terpendek dari satu titik asal (depot) ke node-node yang dituju (konsumen). Permasalahan TSP dapat diselesaikan dengan metode eksak menggunakan *Integer Linear Programming*, maupun melalui metode pendekatan yaitu dengan metode *heuristic* ataupun metode *metaheuristic*.

*Ant Colony Optimization* (ACO) merupakan salah satu metode pendekatan berdasarkan kecerdasan berkelompok (*swarm intelligence*) yaitu perilaku koloni semut untuk mendapatkan solusi berupa rute terbaik. Optimasi koloni semut merupakan metode *meta-heuristic* yang digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi kombinatorial yang cukup sulit. Algoritma optimasi koloni semut diinspirasi dari perilaku semut dalam dunia nyata untuk membangun jarak terpendek antara sumber makanan dan sarangnya, yang kemudian diaplikasikan dalam mencari jalur terbaik dalam suatu permasalahan distribusi.

Beberapa penelitian yang membahas TSP dengan berbagai metode sudah banyak dikembangkan. Penyelesaian TSP menggunakan *Integer Linear Programming* telah dibahas dan diselesaikan dengan metode *Branch and Bound* [1]. Penelitian lainnya menyelesaikan masalah TSP dengan metode pendekatan lain yaitu algoritma genetika yang diterapkan pada pedagang perabot keliling di Kota Kupang [2]. Selain itu, penyelesaian TSP menggunakan jaringan Hopfield juga sudah pernah diteliti [3]. Penyelesaian TSP menggunakan algoritma semut dan Cheapest Insertion Heuristic juga sudah pernah diteliti [4]. Sedangkan Salsabila, dkk. [5] mengembangkan beberapa metode dalam menyelesaikan masalah TSP, yaitu dua metode heuristic berupa Particle Swarm Optimization (PSO) dan Ant Colony Optimization (ACO). Solusi yang diperoleh dibandingkan dengan metode eksak dalam bentuk Mixed Integer Linear Programming (MILP). Hasil penelitian tersebut menunjukkan waktu eksekusi PSO lebih baik dari ACO dan MILP, sedangkan ada perbedaan yang mencolok dari ketiga metode dalam hal total jarak perjalanan. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Rahardja [6] menerapkan algoritma Ant Colony Optimization dalam Traveling Salesman Problem untuk Rute Terpendek dengan hasil rute terpendek dari 34 lokasi dengan total jarak 10,18 kilometer. Selain itu, Silalahi [7] juga meneliti dalam menyelesaikan TSP menggunakan Ant Colony Optimization dan menghasilkan kesimpulan bahwa semakin besar kasus yang diselesaikan maka semakin lama pula waktu pelaksanaan yang diperlukan. Waktu eksekusi yang dihasilkan dari *ant colony optimization* jauh lebih cepat dari pada waktu eksekusi dari metode eksak. Selanjutnya, Buana [8] menggunakan metode *Ant Colony Optimization* dalam penyelesaian *Traveling Salesman Problem* dengan jarak optimal yang diperoleh sebesar 1522 km. Penelitian lainnya yang menggunakan algoritma Improved Ant Colony Optimization (IACO) dilakukan oleh Fadhillah [9] dengan hasil menunjukkan algoritma IACO lebih efektif dibandingkan ACO biasa. Pada penelitian ini, penerapan TSP menggunakan Ant Colony Optimization bertujuan untuk menentukan biaya terkecil dalam pendistribusian bumbu siap pakai ke tiga kecamatan di Kota Depok.

## METODE PENELITIAN

### A. Data

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari PT. Kobe Boga Utama tahun 2021 berupa data biaya perjalanan dari setiap outlet ke outlet lainnya di 3 kecamatan, yaitu kecamatan Sawangan, kecamatan Pancoran Mas, dan kecamatan Cimanggis. Banyaknya outlet yang dikunjungi di kecamatan Sawangan sebanyak 20 outlet, Pancoran Mas sebanyak 24 outlet, dan Cimanggis sebanyak 22 outlet.

### B. Metode

Tahapan analisis dalam pengaplikasian algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dalam *Traveling Salesman Problem* (TSP) pada pengiriman produk bumbu dan makanan siap saji di PT. Kobe Boga Utama adalah sebagai berikut:

1. Pada tahap pertama yaitu melakukan inisialisasi parameter ACO dengan memberikan nilai *feromon* awal sebesar  $\tau_0 = 0.01$  untuk semua jalur, lalu memberikan nilai  $\alpha$  yang berbeda yaitu dengan nilai  $\alpha = 0.5, 0.7$ , dan 1 kemudian insialisasi parameter nilai  $\beta = 2$  dan  $\rho = 0.5$ .

2. Membuat rute dengan menghitung peluang semua rute antar titik dimana aturan yang berlaku pada ACO yaitu seekor semut yang ditempatkan pada titik  $i$  memilih menuju ke titik  $j$  dengan rumus,  $P_{ij}^k$  adalah probabilitas dimana semut  $k$  memilih bergerak dari titik  $i$  ke titik  $j$  menggunakan rumus probabilitas yang ditunjukkan pada persamaan (1):

$$P_{ij}^k = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{j \in N_i^k} [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}, \text{ if } j \in N_i^k \quad (1)$$

dengan rumus invers jarak yang ditunjukkan persamaan (2) :

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

3. Hitung total jarak setiap semut yang dilewati semut Koloni semut akan meninggalkan jejak-jejak kaki pada rute antar kota yang dilaluinya. Adanya penguapan dan perbedaan jumlah semut yang lewat, menyebabkan kemungkinan terjadinya perubahan harga intensitas jejak kaki semut antar kota. Persamaan perubahannya dapat dilihat pada persamaan (3):

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad (3)$$

Dengan  $\Delta\tau_{ij}^k$  adalah perubahan harga intensitas *feromon* antar kota setiap semut yang dihitung berdasarkan persamaan (4):

$$\Delta\tau_{ij}^k = \frac{Q}{L_k} \quad (4)$$

Pilih rute terbaik dengan jarak total minimum dari hasil persamaan-persamaan tersebut.

4. Melakukan update *feromon global* setiap kali semut melakukan perpindahan agar setiap jalur yang dilewati tidak ada jalur yang mengalami penumpukan *feromon* sehingga dilakukan penguatan atau pengurangan *feromon* yaitu menggunakan persamaan (5):

$$\tau(i,j) \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau(i,j) + \rho \cdot \Delta\tau(i,j) \quad (5)$$

5. Perhitungan panjang rute tertutup atau  $L_K$  setiap semut dilakukan setelah satu siklus (iterasi) diselesaikan oleh semua semut. Perhitungan ini dilakukan berdasarkan  $tabu_k$  masing-masing dengan persamaan (6) :

$$L_K = d_{tabu_k(n), tabu_k(1)} + \sum_{j=1}^{n-1} d_{tabu_k(j), tabu_k(j+1)} \quad (6)$$

6. Algoritma dihentikan jika kriteria sudah tercapai, yaitu ketika jumlah iterasi telah tercapai.

7. Kembali ke langkah 2 apabila kriteria jumlah iterasi maksimal belum tercapai.

8. Menampilkan hasil yang didapatkan lintasan dengan biaya terkecil.

9. Mengaplikasikan model kedalam sintaks dengan menggunakan *software* MATLAB R2005a.

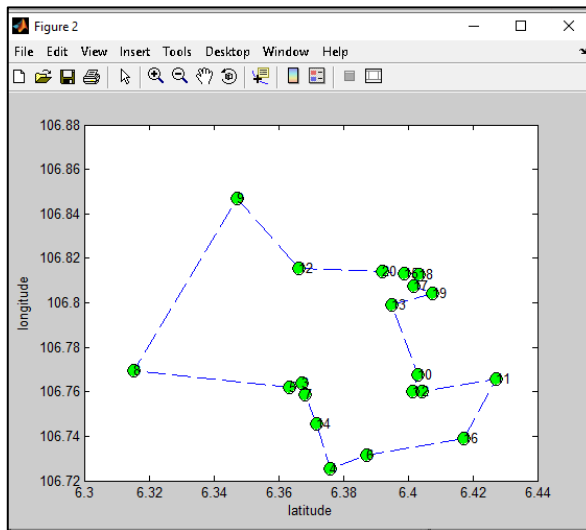
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan jarak pada TSP dengan menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dilakukan dengan bantuan *software* MATLAB R2005a. Nilai parameter  $\alpha$  dan  $\beta$  yang berbeda dengan nilai  $\alpha$  berada pada selang  $0 < \alpha \leq 1$  serta nilai  $\beta > 0$  yang dapat menghasilkan total biaya pendekatan terkecil. Setelah selesai membuat program sintaks algoritma ACO pada *software* MATLAB R2005a, lalu menampilkan output dengan solusi yang diperoleh dalam menyelesaikan TSP menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dengan ditentukan untuk nilai  $\alpha$  nya yaitu 0.5, 0.7, dan 1 untuk ketiga Kecamatan tersebut, dan untuk nilai  $\beta$  yaitu 2 dan nilai  $\rho$  yaitu 0.5 dengan hasil yang diperoleh untuk Kecamatan Sawangan kota Depok bisa dilihat pada Tabel 1 berikut :

**Tabel 1.** Perbandingan hasil pada Kecamatan Sawangan Depok dengan menggunakan beberapa parameter

Jumlah Iterasi	$\alpha$	$\beta$	Total Biaya Terkecil (dalam rupiah)
300	0,5	2	Rp. 64.044
300	0,7	2	Rp. 64.044
300	1	2	Rp. 64.044

Berdasarkan Tabel 1 menjelaskan bahwa setelah melakukan beberapa percobaan dengan nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  diperoleh total biaya pendekatan terkecil sebesar Rp. 64.044 dalam 300 iterasi, dengan gambar rute perjalanan yang bisa dilihat pada Gambar 1 berikut :



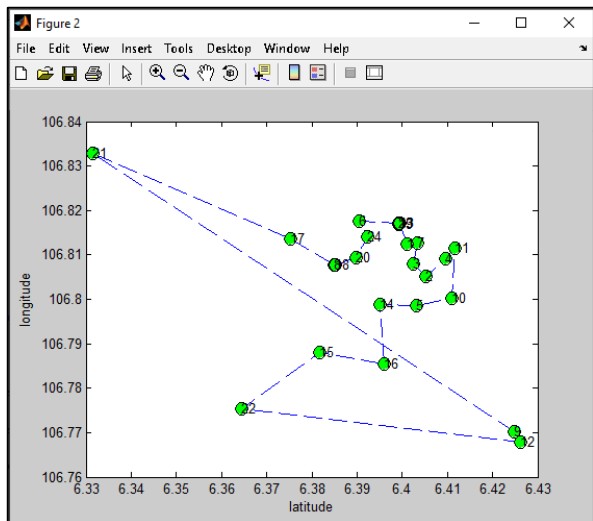
**Gambar 1.** Hasil Rute Pendistribusian di Kecamatan Sawangan

Berdasarkan gambar 11 memperlihatkan bahwa lintasan yang melalui setiap simpul dalam graf tersebut tepat satu kali dan kembali ke titik awal. Gambar graf tersebut menunjukkan rute perjalanan yang dilewati adalah 0 → 9 → 12 → 20 → 15 → 18 → 17 → 19 → 13 → 10 → 1 → 2 → 11 → 16 → 6 → 4 → 14 → 7 → 3 → 5 → 8 → 0 artinya rute perjalanan dimulai dari node 0 ke 9 dan berakhir di node ke 0 yang sebelumnya mengunjungi node 8. Hasil yang diperoleh untuk Kecamatan Pancoran Mas Kota Depok dapat dilihat pada Tabel 2 berikut :

**Tabel 2.** Perbandingan hasil pada Kecamatan Pancoran Mas dengan menggunakan beberapa parameter

Jumlah Iterasi	$\alpha$	$\beta$	Total Biaya Terkecil (dalam rupiah)
300	0,5	2	Rp. 61.009
300	0,7	2	Rp. 61.055
300	1	2	Rp. 61.006

Berdasarkan Tabel 2 menjelaskan bahwa setelah melakukan beberapa percobaan dengan nilai  $\alpha$  dan  $\beta$ , diperoleh total biaya pendekatan terkecil sebesar Rp. 61.006 dalam 300 iterasi, dengan gambar rute perjalanan yang bisa dilihat pada Gambar 2 berikut.



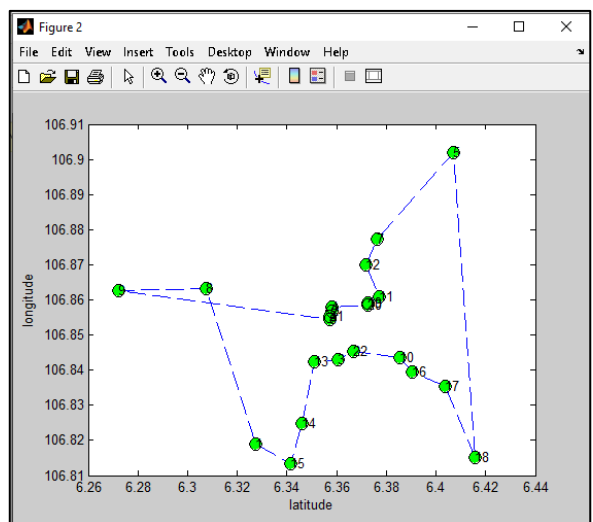
Gambar 2. Hasil Rute Pendistribusian di Kecamatan Pancoran Mas

Berdasarkan Gambar 2 memperlihatkan graf dengan lintasan Hamilton yang berarti merupakan lintasan yang melalui setiap simpul dalam graf tersebut tepat satu kali dan kembali ke titik awal. Gambar graf tersebut menunjukkan rute perjalanan yang dilewati adalah  $0 \rightarrow 17 \rightarrow 8 \rightarrow 18 \rightarrow 20 \rightarrow 24 \rightarrow 6 \rightarrow 23 \rightarrow 19 \rightarrow 13 \rightarrow 1 \rightarrow 7 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 11 \rightarrow 10 \rightarrow 5 \rightarrow 14 \rightarrow 16 \rightarrow 15 \rightarrow 22 \rightarrow 12 \rightarrow 9 \rightarrow 21 \rightarrow 0$  artinya rute perjalanan dimulai dari node 0 ke node 17 dan berakhir di node ke 21 baru selanjutnya Kembali ke node 0. Selain itu, hasil yang diperoleh untuk Kecamatan Cimanggis kota Depok bisa dilihat pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Perbandingan hasil pada Kecamatan Cimanggis dengan menggunakan beberapa parameter

Jumlah Iterasi	$\alpha$	$\beta$	Total Biaya Terkecil (dalam rupiah)
300	0,5	2	Rp. 66.839
300	0,7	2	Rp. 66.839
300	1	2	Rp. 66.839

Berdasarkan Tabel 3 menjelaskan bahwa setelah melakukan beberapa percobaan dengan nilai  $\alpha$  dan  $\beta$ , diperoleh total biaya pendekatan terkecil sebesar Rp. 66.839 dalam 300 iterasi, dengan gambar rute perjalanan yang bisa dilihat pada Gambar 3 berikut :



Gambar 3. Hasil Rute Pendistribusian di Kecamatan Cimanggis

Berdasarkan Gambar 3 memperlihatkan graf dengan lintasan Hamilton yang berarti merupakan lintasan yang melalui setiap simpul dalam graf tersebut tepat satu kali dan kembali ke titik awal. Gambar graf tersebut menunjukkan rute perjalanan yang dilewati adalah  $0 \rightarrow 18 \rightarrow 17 \rightarrow 16 \rightarrow 10 \rightarrow 22 \rightarrow 3 \rightarrow 13 \rightarrow 14 \rightarrow 15 \rightarrow 1 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 6 \rightarrow 21 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 20 \rightarrow 19 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow 7 \rightarrow 5 \rightarrow 0$  artinya rute perjalanan dimulai dari node 0 ke node 18 dan berakhir di node ke 5 dan selanjutnya kembali ke node 0.

### Perbandingan biaya pendistribusian

Berikut adalah perbandingan biaya pendistribusian yang dikeluarkan sebelum dan sesudah diselesaikan dengan menggunakan metode ACO yang diperlihatkan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Perbandingan biaya pendistribusian

Kecamatan	Biaya yang dikeluarkan (dalam rupiah)	
	Sebelum menggunakan ACO	Setelah menggunakan ACO
Sawangan	Rp. 108.000	Rp. 64.044
Pancoran Mas	Rp. 108.000	Rp. 61.006
Cimanggis	Rp. 108.000	Rp. 66.839

Berdasarkan Tabel 4 tersebut memperlihatkan biaya pendistribusian yang dikeluarkan setelah menggunakan metode ACO adalah lebih kecil dibandingkan biaya sebelum menggunakan metode ACO. Pada Kecamatan Sawangan saja diperoleh keuntungan dengan selisih biaya sebesar Rp. 43.956 atau 40,7%, kemudian untuk Kecamatan Pancoran Mas diperoleh keuntungan dengan selisih biaya sebesar Rp. 46.994 atau 43,513%, dan untuk Kecamatan Cimanggis diperoleh keuntungan biaya dengan selisih biaya sebesar Rp. 41.161 atau 38,112%. Dari hasil tersebut setelah dilakukan penyelesaian dengan metode ACO biaya pengeluaran hampir memperoleh keuntungan setengah dari biaya yang dikeluarkan tanpa menggunakan metode ACO.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian ini dapat dilihat bahwa penerapan metode ACO setelah melakukan percobaan dengan beberapa parameter yang berbeda tidak ada perubahan yang signifikan pada masing-masing hasil output yang didapatkan. Pada keadaan tersebut dalam masalah optimasi dapat dikatakan keadaan output transient, yang artinya output tidak akan berubah atau tidak banyak perubahan meskipun mengubah-ubah parameternya, sehingga untuk hasil yang diperoleh dapat dikatakan jawaban yang mutlak atau solusi yang terbaik dan berhasil melakukan optimisasi tanpa harus banyak melakukan konfigurasi. Hasil yang diperoleh pada permasalahan TSP PT. Kobe Boga Utama Kota Depok untuk tiga Kecamatan yang berada di kota Depok yaitu Kecamatan Sawangan diperoleh biaya terkecil perjalanan yaitu sebesar Rp. 64.044, Kecamatan Pancoran Mas sebesar Rp. 61.006, dan Kecamatan Cimanggis sebesar Rp. 66.839.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Sumarsa, M. Widyastiti, "Penerapan Traveling Salesman Problem with Time Windows dalam Pendistribusian Produk", pada Seminar Nasional Pendidikan Matematika Universitas Pattimura, Ambon, Maluku, Indonesia, 2023.
- [2] W. T. Ina, S. O. Manu, T. Y. Matahine, "Penerapan Algoritma Genetika pada Traveling Salesman Problem (TSP) (Studi Kasus: Pedagang Parabot Keliling di Kota Kupang)", *Jurnal Media Elektro*, vol. 8, no. 1, pp. 58-53, 2019.
- [3] S. Y. P. Asmarani, "Penyelesaian Traveling Salesman Problem (TSP) menggunakan Jaringan Hopfield", Skripsi, Universitas Jember, Jember, Indonesia, Jan. 2014.
- [4] I. Apriliani, K. A. Santoso, A. Pradjaningsih, "Aplikasi Algoritma Semut dan Algoritma Cheapest Insertion Heuristic pada Traveling Saleman Problem (TSP)", Skripsi, Universitas Jember, Jember, Indonesia, Jun. 2013.
- [5] S. A. Salsabila, B. P. Silalahi, T. Bakhtiar, "Penyelesaian Traveling Salesman Problem Menggunakan Algoritme Ant Colony Optimization dan Particle Swarm Optimization", Skripsi, IPB University, Bogor, Indonesia, 2022.
- [6] T. Rahardja, "Ant Colony Optimization dalam Traveling Salesman problem (Kasus: PT.Wahana Prestasi Logistik)", Skripsi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta, Indonesia, Jun. 2018.

- [7] B. P. Silalahi, N. Fathiah, P. T. Supriyo, "Use of Ant Colony Optimization Algorithm for Determining Traveling Salesman Problem Routes", *Jurnal Matematika MANTIK* vol. 2, no. 5, pp. 100-111, Oktober 2019.
- [8] I. M. Buana, "Ant Colony Optimization dalam Penyelesaian Traveling Salesman Problem Menggunakan Matlab", Skripsi, Universitas Negeri Semarang. Semarang, Indonesia, Sep. 2017.
- [9] D. R. Fadhilah, "Penyelesaian Traveling Salesman Problem Menggunakan Algoritma Improved Ant Colony Optimization", Skripsi, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia, Mar. 2018.