
OPTIMALISASI RUTE ANGKUTAN KOTA JALUR AL DI KOTA MALANG MENGGUNAKAN ALGORITMA *CHEAPEST INSERTION HEURISTIC* PADA TSPTW

Enik Susanti^{1, a)}, Sapti Wahyuningsih²⁾

^{1,2)}Universitas Negeri Malang

^{a)}*enik.susanti.1703126@students.um.ac.id, sapti.wahyuningsih.fmipa@um.ac.id*

Abstrak

Travelling Salesman Problem with Time Windows (TSPTW) merupakan varian dari TSP yang dapat digunakan untuk pencarian rute optimal dengan mempertimbangkan total waktu perjalanan, waktu pengiriman, waktu pelayanan, dan waktu kedatangan. Rute optimal untuk angkutan kota ialah jika rute angkutan kota dapat melewati tempat-tempat keramaian seperti pasar tradisional, swalayan, kampus, dan rumah sakit yang memungkinkan angkutan kota menjangkau banyak penumpang. Fokus pembahasan artikel ini adalah menentukan rute optimum angkutan kota jalur AL di Kota Malang menggunakan algoritma *Cheapest Insertion Heuristic* pada TSPTW dan alat bantu TSP-VRP. Hasil perhitungan algoritma dengan *Cheapest Insertion Heuristic* diperoleh total jarak sebesar 35.95 km dan total waktu tempuh 149 menit dan menggunakan alat bantu program diperoleh total jarak sebesar 35.95 km dan total waktu tempuh 141 menit. Dengan penelitian ini dapat ditunjukkan salah satu penerapan dari teori graf yakni untuk menentukan rute optimum suatu transportasi.

Kata kunci: algoritma *Cheapest Insertion Heuristic*, TSPTW, rute optimum, transportasi.

PENDAHULUAN

Dinas Perhubungan Kota Malang merupakan salah satu lembaga negara yang menjadi pelaksana otonomi dalam bidang perhubungan. Dinas Perhubungan Kota Malang berwenang untuk mengatur keadaan transportasi di Kota Malang. Bidang Angkutan Jalan merupakan salah satu unit kerja yang ada di Dinas Perhubungan Kota Malang yang bertugas untuk merancang rute angkutan kota dan menyiapkan bahan evaluasi terhadap pelaksanaan pelayanan angkutan darat khususnya angkutan kota. Didalam rute yang sudah ditentukan terdapat halte-halte atau tempat untuk ngetem yang harus dilewati angkutan kota. Di tempat pemberhentian angkutan kota (dapat berupa stasiun, halte atau tempat ngetem) sopir angkutan kota menunggu penumpang. Lama waktu yang diperlukan untuk menunggu pengumpang disetiap tempat pemberhentian angkutan kota mempengaruhi banyak sedikitnya angkutan kota beroperasi dalam sehari. Terkadang rute berangkat dan rute pulang angkutan kota berbeda. Selain itu, rute tersebut ada yang kurang menjangkau banyak penumpang. Sehingga diperlukan rute optimum.

Permasalahan pencarian rute yang optimum dapat direpresentasikan kedalam graf dengan tempat pemberhentian angkutan kota dinyatakan sebagai titik pada graf, lintasan antar tempat pemberhentian angkutan kota dinyatakan sebagai sisi pada graf, dan jarak antar tempat pemberhentian angkutan kota dinyatakan sebagai bobot sisi. Teori graf memiliki beberapa cabang kajian salah satunya *Travelling Salesman Problem* (TSP) [1]. *Travelling Salesman Problem* merupakan permasalahan menemukan rute terpendek

dengan lintasan terpendek pada beberapa tempat yang dikunjungi seorang *salesman* dimana setiap tempat dikunjungi tepat satu kali sebelum kembali ke tempat awal keberangkatan [2]. Seiring berjalannya waktu TSP terus dikembangkan hingga memiliki beberapa varian diantaranya *Multiple Travelling Salesman Problem* (MTSP) yaitu varian TSP dengan tambahan titik tujuan lebih dari satu (depot) [3], *Clustered Travelling Salesman Problem* (CTSP) adalah varian TSP dengan menambahkan cluster pada himpunan titik-titiknya [4] dan *Travelling Salesman Problem with Time windows* (TSPTW) adalah varian TSP dengan tambahan kendala waktu pada setiap titik yang dikunjungi [5].

Berdasarkan permasalahan penentuan rute optimum angkutan kota bahwa TSPTW merupakan varian TSP yang paling sesuai untuk permasalahan tersebut. Pada permasalahan ini, waktu sopir angkutan kota menunggu penumpang di setiap pemberhentian angkutan kota dan waktu operasi angkutan kota dinyatakan sebagai kendala waktu di TSPTW. Sehingga pada artikel penelitian ini, akan membahas mengenai optimalisasi rute angkutan kota jalur AL di Kota Malang menggunakan TSPTW dengan *algoritma Cheapest Insertion Heuristic*. Alat bantu yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan penentuan rute optimum angkutan kota jalur AL adalah aplikasi TSP-VRP.

METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut :

Metode Pengumpulan Data

Data pada penelitian ini diperoleh melalui wawancara dan observasi. Pengambilan data dilakukan dengan wawancara dengan Kepala Seksi Angkutan Dalam Trayek untuk mengetahui rute angkutan kota khususnya angkutan kota jalur AL. Observasi terhadap tempat pemberhentian angkutan kota (dapat berupa terminal, halte, tempat ngetem) dilakukan secara langsung untuk mengetahui lama waktu angkutan kota menunggu penumpang di tempat pemberhentian angkutan kota.

Jenis Data

Jenis data pada penelitian ini ialah data primer dan data sekunder. Data primer ialah data yang diperoleh langsung dari lapangan berupa data tentang data lama angkutan menunggu penumpang di tempat pemberhentian angkutan kota (dapat berupa terminal, halte, tempat ngetem). Sedangkan data sekunder berupa data rute angkutan kota yang diperoleh dari Dinas Perhubungan Kota Malang, data tempat pemberhentian angkutan kota (dapat berupa terminal, halte, tempat ngetem) berdasarkan rute angkutan kota diperoleh dengan bantuan aplikasi Moovit, dan data jarak tempat pemberhentian angkutan kota diperoleh dengan bantuan Google Maps.

Model Matematika TSPTW

Travelling Salesman Problem with Time Windows merupakan permasalahan untuk mencari biaya *tour* minimal dari sekumpulan kota, dimana tiap kota hanya dikunjungi tepat satu kali [6]. Pada permasalahan TSPTW mempertimbangkan lebih dari dua variabel yaitu pencarian rute optimal yang mempertimbangkan total waktu perjalanan, waktu pengiriman, waktu pelayanan, dan waktu kedatangan [7]. Permasalahan TSPTW dimodelkan sebagai graf komplit tak berarah $G = (N, A)$ dengan $N = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ adalah himpunan titik (*customer*), $A = \{a_{ij}, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n, i \neq j\}$ adalah himpunan *arc* dan 0 mewakili depot [8]. Terdapat biaya yang terkait oleh setiap *arc* a_{ij}, \in

A. Biaya C_{ij} merepresentasikan jarak atau waktu diantara titik $i \in N$ yang mempunyai *time windows* $[e_i, l_i]$. Formula TSPTW sebagai berikut :

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} (C_{ij} + s_i), r_{ij}$$

Dengan variabel keputusan

$$r_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \text{jika arc } a_{ij} \in A \text{ ada } 0, \quad \text{sebaliknya}$$

r_{ij} = perjalanan dari titik i ke titik j

t_i = waktu datang di titik $i, i \in N$

w_i = waktu menunggu di titik $i, i \in N$

N = himpunan titik

C_{ij} = waktu perjalanan (jarak) dari i ke titik j , dimana $i, j \in N$

s_i = waktu pelayanan di titik $i, i \in N$

e_i = waktu kedatangan paling awal di titik $i, i \in N$

l_i = waktu kedatangan terakhir di titik $i, i \in N$

Batasan-batasan dari TSPTW sebagai berikut :

1. Batasan 1 : Setiap titik dikunjungi tepat satu kali

$$\sum_{i \in N} r_{ij} = 1 \text{ dan } \sum_{j \in N} r_{ji} = 1 \quad \forall i, j \in N, i \neq j$$

2. Batasan 2 : Waktu datang ditambah waktu menunggu lebih dari sama dengan jam buka dan kurang dari sama dengan jam tutup setiap titik.

$$e_i \leq t_i + w_i \leq l_i, \quad \forall i \in N$$

3. Batasan 3 : *Time windows* kurang dari sama dengan waktu perjalanan dan M dinotasikan bilang *real* terbesar.

$$t_j - t_i - C_{ij} - s_i - w_i \geq -M(1 - r_{ij}) \quad \forall i, j \in N, i \neq j$$

Algoritma *Cheapest Insertion Heuristic* pada TSPTW

Algoritma *Cheapest Insertion Heuristic* (CIH) merupakan salah satu algoritma yang digunakan menyelesaikan permasalahan *Travelling Salesman Problem With Time Windows* (TSPTW), yaitu mencari suatu siklus hamilton yang memiliki bobot minimum [9]. Keistimewaan algoritma CIH adalah untuk proses seleksi titik yang akan disisipkan dilakukan pada setiap titik di luar *tour* dan setiap sisi di dalam *tour* [10].

Langkah-langkah Algoritma CIH, sebagai berikut :

1. Pilih sebarang titik i_0 sebagai titik awal.
2. Cari titik k dalam graf sehingga $C_{i_0, k}$ adalah minimum dan membentuk tour $i_0 - k - i_0$.
3. Langkah pemilihan, dari tour yang 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 .
4. Kembali lakukan langkah 3 sampai membentuk siklus hamilton.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada saat beroperasi, rute berangkat dan rute pulang angkutan kota terkadang berbeda. Sehingga memungkinkan salah satu rute bisa lebih jauh dan kurang menjangkau banyak penumpang. Lama angkutan kota menunggu penumpang di setiap tempat pemberhentian angkutan kota mempengaruhi banyak sedikitnya angkutan kota beroperasi dalam satu hari. Oleh karena itu, diperlukan pengoptimalan rute angkutan kota dengan memperhatikan kendala *time windows* (jendela waktu).

Berdasarkan permasalahan penentuan rute angkutan kota khususnya jalur AL yang optimum maka varian graf yang paling sesuai untuk penentuan rute optimum angkutan kota jalur AL ialah TSPTW. Karena TSPTW merupakan varian dari TSP yang dapat digunakan untuk pencarian rute optimal dengan mempertimbangkan total waktu perjalanan, waktu pengiriman, waktu pelayanan, dan waktu kedatangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan rute angkutan kota jalur AL menggunakan TSPTW dengan algoritma CIH dan alat bantu TSP-VRP. Variabel- variabel yang diperlukan dalam permasalahan diatas yaitu :

1. Tempat pemberhentian angkutan kota AL (dapat berupa terminal, halte ataupun tempat ngetem).
2. Waktu operasi angkutan kota disetiap tempat pemberhentian angkutan kota dan lama angkutan kota berhenti.
3. Jarak antar tempat pemberhentian angkutan kota jalur AL.

Variabel-variabel diatas, akan dimodelkan kedalam bentuk graf komplit. Tempat pemberhentian angkutan kota mewakili titik pada graf, lintasan yang menghubungkan antar tempat pemberhentian angkutan kota mewakili sisi graf dan jarak antar tempat pemberhentian angkutan kota mewakili bobot sisi graf. Berikut merupakan data tempat pemberhentian angkutan kota jalur AL beserta *time windows*.

Tabel 1. Tempat Pemberhentian Angkutan Kota Jalur AL beserta *Time Windows*

Kode	Tempat Pemberhentian Angkutan Kota Jalur AL	Waktu		Lama angkutan kota berhenti (menit)
		Buka	Tutup	
0	Terminal Arjosari	05.00	20.00	0
1	Jl. Raden Intan (pangkalan ojek TASPEN)	05.00	20.00	10
2	Jl. Raden Panjisuroso (Hotel Nugraha)	05.00	20.00	2
3	Jl. Tenaga Utara (Kantor Kelurahan Blimbing)	05.00	20.00	2
4	Jl. WR. Supratman (halte WR. Supratman)	05.00	20.00	3
5	Jl. Trunojoyo (Depan Stasiun Kota Malang)	05.00	20.00	10
6	Jl. Semeru (Perpustakaan Kota Malang)	05.00	20.00	2

7	Jl. Ijen (Gereja)	05.00	20.00	2
8	Jl. Bondowoso (pertigaan Jl. Bondowoso dan Jl. Jombang)	05.00	20.00	10
9	Jl. Jombang (pertigaan Jl. Jombang dan Jl. Surabaya)	05.00	20.00	5
10	Jl. Jakarta (Halte Sob)	05.00	20.00	2
11	Jl. Bogor (Taman Makam Pahlawan)	05.00	20.00	2
12	Jl. Veteran (Matos)	05.00	20.00	5
13	Jl. Gayana (Kampus UIN Malang)	05.00	20.00	2
14	Jl. MT. Haryono (UNISMA)	05.00	20.00	2
15	Terminal Landungsari	05.00	20.00	30

Pada Tabel 1, lama angkutan menunggu penumpang disetiap tempat pemberhentian angkutan kota. waktu buka dan waktu tutup setiap tempat pemberhentian angkutan kota mewakili *time windows* pada permasalahan TSPTW.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0		1	1,6	2,9	5,8	6,7	8,3	8,6	9,7	9,9	11,2	11,3	11,7	13,3	14,3	23,3
1	1		2,3	3,4	6,7	7,5	9,3	9,8	10,7	10,9	11,2	11,6	12,2	13,5	14,9	22,7
2	1,6	2,3		3,6	4,2	4,8	6,8	7,5	7,8	8,3	9	9,6	10,3	12,5	13,9	21,7
3	2,9	3,4	3,6		0,55	1,9	4,6	5,3	5,5	5,6	6,3	7,3	7,6	10,0	11,2	20,6
4	5,8	6,7	4,2	0,55		0,9	4,0	5,0	5,2	5,3	6,0	7,0	7,3	9,7	10,5	16,1
5	6,7	7,5	4,8	1,9	0,9		3,0	4,0	4,2	4,3	5,6	6,2	7,1	9,3	10,6	14,5
6	8,3	9,3	6,8	4,6	4,0	3,0		1,0	1,3	1,4	2,6	2,7	3,3	5,7	6,4	10,0
7	8,6	9,8	7,5	5,3	5,0	4,0	1,0		0,2	0,4	1,5	2,1	2,8	5,2	6,5	9,5
8	9,7	10,7	7,8	5,5	5,2	4,2	1,3	0,2		0,4	1,4	2,0	2,7	4,0	5,2	8,6
9	9,9	10,9	8,3	5,6	5,3	4,3	1,4	0,4	0,4		1,0	1,7	2,4	4,0	5,2	9,6
10	11,2	11,2	9	6,3	6,0	5,6	2,6	1,5	1,4	1,0		0,7	1,4	3,8	5,0	7,2
11	11,3	11,6	9,6	7,3	7,0	6,2	2,7	2,1	2,0	1,7	0,7		0,7	3,1	4,4	7,0
12	11,7	12,2	10,3	7,6	7,3	7,1	3,3	2,8	2,7	2,4	1,4	0,7		2,8	4,1	6,7
13	13,3	13,5	12,5	10,0	9,7	9,3	5,7	5,2	4,0	4,0	3,8	3,1	2,8		1,4	3,7
14	14,3	14,9	13,9	11,2	10,5	10,6	6,4	6,5	5,2	5,2	5,0	4,4	4,1	1,4		2,2
15	23,3	22,7	21,7	20,6	16,1	14,5	10,0	9,5	8,6	9,6	7,2	7,0	6,7	3,7	2,2	

Gambar 1. Data Jarak Antar Tempat Pemberhentian Angkutam Kota Jalur AL

Pada Gambar 1, data jarak antar tempat pemberhentian angkutan kota jalur AL yang diperoleh dengan bantuan Google Maps. Terminal Arjosari mewakili depot angkutan kota jalur AL. Rute optimum untuk angkutakan kota jalur AL ialah jika angkutan kota dapat melewati tempat-tempat keramaian seperti pasar tradisional,

swalayan, kampus, dan rumah sakit yang memungkinkan angkutan kota menjangkau banyak penumpang.

Penyelesaian Menggunakan Algoritma CIH pada TSPTW

Perhitungan menggunakan algoritma CIH memerlukan input data berupa data tempat pemberhentian angkutan kota jalur AL beserta *time windows* (dapat dilihat pada Tabel 1) dan data jarak antar tempat pemberhentian angkutan kota (dapat dilihat pada Gambar 1). Berikut langkah – langkah penyelesaian permasalahan menggunakan algoritma CIH.

Iterasi awal

1. Pilih titik awal yaitu titik 0 sehingga $i_0 = 0$

2. Mencari titik k

$$\begin{aligned} C_{i_0,k} &= \min (C_{0,1}; C_{0,2}; C_{0,3}; C_{0,4}; C_{0,5}; C_{0,6}; C_{0,7}; C_{0,8}; C_{0,9}; C_{0,10}; C_{0,11}; C_{0,12}; \\ & C_{0,13}; C_{0,14}; C_{0,15}) \\ &= \min (1; 1.6; 2.9; 5.8; 6.7; 8.3; 8.6; 9.7; 9.9; 11.2; 11.3; 11.7; 13.3; 14.3; \\ & 23.3) \\ &= 1 \end{aligned}$$

Himpunan titik yang terpilih $S = \{0,1\}$

Sehingga membentuk tour 0-1-0

Iterasi dilanjut sampai membentuk siklus hamilton dan didapatkan rute optimum angkutan kota jalur AL sebagai berikut :

0-2-8-14-15-13-12-11-10-9-7-6-5-4-3-1-0.

Perhitungan waktu

Waktu tunggu merepresentasikan waktu angkutan kota menunggu tempat pemberhentian angkutan kota buka. Karena waktu buka tempat pemberhentian angkutan kota sama dengan waktu angkutan kota beroperasi. Maka waktu tunggu sama dengan 0. Kecepatan rata-rata angkutan kota melaju diasumsikan sama yaitu 40 km/jam.

Menghitung estimasi waktu rute

0-2-8-14-15-13-12-11-10-9-7-6-5-4-3-1-0.

- Dari titik 0 – 2

$$t = \frac{s}{v} = \frac{1.6}{40} = 0,04 \text{ jam} \approx 2.4 \text{ menit} \approx 3 \text{ menit}$$

Sehingga angkutan kota dari titik 0 akan tiba dititik 2 pukul 05.03 WIB. Maka waktu yang dibutuhkan dititik 2 adalah :

$$t_{\text{perjalanan}} + t_{\text{tunggu}} + t_{\text{pelayanan}} = 3 + 0 + 2 = 5$$

sehingga perjalanan akan dilanjutkan pada pukul 05.05 WIB.

- Dari titik 2 – 8

$$t = \frac{s}{v} = \frac{7.8}{40} = 0,195 \text{ jam} \approx 11.7 \text{ menit} \approx 12 \text{ menit}$$

Sehingga angkutan kota dari titik 2 akan tiba dititik 8 pukul 05.17 WIB. Maka waktu yang dibutuhkan dititik 8 adalah :

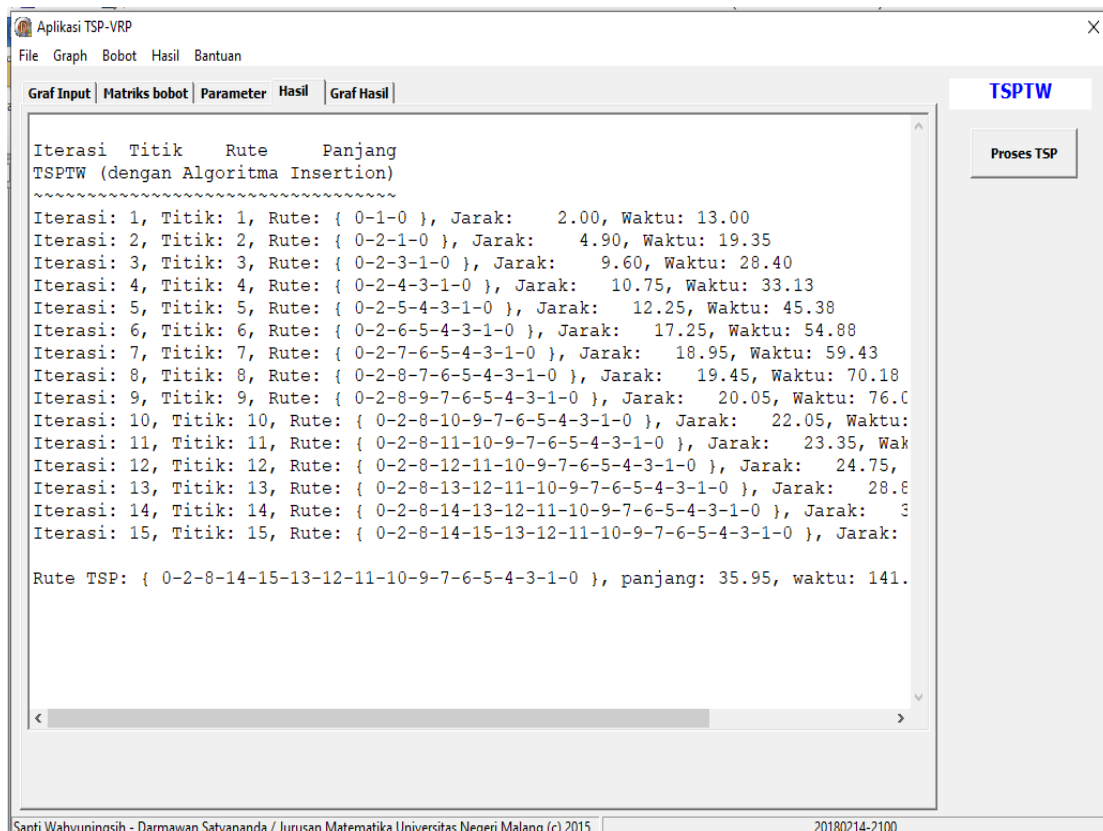
$$t_{\text{perjalanan}} + t_{\text{tunggu}} + t_{\text{pelayanan}} = 12 + 0 + 10 = 22$$

sehingga perjalanan akan dilanjutkan pada pukul 05.27 WIB.

Perhitungan berlanjut hingga hingga titik 1-0. Dari proses perhitungan menggunakan algoritma CIH menghasilkan rute optimum 0-2-8-14-15-13-12-11-10-9-7-6-5-4-3-1-0 dengan total jarak sebesar 35.95 km dan waktu total perjalanan sebesar 149 menit.

Penyelesaian Menggunakan Alat Bantu TSP-VRP

Perhitungan menggunakan alat bantu TSP-VRP dilakukan dengan cara menginputkan data tempat pemberhentian angkutan kota (kode) beserta *time windows* sesuai pada Tabel 1 dan data jarak antar tempat pemberhentian angkutan kota sesuai pada Gambar 1. Alat Bantu TSP-VRP menggunakan algoritma *insertion* untuk menghasilkan rute optimum. Kecepatan rata-rata angkuta kota melaju diasumsikan sama yaitu 40 km/jam. Berikut hasil perhitungan yang didapatkan dari alat bantu TSP-VRP.



```

Aplikasi TSP-VRP
File Graph Bobot Hasil Bantuan
Graf Input | Matriks bobot | Parameter Hasil | Graf Hasil
TSPTW
Proses TSP

Iterasi Titik Rute Panjang
TSPTW (dengan Algoritma Insertion)
~~~~~
Iterasi: 1, Titik: 1, Rute: { 0-1-0 }, Jarak: 2.00, Waktu: 13.00
Iterasi: 2, Titik: 2, Rute: { 0-2-1-0 }, Jarak: 4.90, Waktu: 19.35
Iterasi: 3, Titik: 3, Rute: { 0-2-3-1-0 }, Jarak: 9.60, Waktu: 28.40
Iterasi: 4, Titik: 4, Rute: { 0-2-4-3-1-0 }, Jarak: 10.75, Waktu: 33.13
Iterasi: 5, Titik: 5, Rute: { 0-2-5-4-3-1-0 }, Jarak: 12.25, Waktu: 45.38
Iterasi: 6, Titik: 6, Rute: { 0-2-6-5-4-3-1-0 }, Jarak: 17.25, Waktu: 54.88
Iterasi: 7, Titik: 7, Rute: { 0-2-7-6-5-4-3-1-0 }, Jarak: 18.95, Waktu: 59.43
Iterasi: 8, Titik: 8, Rute: { 0-2-8-7-6-5-4-3-1-0 }, Jarak: 19.45, Waktu: 70.18
Iterasi: 9, Titik: 9, Rute: { 0-2-8-9-7-6-5-4-3-1-0 }, Jarak: 20.05, Waktu: 76.0
Iterasi: 10, Titik: 10, Rute: { 0-2-8-10-9-7-6-5-4-3-1-0 }, Jarak: 22.05, Waktu:
Iterasi: 11, Titik: 11, Rute: { 0-2-8-11-10-9-7-6-5-4-3-1-0 }, Jarak: 23.35, Wak
Iterasi: 12, Titik: 12, Rute: { 0-2-8-12-11-10-9-7-6-5-4-3-1-0 }, Jarak: 24.75,
Iterasi: 13, Titik: 13, Rute: { 0-2-8-13-12-11-10-9-7-6-5-4-3-1-0 }, Jarak: 28.8
Iterasi: 14, Titik: 14, Rute: { 0-2-8-14-13-12-11-10-9-7-6-5-4-3-1-0 }, Jarak: 3
Iterasi: 15, Titik: 15, Rute: { 0-2-8-14-15-13-12-11-10-9-7-6-5-4-3-1-0 }, Jarak:

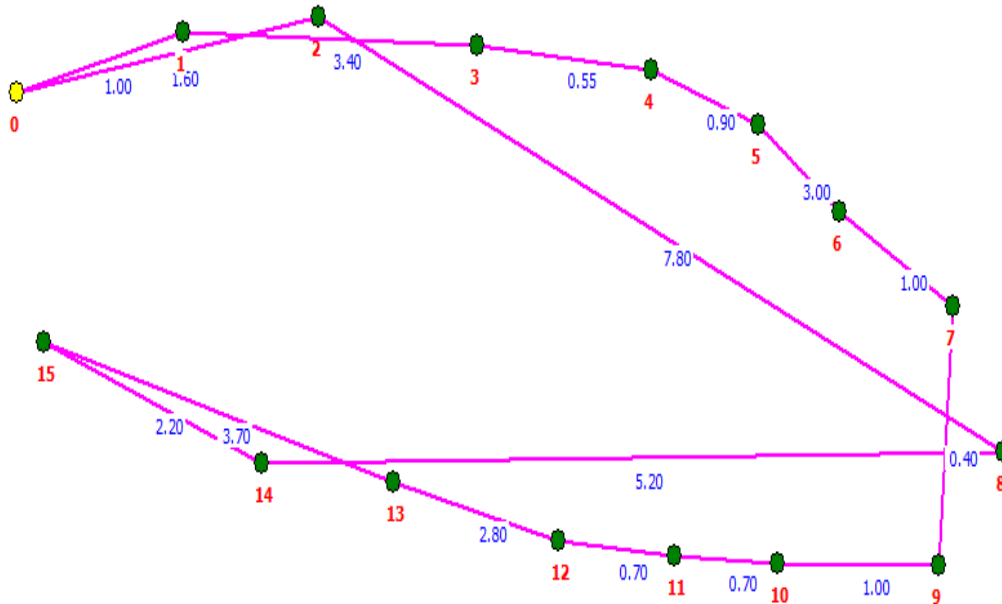
Rute TSP: { 0-2-8-14-15-13-12-11-10-9-7-6-5-4-3-1-0 }, panjang: 35.95, waktu: 141.

Sapti Wahyuningsih - Darmawan Satyananda / Jurusan Matematika Universitas Negeri Malang (c) 2015 20180214-2100

```

Gambar 2. Hasil Perhitungan Alat Bantu TSP-VRP

Berdasarkan Gambar 2, iterasi dilakukan sebanyak 15 kali dan dihasilkan rute 0-2-8-14-15-13-12-11-10-9-7-6-5-4-3-1-0 dengan total jarak sebesar 35.95 km dan waktu total perjalanan sebesar 141 menit. Berikut graf yang dihasilkan dari alat bantu TSP-VRP.



Gambar 3. Graf Hasil

Pada Gambar 3, titik berwarna kuning merepresentasikan depot yaitu terminal arjosari dan titik berwarna hijau merepresentasikan tempat pemberhentian angkutan kota. Garis berwarna *purple* merepresentasikan lintasan antar tempat pemberhentian angkutan kota. Bobot graf merepresentasikan jarak antar tempat pemberhentian angkutan kota.

Analisa Hasil

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan algoritma CIH dan alat bantu TSP-VRP didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 2. Hasil Perhitungan

	Rute yang Dihasilkan	Jarak Total (km)	Waktu Total (Menit)
Perhitungan Menggunakan Algoritma CIH	0-2-8-14-15-13-12-11-10-9-7-6-5-4-3-1-0	35.95	149
Perhitungan Menggunakan Alat Bantu TSP-VRP	0-2-8-14-15-13-12-11-10-9-7-6-5-4-3-1-0	35.95	141

Berdasarkan Tabel 2, rute yang dihasilkan dari perhitungan menggunakan algoritma CIH dan alat bantu TSP-VRP sama yaitu 0-2-8-14-15-13-12-11-10-9-7-6-5-4-3-1-0 dengan kata lain rute angkutan kota jalur AL dimulai dari Terminal Arjosari → Jl. Raden Panjisuroso → Jl Bondowoso → Jl MT. Haryono → Terminal Landungsari → Jl Gajayana → Jl Veteran → Jl Bogor → Jl Jakarta → Jl Jombang → Jl. Ijen → Jl.Semeru → Jl Trunojoyo → Jl WR. Supratman → Jl Tenaga Utara → Jl. Raden Intan → Terminal Arjosari dan jarak sebesar 35.95 km. Sedangkan waktu total perjalanan yang dihasilkan dari perhitungan algoritma CIH sebesar 149 menit dan waktu total perjalanan yang dihasilkan dari alat bantu TSP-VRP sebesar 141 menit.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian kesimpulan penelitian ini:

1. Permasalahan penentuan rute optimum dimodelkan dalam graf komplit dan diselesaikan dengan menggunakan algoritma CIH pada TSPTW dan alat bantu TSP-VRP.
2. Penyelesaian permasalahan menggunakan algoritma CIH pada TSPTW dan alat bantu TSP-VRP menghasilkan rute yang sama dengan total jarak sebesar 35.95 km. Namun estimasi waktu didapatkan dari algoritma CIH 8 menit lebih lama dari alat bantu TSP-VRP.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] M. Gunduz and M. Aslan, "DJAYA: A discrete Jaya algorithm for solving traveling salesman problem," *Appl. Soft Comput.*, vol. 105, p. 107275, 2021, doi: 10.1016/j.asoc.2021.107275.
- [2] İ. Küçüköglu, R. Dewil, and D. Catrysse, "Hybrid simulated annealing and tabu search method for the electric travelling salesman problem with time windows and mixed charging rates," *Expert Syst. Appl.*, vol. 134, pp. 279–303, 2019, doi: 10.1016/j.eswa.2019.05.037.
- [3] O. Cheikhrouhou and I. Khoufi, "A comprehensive survey on the Multiple Traveling Salesman Problem: Applications, approaches and taxonomy," *Comput. Sci. Rev.*, vol. 40, p. 100369, 2021, doi: 10.1016/j.cosrev.2021.100369.

- [4] X. Bao, Z. Liu, W. Yu, and G. Li, “A note on approximation algorithms of the clustered traveling salesman problem,” *Inf. Process. Lett.*, 2017, doi: 10.1016/j.ipl.2017.07.003.
- [5] Y. Yuan, D. Cattaruzza, M. Ogier, and F. Semet, “A branch-and-cut algorithm for the generalized traveling salesman problem with time windows,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 286, no. 3, pp. 849–866, 2020, doi: 10.1016/j.ejor.2020.04.024.
- [6] R. Suganda, E. Sutrisno, and I. W. Wardana, “Optimalisasi Travelling Salesman with Time Windows (TSPTW) Dengan Algoritma Semut,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [7] M. López-Ibáñez and C. Blum, “Beam-ACO for the travelling salesman problem with time windows,” *Comput. Oper. Res.*, 2018, doi: 10.1016/j.cor.2009.11.015.
- [8] N. Boland, M. Hewitt, D. M. Vu, and M. Savelsbergh, “Solving the traveling salesman problem with time windows through dynamically generated time-expanded networks,” *Lect. Notes Comput. Sci.*, vol. 10335 LNCS, no. June, pp. 254–262, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-59776-8_21.
- [9] D. Rachmawati and Wilyanto, “Implementation of Modified Cheapest Insertion Heuristic on Generating Medan City Tourism Route,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1566, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1566/1/012076.
- [10] L. V. Hignasari and E. D. Mahira, “Optimization Of Goods Distribution Route Assisted By Google Map With Cheapest Insertion Heuristic Algorithm (CIH),” *Sinerg. Press*, vol. 22, p. 2, 2018, doi: 10.22441/sinergi.2018.2.010.