

Penarapan Algoritma *Ant Colony Optimization* Pada Pencarian Rute optimal untuk Transportasi Umum Kota Bandung

Kumala Dewi TS¹, Mahmud 'Imrona, M.T², Danang Triantoro M, M.T³

^{1,2,3}Fakultas Informatika, Universitas Telkom, Bandung

⁴Divisi Digital Service PT Telekomunikasi Indonesia

¹kumaladts@students.telkomuniversity.ac.id, ²mahmudimrona@telkomuniversity.ac.id,

³danangtri@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Kota Bandung merupakan pusat kota terbesar di Jawa Barat. Seperti kota besar pada umumnya, kota Bandung menyediakan sarana transportasi umum, salah satunya adalah Angkutan Kota Bandung. Angkutan Kota Bandung terbagi dalam beberapa trayek yang telah ditentukan oleh Pemerintah. Pada setiap trayek terdapat rute jalan yang telah ditentukan. Namun, masih terdapat jalan utama yang belum dilalui oleh Angkutan Umum kota Bandung. Dalam menyusun rekomendasi rute baru, dilakukan pengolahan data dari data trayek dan rute angkutan umum yang disusun dalam Surat Keputusan Walikota Bandung tahun 2008, dan pengolahan data *latitude*, *longitude*, jarak antar titik dengan acuan data Surat Keputusan Walikota Bandung menggunakan metode *Ant Colony Optimization* untuk menemukan rute rekomendasi baru yang optimal. Data rute berdasarkan Surat Keputusan Walikota Bandung dibandingkan dengan data rute rekomendasi baru. Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa rute rekomendasi baru lebih optimal jika dibandingkan dengan data trayek dari Surat Keputusan Walikota Bandung dilihat dari rute jalan yang dilalui dan dari segi pendapatan supir Angkutan Umum kota Bandung.

Kata Kunci : *Ant Colony Optimization*, Rute Optimal, Angkutan Kota

Abstract

Bandung City is the center of the largest city in West Java. Like other large cities, Bandung provides public transportation, one of which is Bandung City Transportation. Bandung City Transportation is divided into several routes that have been determined by the Government. On each route there is a predetermined road route. However, there are still major roads that have not yet been traversed by Bandung Public Transportation. In compiling new route recommendations, data processing from route and public transport data is processed in the Bandung Mayor Decree 2008, and processing latitude, longitude, distance between points with reference data to the Bandung Mayor Decree using the *Ant Colony Optimization* method to find new optimal route recommendations. Route data based on Bandung Mayor Decree compared with new recommendation route data. Based on the results of the analysis, it can be concluded that the new recommendation route is more optimal when compared with the route data from the Bandung Mayor Decree in terms of the route of the road traveled and in terms of revenue of Bandung Public Transport drivers.

Keyword: *Ant Colony Optimization*, Routing Problem

1. Pendahuluan

Pada bab ini diberikan penjelasan dari abstrak dengan beberapa tambahan. Isi utama dari bab Pendahuluan ini adalah Latar Belakang, Perumusan Masalah dan Tujuan.

1.1. Latar Belakang

Kota Bandung merupakan Kota terbesar di provinsi Jawa Barat. Kota Bandung termasuk kota yang padat akan kendaraannya dan karena kepadatan kendaraan tersebut mengakibatkan kemacetan pada sebagian daerah kota Bandung. Menurut data dari Dinas Perhubungan Kota Bandung, jumlah kendaraan terus meningkat 11% per tahun dengan didominasi kendaraan pribadi sebanyak 98% dan kendaraan umum 2% [1]. Seperti kota-kota besar pada umumnya, kota Bandung menyediakan moda transportasi publik yaitu angkutan umum kota Bandung. Berdasarkan Data Jumlah Angkutan Umum Kota Bandung Tahun 2017, Jumlah bis umum besar sejumlah 1464 unit, bis umum sedang sejumlah 101 unit, bis umum kecil sejumlah 5356 unit, bis bukan umum sejumlah 330 unit, angkutan kota sejumlah 5521 unit dan taksi sejumlah 1387 unit [2].

Angkutan Kota Bandung terbagi dalam beberapa trayek dimana rute dari trayek tersebut sudah ditentukan oleh Pemerintah Daerah. Didalam setiap trayek terdapat rute jalan yang harus dilewati oleh Angkutan Kota tersebut. Namun ada beberapa jalan utama yang belum terlewati. Ada beberapa angkutan umum yang masih belum melewati jalan utama dan berdampak pada pemasukkan dari supir angkutan umum tersebut. Selain berdampak pada pemasukkan dari supir angkutan umum tersebut, penumpang yang ingin menggunakan angkutan umum pun akan sedikit kesulitan karena tidak semua jalan utama dilewati oleh angkutan umum. Oleh karena itu penulis melakukan penelitian dengan metode algoritma Ant Colony Optimization untuk menemukan rekomendasi rute yang baru menggunakan data trayek dan data jarak antar rute.

1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah pada penelitian ini adalah menemukan usulan rute rekomendasi baru yang optimal dengan acuan Salinan Keputusan Walikota Bandung No.551/Kep.005-Huk/2008 [3] mengenai jarak yang ditempuh dan pengambilan rute pada setiap lintasan trayek.

1.3. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah dapat menemukan rute rekomendasi yang optimal untuk angkutan kota Bandung menggunakan Algoritma *Ant Colony Optimization*.

2. Studi Terkait

2.1. Optimisasi

Optimisasi merupakan suatu proses untuk mencapai hasil yang ideal atau optimal (nilai efektif yang dapat dicapai). Dalam disiplin matematika optimisasi merujuk pada studi permasalahan yang mencoba untuk mencari nilai minimal atau maksimal dari suatu fungsi nyata. Untuk dapat mencapai nilai *optimal* baik minimal maupun maksimal tersebut, secara sistematis dilakukan pemilihan nilai variabel integer atau nyata yang akan memberikan solusi optimal. Nilai optimal adalah nilai yang didapat dengan melalui suatu proses dan dianggap menjadi suatu solusi jawaban yang paling baik dari semua solusi yang ada[4]. Secara umum, penyelesaian masalah pencarian rute terpendek dapat dilakukan dengan menggunakan dua metode, yaitu metode konvensional dan metode heuristik. Metode konvensional dihitung dengan perhitungan matematis biasa, sedangkan metode heuristik dihitung dengan menggunakan system pendekatan [4].

2.2. Ant Colony Optimization

Ant colony optimization (ACO) adalah pendekatan metaheuristik yang terinspirasi dari tingkah laku semut dalam mencari sumber makanan. ACO diusulkan oleh Marco Dorigo sebagai metode untuk menyelesaikan kombinasi dari permasalahan optimisasi[5] dan untuk menyelesaikan masalah komputasi dengan menemukan jalur atau rute terbaik melalui graf. Solusi dinyatakan sebagai jalur biaya minimum (terpendek) melalui kondisi masalah sesuai dengan kendala masalah. Kompleksitas setiap semut berbeda bahkan seekor semut pun dapat menemukan solusi (kemungkinan berkualitas buruk). Solusi berkualitas tinggi hanya ditemukan sebagai hasil yang muncul dari kerja sama global antara semua koloni secara bersamaan membangun solusi yang berbeda[6].

2.3. Ant Colony Optimization pada Vehicle Routing Problem

Menggunakan ACO, semut individu mensimulasikan sebuah kendaraan dan rutenya dibangun dengan memilih pelanggan secara bertahap sehingga semua pelanggan dikunjungi. Pada awalnya, masing-masing semut mulai di depot dan pelanggan termasuk ke dalam tur kosong. Kemudian semut memilih pelanggan berikutnya untuk dikunjungi dari daftar lokasi yang layak dan kapasitas dari kendaraan sudah diperbarui sebelum memilih pelanggan yang lain. Semut akan kembali ke depot ketika kendala kapasitas kendaraan terpenuhi atau ketika semua pelanggan telah dikunjungi[7].

Dalam algoritma *Ant Colony Optimization* diperlukan langkah-langkah untuk menentukan jarak terpendek. Langkah pertama adalah inisialisasi parameter yang diperlukan, diantaranya[8]:

1. Intensitas jejak semut antar tempat (τ_{ij}) dan perubahannya
 τ_{ij} harus diinisialisasikan sebelum memulai siklus, nantinya akan digunakan dalam persamaan probabilitas tempat yang akan dikunjungi. Sedangkan $\Delta\tau_{ij}$ diinisialisasikan setelah selesai satu siklus dan digunakan untuk menentukan τ_{ij} siklus selanjutnya.
2. Tetapan siklus semut (Q), yaitu konstanta yang digunakan dalam persamaan untuk menemukan $\Delta\tau_{ij}$. Nilai ini ditentukan oleh penulis
3. Tetapan pengendali intensitas jejak semut (α), digunakan dalam persamaan probabilitas tempat yang akan dikunjungi dan berfungsi sebagai pengendali intensitas *pheromone*

4. Tetapan pengendali visibilitas (β), digunakan dalam persamaan probabilitas kota yang akan dikunjungi dan mempunyai fungsi sebagai pengendali visibilitas
5. Visibilitas antar tempat (η_{ij}), digunakan dalam persamaan probabilitas tempat yang akan dikunjungi.
6. Banyak semut (m). m adalah banyak semut yang akan melakukan siklus.
7. Tempat penguapan jejak semut (ρ), digunakan untuk menentukan τ_{ij} untuk siklus selanjutnya. Nilai ini ditentukan oleh penulis.
8. Jumlah siklus maksimum (NC_{max}), yaitu jumlah maksimum siklus yang akan berlangsung. Siklus akan berhenti sesuai dengan nilai NC_{max} yang telah penulis tentukan.

Selanjutnya adalah inisialisasi tempat pertama setiap semut. Setelah inisialisasi τ_{ij} dilakukan, kemudian m semut ditempatkan pada tempat pertama tertentu secara acak. Untuk nilai parameter α sebaiknya diberi nilai $0 \leq \alpha \leq 1$, hal ini dimaksudkan untuk menghindari akumulasi *pheromone* yang tidak terbatas pada sisi tersebut. Untuk nilai parameter β sebaiknya tidak diberi nilai 0 karena jika diberi nilai 0 maka hasil yang dicapai tidak maksimum. Tidak optimum disini berarti suatu kondisi dimana panjang perjalanan yang dicapai tidak minimum.

Langkah kedua adalah penyusunan rute kunjungan setiap semut ke setiap tempat. Untuk menentukan tempat tujuan digunakan persamaan probabilitas tempat untuk dikunjungi, berikut adalah rumusnya :

$$\rho_{ij}^k = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} \quad (1)$$

Keterangan :

ρ_{ij}^k : probabilitas antar tempat, I dan j adalah titik awal dan i sedangkan k adalah iterasi.

τ_{ij} : intensitas jejak semut antar tempat, i dan j adalah titik awal dan titik akhir

η_{ij} : adalah visibilitas antar tempat yang didapatkan dari $\frac{1}{L_{ij}}$

α : tetapan pengendali intensitas jejak semut

β : tetapan pengendali visibilitas.

Langkah ketiga adalah perhitungan panjang rute setiap semut. Perhitungan panjang rute tertutup atau *Length Closed Tour* atau L_K dilakukan dengan persamaan berikut[8] :

$$L_k = d_{ij} + \sum_{s=1}^{n-1} d_{tabu_k(s), tabu_k(s+1)} \quad (2)$$

Keterangan :

d_{ij} : jarak antara tempat i ke tempat j , dihitung dengan persamaan :

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (3)$$

Setelah L_K setiap semut dihitung dan akan diperoleh harga minimal panjang rute tertutup setiap siklus. Kemudian dilakukan perhitungan perubahan harga intensitas jejak *pheromone* antar tempat. Sekawanan semut akan meninggalkan jejak *pheromone* pada lintasan yang dilalui. Adanya penguapan

dan perbedaan jumlah semut yang lewat menyebabkan adanya perubahan intensitas *pheromone* antar tempat. Berikut adalah persamaannya:

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad (4)$$

Keterangan :

m : jumlah semut

τ_{ij} : panjang jalur setiap semut

$\Delta\tau_{ij}^k$: perubahan harga intensitas jejak kaki semut antar tempat setiap semut yang dihitung berdasarkan persamaan :

$$\Delta\tau_{ij}^k = \frac{Q}{L_k} \quad (5)$$

Keterangan :

Q : tetapan siklus semut, L_k adalah *Length Close Tour*

L_K : *Length Closed Tour*

Langkah keempat adalah menghitung intensitas *pheromone* untuk siklus selanjutnya. Intensitas *pheromone* kemungkinan berubah karena adanya penguapan dan perbedaan jumlah semut yang melewati. Berikut persamaannya :

$$\tau_{ij} = (1 - \rho)\tau_{ij} + \Delta\tau_{ij} \quad (6)$$

Keterangan :

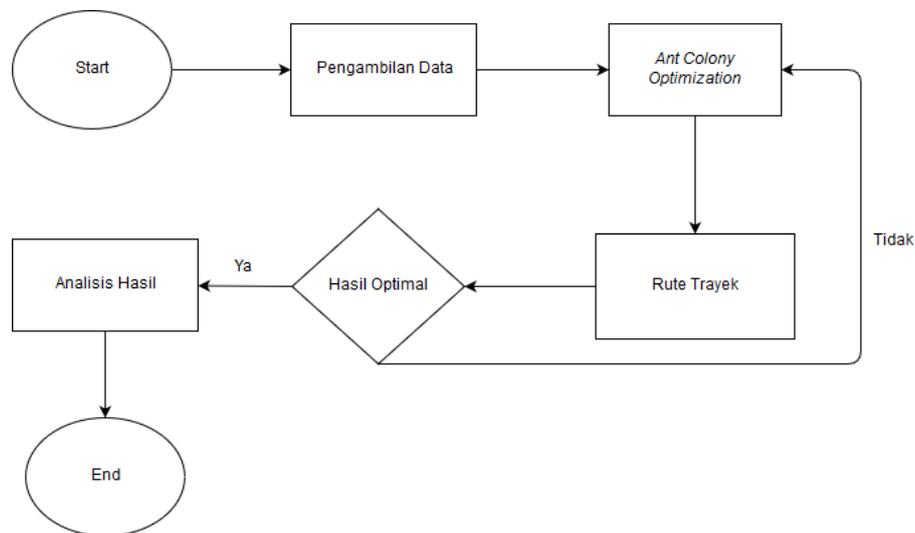
α : parameter yang mengontrol kecepatan penguapan (evaporasi) *pheromone*

τ_0 : nilai *pheromone* awal yang telah ditetapkan untuk semua busur pada grafik G

ρ : penguapan jejak semut

3. Sistem yang Dibangun

Pada bagian ini memaparkan mengenai rancangan sistem yang telah dibuat atau digunakan pada penelitian



Proses pengambilan data dilakukan dengan menarik garis pada setiap rute jalan secara manual menggunakan situs daring <http://www.birdtheme.org/useful/v3largemap.html> untuk mencari *latitude* dan juga *longitude* dari trayek yang ada pada Surat Keputusan Walikota Bandung No.551/Kep.005-Huk/2008. Untuk pengambilan data rekomendasi rute baru, dilakukan secara manual dengan menggunakan situs daring <http://www.birdtheme.org/useful/v3largemap.html> untuk mencari *latitude* dan *longitude* rute baru yang telah dibuat.

Untuk rute baru, setelah dilakukan penarikan garis dan sudah mendapatkan koordinat *latitude* dan *longitude* dilakukan pengukuran jarak dan pencarian nama jalan antar *latitude* dan *longitude* menggunakan *google maps* yang nantinya akan diproses dengan Algoritma *Ant Colony Optimization* menggunakan bahasa *python*. Setelah proses pengolahan data menggunakan metode *Ant Colony Optimization* akan muncul rute trayek yang terpilih. Lalu dilakukan perbandingan antara rute rekomendasi baru dengan data trayek yang sudah ada pada Surat Keterangan Walikota Bandung tersebut, jika hasil optimal maka dilakukan analisis hasil, namun jika tidak akan kembali diproses oleh Algoritma *Ant Colony Optimization*.

3.1 Data set

Keseluruhan data yang digunakan pada penelitian ini adalah Data Trayek Angkutan Kota Bandung yang diterbitkan dalam Salinan Keputusan Walikota Bandung No.551/Kep.005-Huk/2008 untuk Trayek Ciroyom Bumi Asri, namun penulis hanya menggunakan data satu Rit Bumi Asri menuju Ciroyom. Untuk rute rekomendasi baru, penulis menggunakan acuan Data Trayek Angkutan Kota Bandung yang diterbitkan dalam Salinan Keputusan Walikota Bandung No.551/Kep.005-Huk/2008 untuk Trayek Bumi Asri menuju Ciroyom namun berbeda dalam beberapa pengambilan rute jalan. Data yang dibutuhkan terdiri dari Koordinat *Latitude*, *Longitude*, Jarak dan Nama Jalan.

Untuk Rit Bumi Asri menuju Ciroyom yang bersumber dari data Trayek Salinan Keputusan Walikota Bandung setelah dilakukan penarikan garis untuk mendapatkan koordinat *latitude* dan *longitude*, didapatkan sejumlah 301 koordinat.

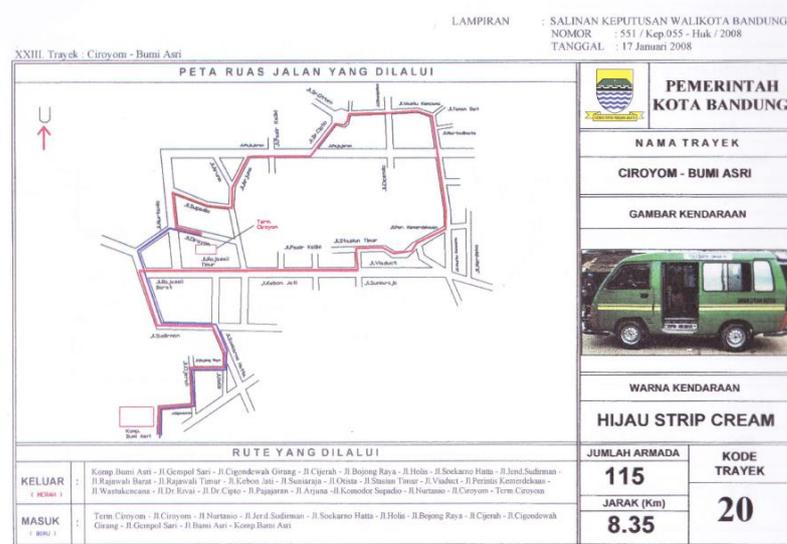


Figure 1 Data Trayek Bumi Asri menuju Ciroyom menurut Salinan Keputusan Walikota Bandung

Latitude	Longitude	Jarak (m)	Id_Titik
-6.932307	107.550812	0	1
-6.932252	107.550805	6	2
-6.931933	107.550947	39	3
-6.93177	107.550997	18	4
-6.930957	107.551137	92	5
-6.930702	107.551174	29	6
-6.929661	107.551379	120	7
-6.928954	107.551536	79	8
-6.928427	107.551617	59	9
-6.927831	107.551798	70	10
-6.926689	107.552103	130	11
-6.92653	107.552174	19	12
-6.926691	107.552486	38	13
-6.926946	107.552927	58	14
-6.927121	107.553233	37	15

Figure 2 Data Koordinat Rit Bumi Asri Ciroyom berdasarkan Salinan Keputusan Walikota Bandung

4. Evaluasi

Pada bagian ini dipaparkan hasil pengujian dan analisis hasil pengujian sesuai dengan tujuan penelitian yang telah disampaikan pada bagian pendahuluan

4.1 Hasil Pengujian

Pengujian rute rekomendasi baru diimplementasikan menggunakan bahasa *python*. Setelah didapatkan hasilnya, dibandingkan dengan Data Trayek Salinan Keputusan Walikota Bandung menggunakan *my maps* pada *google maps*. Pengujian dilakukan dengan memproses matriks koordinat setiap *id* titik yang dilalui untuk setiap 1 rit dalam trayek rekomendasi. 1 rit merupakan setengah dari trayek.

Pengujian untuk rit Bumi Asri menuju Ciroyom, didapatkan hasil rekomendasi rute baru dalam bentuk *id* titik yang diberikan oleh algoritma *Ant Colony Optimization* dan jarak untuk rute rekomendasi baru adalah 18,5 kilometer.

```
jalur = [(0, 2), (2, 5), (5, 4), (4, 9), (9, 7), (7, 6), (6, 8), (8, 3), (3, 1), (1, 0)]
jarak = 18500.0
```

Figure 3 Hasil Rekomendasi Rute Baru untuk rit Bumi Asri menuju Ciroyom berupa id titik

Setelah didapatkan hasil rekomendasi rute baru berupa *id* titik dan total jarak yang ditempuh, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan informasi mengenai hasil pendapatan yang akan diperoleh oleh supir Angkutan Umum Kota Bandung jika melalui rute rekomendasi baru.

```
JALUR (jalur2)= [['0', '2'], ['2', '5'], ['5', '4'], ['4', '9'], ['9', '7'], ['7', '6'], ['6', '8'], ['8', '3'], ['3', '1'], ['1', '0']]
['0', '2']
ketika x = 0
x = 2
jalur = ['0', '2'] dan titik = ['0', '2']
sama nih, jumlah penumpang = 4
pendapatan = 4000
pendapatan saat ini = 4000
['2', '5']
ketika x = 0
x = 25
jalur = ['2', '5'] dan titik = ['2', '5']
sama nih, jumlah penumpang = 5
pendapatan = 5000
pendapatan saat ini = 9000
['5', '4']
ketika x = 0
x = 54
jalur = ['5', '4'] dan titik = ['5', '4']
sama nih, jumlah penumpang = 1
pendapatan = 1000
```

Figure 4 Pendapatan yang akan diperoleh oleh supir Angkutan Kota Bandung Jika melewati rute rekomendasi

Pada setiap *id* titik ditetapkan biaya Rp 1.000,00 oleh penulis. Sehingga untuk menghitung penumpang yang naik pada satu titik dihitung Rp. 1.000,00 untuk setiap penumpang. Pada titik (0,2) terdapat 4 penumpang yang naik maka pendapatan supir sejumlah Rp.4.000,00. Pada titik (2,5) terdapat 1 penumpang yang naik hingga total didalam angkutan umum sejumlah 5 penumpang dengan 4 penumpang yang masih ada didalam angkutan kota. Pendapatan saat ini menjadi Rp. 9.000,00. Pada titik selanjutnya yaitu (5,4) terdapat 1 penumpang yang ada didalam angkutan umum, pendapatan supir menjadi Rp.10.000,00.

```

['4', '9']
ketika x = 0
x = 49
jalur = ['4', '9'] dan titik = ['4', '9']
sama nih, jumlah penumpang = 4
pendapatan = 4000
pendapatan saat ini = 14000
['9', '7']
ketika x = 0
x = 97
jalur = ['9', '7'] dan titik = ['9', '7']
sama nih, jumlah penumpang = 2
pendapatan = 2000
pendapatan saat ini = 16000
['7', '6']
ketika x = 0
x = 76
jalur = ['7', '6'] dan titik = ['7', '6']
sama nih, jumlah penumpang = 7
pendapatan = 7000
pendapatan saat ini = 23000

```

Figure 5 Pendapatan yang akan diperoleh oleh supir Angkutan Kota Bandung
Jika melewati rute rekomendasi

Pada titik (4,9) total pendapatan supir angkutan umum adalah Rp. 14.000,00. Pada titik berikutnya yaitu (9,7) total pendapatan supir angkutan umum ialah sebesar Rp. 16.000,00. Pada titik (7,6) total pendapatan menjadi Rp. 23.000,00. Pada titik (6,8) total penumpang menjadi Rp. 28.000,00. Pada titik (8,3) total pendapatan supir ialah Rp. 31.000,00. Pada titik (3,1) didapatkan pendapatan penumpang sebesar Rp.36.000,00 dan pada titik rekomendasi terakhir yaitu (1,0) total pendapatan yang didapat oleh supir angkutan umum kota Bandung adalah sebesar Rp. 38.000,00.

```

['1', '0']
ketika x = 0
x = 10
jalur = ['1', '0'] dan titik = ['1', '0']
sama nih, jumlah penumpang = 2
pendapatan = 2000
pendapatan saat ini = 38000
Total Pendapatan = 38000

```

Figure 6 Total Pendapatan supir Angkutan Kota Bandung
jika melewati rute rekomendasi

4.2 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil implementasi menggunakan *python* dan setelah mendapatkan rute rekomendasi baru oleh algoritma *Ant Colony Optimization* didapatkan hasil rute yang lebih optimal. Koordinat rute rekomendasi dibandingkan dengan koordinat rute dari data trayek Salinan Keputusan Walikota Bandung per satu rit, dapat dilihat pada gambar berikut,



Figure 7 Hasil rute rekomendasi baru dengan Algoritma Ant Colony Optimization



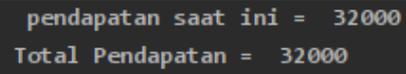
Figure 8 Titik Coklat merupakan opsi pilihan jalur rekomendasi untuk Bumi Asri menuju Ciroyom

Titik berwarna biru ialah rute rekomendasi baru yang terpilih setelah diproses menggunakan *python* dengan metode Ant Colony Optimization. Sedangkan gabungan antara titik berwarna biru dan coklat adalah rute rekomendasi baru dengan pengambilan rute yang berbeda. **Figure 8** merupakan opsi pemilihan jalur untuk rit Bumi Asri menuju Ciroyom. Dan yang terpilih sebagai rute rekomendasi baru ialah titik berwarna biru dengan total pendapatan yang akan didapatkan oleh supir Angkutan Kota Bandung sebesar Rp 38.000,00.



Figure 9 Rute rit Bumi Asri menuju Ciroyom berdasarkan Salinan Keputusan Walikota Bandung

Jarak untuk rekomendasi rute baru sebesar 18,5 kilometer sedangkan jarak pada data asli sebesar 8,35 kilometer. Jarak antara rute rekomendasi dengan rute asli dari Salinan Keputusan sangat berbeda jauh. Namun jika dilihat dari segi pendapatan supir angkutan umum, rekomendasi rute baru memiliki pendapatan yang lebih besar dari data asli.



```
pendapatan saat ini = 32000
Total Pendapatan = 32000
```

Figure 10 Hasil pendapatan Angkutan Kota Bandung menurut Salinan Keputusan Walikota Bandung

Jika dibandingkan dengan pendapatan data trayek dari Salinan Keputusan Walikota Bandung terdapat perbedaan. Pendapatan untuk rit Bumi Asri menuju Ciroyom sebesar Rp. 32.000,00 sedangkan pendapatan rute rekomendasi baru untuk rit Bumi Asri menuju Ciroyom sebesar Rp. 38.000,00.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, rute rekomendasi lebih optimal jika dibandingkan dengan rute dari Salinan Keputusan Walikota Bandung karena angkutan Kota Bandung melewati beberapa jalan yang sebelumnya belum dilewati oleh angkutan kota Bandung. dilewati dengan jarak yang lebih jauh namun total Pendapatan yang didapatkan lebih besar jika dibandingkan dengan rute dari Salinan Keputusan Walikota Bandung. Jarak rute asli sebesar 8,35 kilometer sedangkan jarak untuk rute rekomendasi baru sebesar 18,35 kilometer.

Untuk pendapatan supir angkutan umum, jika menggunakan data rute asli akan mendapatkan pendapatan sebesar Rp 32.000,00 sedangkan untuk rekomendasi rute baru didapatkan pendapatan sebesar Rp 38.000,00. Maka dapat disimpulkan bahwa rute rekomendasi baru lebih optimal dari segi pendapatan supir angkutan Kota Bandung menggunakan metode algoritma *Ant Colony Optimization*.

Daftar Pustaka

- [1] Pikiran Rakyat, "Atasi Kemacetan, Pemkot Bandung siapkan sejumlah rencana," 2018. [Online]. Available: <https://www.pikiran-rakyat.com/bandung-raja/2018/10/02/atasi-kemacetan-pemkot-bandung-siapkan-sejumlah-rencana-430961>.
- [2] O. D. K. Bandung, "Jumlah Angkutan Umum di Kota Bandung," 2019. [Online]. Available: <https://data.go.id/dataset/jumlah-angkutan-umum-di-kota-bandung>.
- [3] Walikota Bandung, *Jumlah Armada Angkutan Kota Di Wilayah Kota Bandung*. 2008.
- [4] I. S. Wardy, "Penggunaan graph dalam algoritma semut untuk melakukan optimisasi," 2007.
- [5] T. F.G, "Handbook of Approximation of Algorithm and Metaheuristics. CRC Press," 2018.
- [6] M. Dorigo, M. Birattari, and T. Stutzle, *Ant Colony Optimatization*. 2006.
- [7] J. E. Bell and P. R. McMullen, "Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem," *Adv. Eng. Informatics*, vol. 18, no. 1, pp. 41–48, 2004.
- [8] A. Zarman *et al.*, "IMPLEMENTASI ALGORITMA ANT COLONY OPTIMIZATION PADA APLIKASI," vol. I, no. 1, pp. 6–12, 2016.