

## OPTIMALISASI RUTE ANGKUTAN KOTA MALANG DENGAN ALGORITMA *CHEAPEST INSERTION HEURISTIC* PADA TSPTW

Ana Hamimatul Mangdhuroh<sup>1,a)</sup>, Sapti Wahyuningsih<sup>2,b)</sup>

<sup>1,2)</sup>Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5, Sumbersari, Kec. Lowokwaru, Kota  
Malang, Jawa Timur, Indonesia

<sup>a)</sup>ana.hamimatul.1703126@students.um.ac.id

<sup>b)</sup>sapti.wahyuningsih.fmipa@um.ac.id

### Abstrak

*Travelling Salesman Problem* (TSP) kajian teori graph yang dapat digunakan untuk menentukan rute optimal. *Travelling Salesman Problem with Time Windows* (TSPTW) adalah varian TSP dengan tambahan interval waktu. Fokus pembahasan artikel ini menyelesaikan permasalahan rute angkutan kota Malang jalur AMG (Arjosari Madyopuro Gadang) dengan total waktu perjalanan minimum dengan algoritma *Cheapest Insertion Heuristic* (CIH) pada TSPTW dan alat bantu program. Kinerja algoritma CIH yaitu mencari suatu siklus Hamilton yang memiliki total bobot minimum. Pencarian rute optimum dapat direpresentasikan kedalam Graf dengan titik pada graf merepresentasikan tempat pemberhentian angkutan kota dan bobot isi merepresentasikan jarak antar tempat pemberhentian. Hasil perhitungan rute angkutan kota jalur AMG dengan algoritma CIH 29.70 km dan hasil perhitungan dengan aplikasi TSP-VRP 29.70 km. Permasalahan rute optimal dengan tambahan variabel waktu dapat diselesaikan dengan algoritma pada TSPTW.

**Kata kunci:** TSPTW, algoritma *Cheapest Insertion Heuristic* (CIH), siklus Hamilton

### PENDAHULUAN

Matematika merupakan ilmu dasar, sehingga memiliki berbagai manfaat untuk membantu kehidupan manusia. Salah satu cabang matematika yang sering berguna dalam kehidupan sehari-hari yaitu Teori Graf. Teori Graf merupakan salah satu cabang ilmu dalam Matematika, ilmu ini dapat diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari. Graf dapat diklasifikasikan dalam berbagai bentuk [1], guna memudahkan mencari solusi pada suatu permasalahan. Dalam Teori Graf berbagai permasalahan dapat dimodelkan dengan lebih sederhana sehingga masalah dapat terselesaikan. Salah satu permasalahan yang dapat dimodelkan dengan Teori Graf yaitu tentang mencari rute terpendek. *Travelling Salesman Problem* (TSP) merupakan salah satu cabang yang ada dalam ilmu Teori Graf yang digunakan untuk mencari rute terpendek yang dilakukan oleh *salesman* untuk mengunjungi kota kemudian kembali ke kota asal, dimana *salesman* tidak melewati kota yang sama lebih dari satu kali, dimana rutenya membentuk siklus Hamilton [2]. Terdapat beberapa varian dalam TSP yaitu *Travelling Salesman Problem with Time Windows* (TSPTW), *Clustered Travelling Salesman Problem* (CTSP), *Dynamic Travelling Salesman Problem* (DTSP), dan *Travelling Salesman Problem with Precedence Constraints* (TSPPC).

*Travelling Salesman Problem with Time Windows* (TSPTW) adalah perkembangan

dari TSP yang lebih kompleks. Untuk menentukan rute optimal TSPTW memiliki tambahan variable waktu [3]. TSPTW memiliki beragam varian dalam masalah perutean dan penjadwalan [4]. Varian algoritma yang ada di TSPTW diantaranya *Greedy*, *Artificial Bee Colony* (ABC), *Genetics*, *Cheapest Insertion Heuristic* (CIH) [5]. Algoritma *Cheapest Insertion Heuristic* (CIH) akan kita gunakan untuk memecahkan masalah yang ada di lapangan.

Dinas Perhubungan Kota Malang merupakan salah satu lembaga pemerintahan yang bertugas mengatur transportasi di Kota Malang. Terdapat tiga bidang yang ada di Dinas Perhubungan Kota Malang yaitu Bidang Lalu Lintas, Bidang Angkutan Jalan, dan Bidang Pengolahan Perparkiran. Bidang angkutan jalan bertugas menentukan rute perjalanan untuk angkutan kota dan membuat rancangan evaluasi terhadap pelayanan pada angkutan darat khususnya angkutan kota. Pada rute yang telah ditentukan terdapat tempat pemberhentian angkutan kota berupa terminal, stasiun, halte, dan tempat mengetem (tempat pemberhentian penumpang).

Permasalahan dalam pengoperasian angkutan kota ini adalah rute berangkat dan rute pulang yang berbeda, yang menyebabkan ada kalanya rute yang ditempuh terlalu jauh dan memakan waktu yang lama. Sehingga diperlukan rute optimum untuk angkutan kota. Pencarian rute optimum dapat direpresentasikan kedalam Graf dengan titik pada graf merepresentasikan tempat pemberhentian angkutan kota dan bobot isi merepresentasikan jarak antar tempat pemberhentian. Permasalahan pada angkutan kota ini dapat diselesaikan dengan menggunakan varian dari TSP yaitu TSPTW. Kendala variable waktu pada TSPTW digunakan untuk waktu sopir angkot menunggu penumpang pada setiap pemberhentian. Pada penelitian sebelumnya dengan permasalahan serupa [6], dimana dalam penelitian tersebut menggunakan 3 algoritma yaitu *Branch and Bound*, *Nearest Insertion Heuristic*, dan CIH. Rute yang paling optimal adalah rute yang dihasilkan oleh algoritma CIH.

Berdasarkan deskripsi diatas, laporan ini akan membahas mengenai Optimalisasi Rute Angkutan Kota Jalur AMG di Kota Malang dengan Menggunakan Algoritma CIH pada TSPTW. Alat bantu yang digunakan untuk mempermudah dalam menentukan rute optimum angkutan kota yaitu aplikasi TSP-VRP. Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan dalam membantu permasalahan yang ada di Dinas Perhubungan Kota Malang yaitu dalam menentukan rute optimum pada angkutan kota jalur AMG.

## METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Mengkaji penerapan algoritma *Cheapest Insertion Heuristic* untuk memecahkan permasalahan pada TSPTW, dengan melakukan studi pustaka.
2. Pengambilan data di lapangan dengan metode wawancara dan observasi. Wawancara dilakukan dengan kepala seksi angkutan dalam trayek Dinas perhubungan Kota Malang yang sekaligus menjadi pembimbing lapangan selaman PKL berlangsung. Dalam wawancara diperoleh data berupa rute angkutan kota Malang khususnya jalur AMG. Sedangkan metode observasi dilakukan dengan terjun langsung ke lapangan. Yaitu tempat pemberhentian angkutan kota (terminal, halte, tempat mengetem), data yang diperoleh pada metode observasi yaitu data tempat pemberhentian angkutan kota, data waktu angkutan kota menunggu penumpang, dan jarak antar pemberhentian angkutan kota.
3. Pencarian rute optimum dimodelkan dalam bentuk graf berbobot dimana tempat pemberhentian angkutan kota didefinisikan dengan titik pada graf, kemudian jarak antar tempat pemberhentian didefinisikan sebagai bobot sisi. Waktu operasi angkutan kota direpresentasikan sebagai kendala waktu. Waktu mulai dan waktu berakhir

direpresentasikan sebagai waktu pelayanan (waktu buka-tutup). Kecepatan rata-rata diasumsikan sama yaitu 40 km/jam. Titik awal dan titik akhir berada di terminal Hamid Rusdi.

4. Penghitungan rute optimum dari data yang diperoleh menggunakan algoritma *Cheapest Insertion Heuristic*.
5. Penghitungan selanjutnya dengan menggunakan alat bantu berupa aplikasi TSP-VRP [7]. Data yang di inputkan kedalam aplikasi yaitu data tempat pemberhentian angkutan kota (kode), jarak antar pemberhentian angkutan kota, waktu operasi dan layanan angkutan kota, dan kecepatan rata-rata diasumsikan sama yaitu 40 km/jam.
6. Menganalisis hasil penghitungan menggunakan algoritma *Cheapest Insertion Heuristic* yang diinterpretasikan kedalam aplikasi TSP-VRP.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

*Travelling Salesman Problem* (TSP) digunakan untuk menemukan rute terpendek pada salesman yang harus mengunjungi masing – masing kota tepat satu kali. *Travelling Salesman Problem with Time Windows* (TSPTW) yang merupakan varian dari TSP dimana salesman harus mengunjungi tiap tujuan dalam interval waktu (jendela waktu) [8]. *Cheapest Insertion Heuristic* merupakan salah satu algoritma yang ada di TSPTW. Algoritma CIH adalah algoritma *insertion* dimana pada setiap penambahan kota baru yang disisipkan ke dalam *subtour* mempunyai bobot penyisipan paling minimal.

### *Traveling Salesman Problem with Time Windows* (TSPTW)

*Traveling Salesman Problem with Time Windows* (TSPTW), yaitu TSP dengan adanya tambahan kendala pada setiap titik yang dikunjungi berupa tambahan *time window*. Fungsi dan tujuan dari TSPTW yaitu menemukan siklus Hamilton dengan biaya minimum jika terdapat tambahan *time window*. Syarat cukupnya yaitu graf terhubung, tak berarah, dan graf komplit. TSPTW sebagai permasalahan untuk mencari biaya perjalanan (*tour*) minimal dari sekumpulan kota, dimana tiap kota hanya dikunjungi tepat satu kali. Agar *feasible*, maka *tour* harus berawal dan berakhir di suatu depot tertentu, dengan batas *time window* tertentu, dan tiap kota harus dikunjungi pada batas *time window* mereka masing-masing. Biaya dari TSPTW biasanya berhubungan dengan total jarak travel atau total waktunya [9]. Total waktu disini diperoleh dari waktu travel ditambah dengan waktu tunggu kemudian ditambah dengan waktu pelayanan [10].

Faktor-faktor yang dapat memengaruhi pencarian rute dan waktu optimasi yaitu :

1. Banyaknya Kunjungan  
Banyaknya lokasi yang dituju akan berpengaruh terhadap total waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perjalanan. Semakin banyak lokasi yang dituju, maka semakin banyak pula waktu yang dibutuhkan.
2. Waktu Perjalanan  
Lama waktu yang diburuhkan dari lokasi  $i$  ke lokasi  $j$ .
3. Waktu Tunggu  
Waktu tunggu terjadi ketika lokasi yang dituju belum buka.
4. Waktu Pelayanan  
Waktu yang dibutuhkan untuk melayani pelanggan.

### Algoritma *Cheapest Insertion Heuristic* (CIH)

Kita perlu memperhitungkan jumlah biaya penyisipan yang mencerminkan jarak, baik panjang atau pendeknya jarak di jendela waktu. Oleh karena itu perlu dihitung biaya

penyisipan untuk masalah rute optimum dengan batasan jendela waktu [11]. Sebuah perjalanan TSPTW dengan algoritma CIH dimulai dari suatu simpul awal menuju semua simpul dan kembali ke simpul awal tanpa ada simpul yang dilalui lebih dari satu kali dengan memperhitungkan tambahan jarak yang minimum ketika satu simpul disisipkan ke dalam *partial tour* yang ada [12]. Bobot penyisipan diperoleh dari persamaan :

$$c_{i,k} + c_{k,j} - c_{i,j}$$

Keterangan:

$c_{i_0,k}$  = bobot sisi dari titik  $i_0$  (titik awal) ke titik  $k$  (titik terdekat yang akan disisipkan).

$c_{i,k}$  = bobot sisi dari titik  $i$  (titik *tour*) ke titik  $k$ .

$c_{k,j}$  = bobot sisi dari titik  $k$  ke titik  $j$  (titik *tour*).

$c_{i,j}$  = bobot sisi dari titik  $i$  ke titik  $j$ .

Algoritma ini memberikan rute perjalanan yang berbeda, tergantung pada urutan penyisipan kota pada *subtour* [10].

Berikut langkah-langkah untuk menggunakan algoritma *Cheapest Insertion Heuristic* :

Langkah 1: Pilih sebarang titik  $i_0$  sebagai titik awal

Langkah 2: Cari titik  $k$  dalam graf sehingga  $c_{i_0,k}$  adalah minimum dan membentuk *tour*  $i_0 - k - i_0$

Langkah 3: Langkah pemilihan, dari *tour* yang telah terbentuk cari titik  $k$  (tidak dalam *tour*) dan cari sisi  $(i, j)$  dalam *tour* dengan  $c_{i,k} + c_{k,j} - c_{i,j}$  yang mempunyai nilai minimum. Sisipkan  $k$  diantara  $i$  dan  $j$ .

Langkah 4: Kembali lakukan langkah 3 sampai memperoleh siklus Hamilton.

Dalam memecahkan permasalahan TSPTW ini yaitu mencari rute optimum dari angkutan kota Malang jalur AMG, diperlukan beberapa data yang diperoleh dari hasil wawancara dan observasi di lapangan selama kegiatan penelitian, sebagai berikut :

No	Tempat Pemberhentian Angkutan Kota Jalur AMG	Kode
1.	Terminal Hamid Rusdi	0
2.	Jl. Gadang Bumiayu (Pasar Gadang)	1
3.	Jl. Kolonel Sugiono (Pertokoan Mergosono)	2
4.	Jl. Kebalen Wetan (Depan Ruko)	3
5.	Jl. Terusan Kesatrian (SMK Kartika)	4
6.	Jl. Hamid Rusdi (Pasar Bunulrejo)	5
7.	Jl. Koprul Usman (Pasar Besar)	6
8.	Jl. Pasar Besar (Depan Mandiri Syariah)	7
9.	Jl. Trunojoyo (Depan Stasiun Kota Malang)	8
10.	Jl. Dokter Cipto (Depan Gereja Bala Keselamatan)	9
11.	Jl. Tumenggung Suryo (Halte Tumenggung Suryo)	10
12.	Jl. Sunandar Priyo Sudarmo (Pertigaan Sulfat)	11
13.	Jl. Raden Panji Suroso	12
14.	Jl. Raden Intan (Pangkalan Ojek TASPEN)	13
15.	Terminal Arjosari	14

Kode	Waktu Operasi		Lama Angkutan Kota Berhenti (menit)
	Mulai	Selesai	
0	05.00	21.00	0
1	05.00	21.00	5
2	05.00	21.00	15
3	05.00	21.00	5
4	05.00	21.00	5
5	05.00	21.00	5
6	05.00	21.00	5
7	05.00	21.00	5
8	05.00	21.00	8
9	05.00	21.00	5
10	05.00	21.00	10
11	05.00	21.00	5
12	05.00	21.00	15
13	05.00	21.00	15
14	05.00	21.00	25

**Tabel 2 Waktu Operasi pada Setiap Pemberhentian dan lama Angkutan kota**

**Tabel 1** Tempat Pemberhentian  
Angkutan Kota

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	0	1,9	4	5	6,8	7,1	5,8	5,2	6,3	7,3	7,6	11	12	11,8	13
1	1,9	0	2,3	3,9	5,3	6,3	4,1	4	5,1	6,1	6,4	8,9	11	10,8	12
2	4	2,3	0	1,6	3	4	1,7	1,6	2,7	3,8	4	6,6	8,7	8,4	9,5
3	5	3,9	1,6	0	2	3	0,9	0,6	1,7	2,8	3	5,6	7,6	7,4	8,5
4	6,8	5,3	3	2	0	1	1,9	1,6	0,9	1,6	1,8	4,4	6,5	6,2	7,3
5	7,1	6,3	4	3	1	0	2,9	2,6	2	1,4	1,2	3,8	5,9	5,6	6,7
6	5,8	4,1	1,7	0,9	1,9	2,9	0	0,3	1,5	2,5	2,7	5,3	7,4	7,1	8,2
7	5,2	4	1,6	0,6	1,6	2,6	0,3	0	1,1	2,2	2,4	5	7	6,8	7,9
8	6,3	5,1	2,7	1,7	0,9	2	1,5	1,1	0	1,1	1,5	4,1	6,2	5,9	7
9	7,3	6,1	3,8	2,8	1,6	1,4	2,5	2,2	1,1	0	0,4	3	5,1	4,8	5,9
10	7,6	6,4	4	3	1,8	1,2	2,7	2,4	1,5	0,4	0	2,6	4,6	4,4	5,5
11	11	8,9	6,6	5,6	4,4	3,8	5,3	5	4,1	2	2,6	0	2,1	1,8	2,9
12	12	11	8,7	7,6	6,5	5,9	7,4	7	6,2	5,1	4,6	2,1	0	0,9	2
13	11,8	10,8	8,4	7,4	6,2	5,6	7,1	6,8	5,9	4,8	4,4	1,8	0,9	0	1,1
14	13	12	9,5	8,5	7,3	6,7	8,2	7,9	7	5,9	5,5	2,9	2	1,1	0

**Tabel 3** Jarak Antar Pemberhentian Angkutan Kota

### Penyelesaian Menggunakan Algoritma *Cheapest Insertion Heuristic*

Menggunakan algoritma *Cheapest Insertion Heuristic* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

#### Iterasi awal

1. Pilih titik awal  $i_0 = 0$

2. Cari titik k

$$\begin{aligned}
 c_{i,k} &= \min (c_{0,1}; c_{0,2}; c_{0,3}; c_{0,4}; c_{0,5}; c_{0,6}; c_{0,7}; c_{0,8}; c_{0,9}; c_{0,10}; c_{0,11}; \\
 &\quad c_{0,12}; c_{0,13}; c_{0,14}) \\
 &= \min (1.9, 4, 5, 6.8, 7.1, 5.8, 5.2, 6.3, 7.3, 7.6, 11, 12, 11.8, 13) \\
 &= 1.9
 \end{aligned}$$

Diperoleh himpunan  $S^* = \{0,1\}$

Sehingga terbentuk tour 0-1-0

\*Himpunan S diatas merupakan himpunan urutan kode rute yang digunakan untuk memudahkan dalam penentuan titik mana yang sudah dan belum termasuk menjadi bagian rute optimum

Iterasi dilanjutkan sampai menemukan rute optimum dari jalur angkutan kota AMG.

Iterasi dilakukan hingga iterasi 13. Dari proses iterasi diperoleh rute optimum:

0-3-9-11-14-13-12-10-5-4-8-7-6-2-1-0

#### Perhitungan waktu

Guna mengetahui waktu tempuh angkutan kota ketika sedang beroperasi, dengan rute optimum yang telah diketahui, maka estimasi waktu optimum untuk angkutan kota Malang jalur AMG, dapat dihitung sebagai berikut :

0-3-9-11-14-13-12-10-5-4-8-7-6-2-1-0

- Dari titik 0-3

$$t = \frac{s}{v} = \frac{5}{40} = \frac{1}{8} = 0.125 \text{ jam} \approx 7.5 \text{ menit} \approx 8 \text{ menit}$$

Perjalanan angkutan kota dari titik 0 tiba di titik 3 pukul 05.08 WIB

Maka waktu yang dibutuhkan pada titik 2 adalah

$$t_{\text{perjalanan}} + t_{\text{tunggu}} + t_{\text{pelayanan}} = 8 + 0 + 5 = 13$$

Sehingga perjalanan dilanjutkan pada pukul 05.13 WIB

- Dari titik 3-9

$$t = \frac{s}{v} = \frac{2.8}{40} = 0,07 \text{ jam} \approx 4,2 \text{ menit} \approx 4 \text{ menit}$$

Perjalanan angkutan kota dari titik 3 tiba di titik 9 pukul 05.17 WIB

Maka waktu yang dibutuhkan pada titik 9 adalah

$$t_{\text{perjalanan}} + t_{\text{tunggu}} + t_{\text{pelayanan}} = 4 + 0 + 5 = 9$$

Sehingga perjalanan dilanjutkan pada pukul 05.22 WIB

Penghitungan berlanjut sampai titik 1-0 dan diperoleh kesimpulan bahwa rute optimal yang dihasilkan yaitu 0-3-9-11-14-13-12-10-5-4-8-7-6-2-1-0 dengan total jarak 29.70 dan waktu 165 menit.

### Penyelesaian Menggunakan Aplikasi TSP-VRP

Penghitungan rute optimum dengan menggunakan alat bantu TSP-VRP [7]. Dengan menginputkan data kedalam aplikasi yaitu data tempat pemberhentian angkutan kota (kode), jarak antar pemberhentian angkutan kota, waktu operasi dan layanan angkutan kota, dan kecepatan rata-rata diasumsikan sama yaitu 40 km/jam. Diperoleh hasil sebagai berikut :

```

Titik      Rute      Panjang
(un Algorithm Insertion)
~~~~~
Titik: 1, Rute: { 0-1-0 }, Jarak: 3.80, Waktu: 10.70
Titik: 2, Rute: { 0-2-1-0 }, Jarak: 8.20, Waktu: 32.30
Titik: 7, Rute: { 0-7-2-1-0 }, Jarak: 11.00, Waktu: 41.50
Titik: 6, Rute: { 0-7-6-2-1-0 }, Jarak: 11.40, Waktu: 47.10
Titik: 3, Rute: { 0-3-7-6-2-1-0 }, Jarak: 11.80, Waktu: 52.70
Titik: 8, Rute: { 0-3-8-7-6-2-1-0 }, Jarak: 14.00, Waktu: 64.00
Titik: 4, Rute: { 0-3-4-8-7-6-2-1-0 }, Jarak: 15.20, Waktu: 70.80
Titik: 5, Rute: { 0-3-5-4-8-7-6-2-1-0 }, Jarak: 17.20, Waktu: 78.80
Titik: 9, Rute: { 0-3-9-5-4-8-7-6-2-1-0 }, Jarak: 18.40, Waktu: 85.60
Titik: 10, Rute: { 0-3-9-10-5-4-8-7-6-2-1-0 }, Jarak: 18.60, Waktu: 95.90
Titik: 11, Rute: { 0-3-9-11-10-5-4-8-7-6-2-1-0 }, Jarak: 22.80, Waktu: 107.20
Titik: 13, Rute: { 0-3-9-11-13-10-5-4-8-7-6-2-1-0 }, Jarak: 26.40, Waktu: 127.60
Titik: 12, Rute: { 0-3-9-11-13-12-10-5-4-8-7-6-2-1-0 }, Jarak: 27.50, Waktu: 141.10
Titik: 14, Rute: { 0-3-9-11-14-13-12-10-5-4-8-7-6-2-1-0 }, Jarak: 29.70, Waktu: 165.00

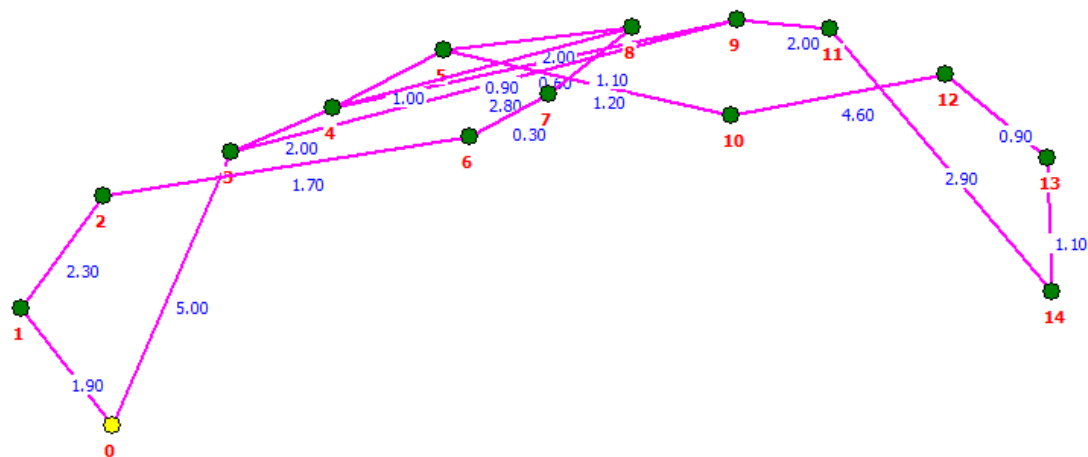
0-3-9-11-14-13-12-10-5-4-8-7-6-2-1-0 }, panjang: 29.70, waktu: 171.00 menit
  
```

Gambar 1 Tampilan Hasil

Iterasi	Titik yang disisipkan	Sisi yang disisipkan	Rute yang dihasilkan
Awal	1	0-0	0-1-0
1	2	0-1	0-2-1-0

2	3	0-2	0-3-2-1-0
3	7	3-2	0-3-7-2-1-0
4	6	7-2	0-3-7-6-2-1-0
5	8	3-7	0-3-8-7-6-2-1-0
6	4	3-8	0-3-4-8-7-6-2-1-0
7	5	3-4	0-3-5-4-8-7-6-2-1-0
8	9	3-5	0-3-9-5-4-8-7-6-2-1-0
9	10	9-5	0-3-9-10-5-4-8-7-6-2-1-0
10	11	9-10	0-3-9-11-10-5-4-8-7-6-2-1-0
11	13	11-10	0-3-9-11-13-10-5-4-8-7-6-2-1-0
12	12	13-10	0-3-9-11-13-12-10-5-4-8-7-6-2-1-0
13	14	11-13	0-3-9-11-14-13-12-10-5-4-8-7-6-2-1-0

Tabel 4 Iterasi Penghitungan menggunakan algoritma CIH



Gambar 2 Tampilan Hasil Graf

### Analisis Hasil

Setelah dilakukan penghitungan menggunakan algoritma *Cheapest Insertion Heuristic* dan alat bantu TSP-VRP. Diperoleh hasil sebagai berikut

- Algoritma *Cheapest Insertion Heuristic*  
Rute yang dihasilkan yaitu 0-3-9-11-14-13-12-10-5-4-8-7-6-2-1-0. Rute ini dimulai dari Terminal Hamid Rusdi → Jl. Kebalen Wetan → Jl. Dokter Cipto → Jl. Sunandar Priyo Sudarmo → Terminal Arjosari → Jl. Raden Intan → Jl. Raden Panji Suroso → Jl. Tumenggung Suryo → Jl. Hamid Rusdi → Jl. Terusan Kesatrian → Jl. Trunojoyo → Jl. Pasar Besar → Jl. Kopral Usman → Jl. Kolonel Sugiono → Terminal Hamid Rusdi. Diperoleh jarak total 29.70 KM dan estimasi waktu 165 menit.
- Alat Bantu TSP-VRP  
Rute optimum yang diperoleh yaitu 0-3-9-11-14-13-12-10-5-4-8-7-6-2-1-0. Rute ini dimulai dari Terminal Hamid Rusdi → Jl. Kebalen Wetan → Jl. Dokter Cipto → Jl. Sunandar Priyo Sudarmo → Terminal Arjosari → Jl. Raden Intan → Jl. Raden Panji

Suroso → Jl. Tumenggung Suryo → Jl. Hamid Rusdi → Jl. Terusan Kesatrian → Jl. Trunojoyo → Jl. Pasar Besar → Jl. Kopral Usman → Jl. Kolonel Sugiono → Terminal Hamid Rusdi. Diperoleh jarak total 29.70 KM dan estimasi waktu 171 menit.

Berdasarkan hasil dari mencari rute optimum angkutan kota dengan dimodelkan dalam bentuk graf berbobot dapat diketahui bahwa dalam teori graf sebagai permasalahan dapat dimodelkan dengan lebih sederhana sehingga masalah dapat terselesaikan.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan untuk mencari rute optimum angkutan kota Malang jalur AMG dapat diperoleh kesimpulan dan saran sebagai berikut.

### Kesimpulan

Dari hasil penghitungan pada permasalahan TSPTW yaitu mencari rute optimum dari angkutan kota Malang jalur AMG. Jarak yang dihasilkan pada penghitungan menggunakan algoritma *Cheapest Insertion Heuristic* dan alat bantu aplikasi TSP-VRP sama, yaitu 29.70 KM. Estimasi waktu yang dihasilkan dari penghitungan manual memiliki selisih waktu 6 menit lebih cepat dari estimasi waktu hasil dari alat bantu TSP-VRP. Sehingga rute yang dihasilkan dari penghitungan algoritma *Cheapest Insertion Heuristic* lebih optimum dari rute yang digunakan saat ini.

### Saran

Berdasarkan uraian penyelesaian permasalahan pencarian rute optimum dari angkutan kota Malang jalur AMG, untuk penelitian selanjutnya bisa menggunakan alat bantu yang lebih optimal yang bisa di simpan sehingga bisa dibuka atau dipelajari sewaktu – waktu. Penelitian ini bisa menjadi bahan referensi untuk kepentingan pembelajaran atau untuk penelitian selanjutnya.

## DAFTAR RUJUKAN

- [1] T. Ma, H. Wang, L. Zhang, Y. Tian, and N. Al-Nabhan, “Graph classification based on structural features of significant nodes and spatial convolutional neural networks,” *Neurocomputing*, vol. 423, pp. 639–650, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.neucom.2020.10.060.
- [2] Y. Wang and Z. Han, “Ant colony optimization for traveling salesman problem based on parameters optimization,” *Appl. Soft Comput.*, vol. 107, p. 107439, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.asoc.2021.107439.
- [3] N. Boland, M. Hewitt, D. M. Vu, and M. Savelsbergh, “Solving the Traveling Salesman Problem with Time Windows Through Dynamically Generated Time-Expanded Networks,” in *Integration of AI and OR Techniques in Constraint Programming*, vol. 10335, D. Salvagnin and M. Lombardi, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 254–262. doi: 10.1007/978-3-319-59776-8\_21.
- [4] R. F. da Silva and S. Urrutia, “A General VNS heuristic for the traveling salesman problem with time windows,” *Discrete Optim.*, vol. 7, no. 4, pp. 203–211, Nov. 2010, doi: 10.1016/j.disopt.2010.04.002.
- [5] R. Hassin and A. Keinan, “Greedy heuristics with regret, with application to the cheapest insertion algorithm for the TSP,” *Oper. Res. Lett.*, vol. 36, no. 2, pp. 243–246, Mar. 2008, doi: 10.1016/j.orl.2007.05.001.
- [6] I. Mulyasari, “Optimasi Rute Distribusi Barang Pos Dari Kantor Pos Blitar ke KCP Wilayah Barat Menggunakan Metode traveling salesman problem with time windows (TSP-TW).” 2018.

- [7] S. Wahyuningsih, D. Satyananda, and D. Hasanah, “KAJIAN KARAKTERISTIK SOLUSI VARIAN TRAVELING SALESMAN PROBLEM (TSP) DAN APLIKASINYA,” no. 978, p. 9, 2015.
- [8] I. Kara and T. Derya, “Formulations for Minimizing Tour Duration of the Traveling Salesman Problem with Time Windows,” *Procedia Econ. Finance*, vol. 26, pp. 1026–1034, 2015, doi: 10.1016/S2212-5671(15)00926-0.
- [9] A. Bretin, G. Desaulniers, and L.-M. Rousseau, “The traveling salesman problem with time windows in postal services,” *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 72, no. 2, pp. 383–397, Feb. 2021, doi: 10.1080/01605682.2019.1678403.
- [10] L. V. Hignasari and E. D. Mahira, “OPTIMIZATION OF GOODS DISTRIBUTION ROUTE ASSISTED BY GOOGLE MAP WITH CHEAPEST INSERTION HEURISTIC ALGORITHM (CIH),” *SINERGI*, vol. 22, no. 2, p. 132, Jun. 2018, doi: 10.22441/sinergi.2018.2.010.
- [11] Q. Lu and M. M. Dessouky, “A new insertion-based construction heuristic for solving the pickup and delivery problem with time windows,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 175, no. 2, pp. 672–687, Dec. 2006, doi: 10.1016/j.ejor.2005.05.012.
- [12] L. V. Hignasari, “Komparasi Algoritma Cheapest Insertion Heuristic (CIH) Dan Greedy Dalam Optimasi Rute Pendistribusian Barang,” *J. Ilm. Vastuwidya*, vol. 2, no. 2, pp. 31–39, Jun. 2020, doi: 10.47532/jiv.v2i2.87.