



Penerapan Algoritma Tabu Search pada Capacitated Vehicle Routing Problem Pengangkutan Sampah di Kota Padang Sidempuan

Rully Rumaida^{1*}, Fibri Rakhmawati², Dedy Juliandri³

^{1,2,3}Program Studi Matematika, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Medan, Indonesia

Korespondensi penulis: nasutionrully1@gmail.com *

Abstract. Waste transportation activities are an example of a form of Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) related to finding the minimum route. The Tabu Search algorithm is one of the metaheuristic methods that can guide the heuristic local search procedure to explore the solution area outside the local optimal point. The Tabu Search algorithm can be used to find the optimal VRP solution, namely the route that has the minimum total mileage by considering vehicle capacity. The purpose of this research is to determine the optimal route for garbage transportation in the Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) model in Padang Sidempuan City using the Tabu Search algorithm. Based on the results of the study, it is concluded that the optimal route for transporting waste in the Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) model in Padang Sidempuan City using the Tabu Search algorithm obtained the shortest route in iteration 1 with the route (12-11-10-9-8-7-6-5-4-3-2-1-0) and route length 16.55 km.

Keywords: Tabu Search Algorithm, Capacitated Vehicle Routing Problem, Waste Transportation.

Abstrak. Kegiatan pengangkutan sampah merupakan salah satu contoh bentuk masalah *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) terkait dengan pencarian rute minimum. Algoritma Tabu Search merupakan salah satu metode metaheuristik yang dapat menuntun prosedur pencarian lokal heuristik untuk menjelajahi daerah solusi di luar titik optimal lokal. Algoritma Tabu Search dapat digunakan untuk mencari solusi optimal VRP yaitu rute yang memiliki total jarak tempuh minimum dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan. Tujuan pada penelitian ini adalah untuk menentukan rute optimal pengangkutan sampah pada model *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) di Kota Padang Sidempuan dengan menggunakan algoritma *Tabu Search*. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh kesimpulan bahwa rute optimal pengangkutan sampah pada model *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) di Kota Padang Sidempuan dengan menggunakan algoritma *Tabu Search* diperoleh rute terpendek pada iterasi 1 dengan rute (12-11-10-9-8-7-6-5-4-3-2-1-0) dan panjang rute 16,55 km.

Kata kunci: Algoritma Tabu Search, *Capacitated Vehicle Routing Problem*, Pengangkutan Sampah.

1. LATAR BELAKANG

Permasalahan sampah di Indonesia sampai saat ini masih menjadi persoalan serius yang terus diperhatikan, seperti masalah pengangkutan sampah dan pengelolaan sampah. Terdapat banyak faktor yang menyebabkan peningkatan volume sampah di Indonesia, salah satunya adalah pertumbuhan penduduk. Provinsi Sumatera Utara merupakan Provinsi terbesar ke-6 di Indonesia dengan laju pertumbuhan penduduk meningkat rata-rata sebesar 98,7 ribu setiap tahun (BPS, Sensus Penduduk 2020).

Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan (DLHK) Kota Padang Sidempuan merupakan pihak yang bertanggung jawab untuk menangani masalah sampah. Di Padang Sidempuan pengangkutan sampah dilakukan dengan cara mengangkut sampah dari Tempat Pembuangan Sementara (TPS) yang terdapat di setiap wilayah kerja menuju Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Padang Sidempuan dibagi menjadi empat wilayah kerja (WK), untuk mengangkut sampah-sampah dari setiap WK digunakan truk DLHK dengan jenis *armroll*

sebanyak satu armada dan *dump truck* sebanyak tiga armada. Mekanisme pengangkutan sampah dilakukan dengan cara mengangkut sampah dari setiap TPS yang tersedia baik itu berupa kontainer, tempat sampah yang terbuat dari *fiber* atau tempat sampah yang terbuat dari beton. Sampah yang telah terkumpul di TPS akan diangkut menggunakan truk pengangkut yang tersedia di setiap WK menuju TPS lainnya hingga kapasitas truk penuh, selanjutnya dibawa menuju TPA Padang Sidempuan

Algoritma Tabu Search merupakan salah satu metode metaheuristik yang dapat menuntun prosedur pencarian lokal heuristik untuk menjelajahi daerah solusi di luar titik optimal local. Algoritma Tabu Search dapat digunakan untuk mencari solusi optimal VRP yaitu rute yang memiliki total jarak tempuh minimum dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan. Langkah Algoritma Tabu Search dimulai dengan penentuan initial solution menggunakan *Nearest Neighbor*, evaluasi move menggunakan metode 2-Opt, *Relocated*, dan *Exchange*, update Tabu List, kemudian apabila kriteria pemberhentian terpenuhi maka proses Algoritma Tabu Search berhenti jika tidak, maka kembali pada evaluasi move. Pembuatan suatu program (rancang bangun) dapat mempercepat proses pencarian solusi optimal pada VRP. Program (rancang bangun) dibuat menggunakan MATLAB yang dimulai dengan membuat source code utama menggunakan m.file kemudian desain tampilan dirancang menggunakan *fig-file* sehingga diperoleh program dalam bentuk GUI (*Graphical User Interface*).

Kegiatan pengangkutan sampah merupakan salah satu contoh bentuk masalah *Vehicle Routing Problem* (VRP) terkait dengan pencarian rute minimum (Hartono *et al.* 2018). Menurut Indrawati *et al.* (2016) banyak faktor yang mempengaruhi proses pengangkutan sampah dari TPS ke TPA antara lain kapasitas alat angkut, volume sampah dari masing-masing TPS, dan jarak yang ditempuh. Proses pengangkutan sampah dengan memperhatikan kapasitas kendaraan dan kapasitas permintaan (sampah) pada setiap rute disebut *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP). CVRP merancang rute pengiriman yang optimal dimana setiap kendaraan hanya mengambil satu kali yaitu dari depot ke masing-masing agen dan kemudian kembali ke depot (Yuliza *et al.* 2020).

Permasalahan CVRP terdiri dari dua bentuk, yaitu CVRP dalam bentuk matriks *symmetric* dimana perjalanan dari tempat *i* ke *j* sama dengan perjalanan dari tempat *j* ke *i* sehingga matriks jarak yang dihasilkan berupa matriks *symmetric*. CVRP bentuk kedua berupa matriks *asymmetric* dimana perjalanan dari tempat *i* ke *j* tidak sama dengan perjalanan dari tempat *j* ke *i* sehingga matriks jarak yang dihasilkan berupa matriks *asymmetric*. Pencarian rute terpendek pada model *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) dapat diselesaikan

dengan beberapa metode, seperti metode eksak, metode heuristik dan metode metaheuristik.

Metode metaheuristik terdiri dari beberapa varian yaitu, *Simulated Annealing*, Algoritma Genetika, *Cross Entropy*, *Particle Swarm Optimization*, dan Algoritma *Tabu Search* (Varita *et al.* 2018). Menurut Purwadana *et al.* (2018) metode *Tabu Search* merupakan pencarian solusi menggunakan *short term memory* atau ingatan jangka pendek agar tidak terjebak pada nilai optimum lokal. Metode ini bertujuan untuk mencari solusi terbaik dari setiap iterasi dan memasukkannya pada *Tabu List*, solusi yang sudah ada pada *Tabu List* tidak akan dievaluasi lagi. Solusi terbaik dari setiap iterasi termuat dalam *Tabu List*, yang selanjutnya akan diseleksi untuk mendapatkan solusi yang paling optimal.

Simanjuntak (2019) telah mendesain rute optimal pengangkutan sampah di Kota Palembang dengan model *Demand robust Counterpart Open Capacitated Vehicle Routing Problem With Time Windows and Deadline* (DRC-OCVRP_{tw,d}) berbasis Lingo 13.0, yang memperhatikan waktu dan ketidakpastian data pada volume sampah. Penelitian tersebut mengasumsikan bahwa jarak dari TPA ke TPS sama dengan jarak dari TPS ke TPA, sehingga matriks jarak yang terbentuk adalah *symmetric*. Namun pada kenyataan yang terdapat di lapangan, tidak semua jarak dari TPA ke TPS sama dengan jarak dari TPS ke TPA.

Penelitian pada model CVRP dengan Algoritma *Tabu Search* disini menggunakan struktur *short term memory* yang disimpan dalam *tabu list*, sehingga kecepatan eksekusi lebih tinggi karena tidak kembali pada solusi yang telah ditemukan sebelumnya. Berfokus pada keadaan nyata yang terjadi di lapangan, dimana truk pengangkut sampah dapat memulai perjalanan dari mana saja seperti rumah sopir, dan tidak harus kembali ke titik awal perjalanan. Bentuk matriks jarak yang *asymmetric* dengan kata lain jarak dari TPS A ke TPS B belum tentu sama dengan jarak dari TPS B ke TPS A. Oleh sebab itu, pada penelitian ini akan ditentukan rute optimal pengangkutan sampah dengan model CVRP di Padang Sidepuan dengan menggunakan Algoritma *Tabu Search*.

2. METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif. Metode penelitian kuantitatif diartikan sebagai bagian dari serangkaian investigasi sistematis terhadap fenomena dengan mengumpulkan data untuk kemudian diukur dengan teknik statistik matematika atau komputasi.

Sumber Data

Sumber data pada penelitian ini merupakan data primer berupa pengamatan langsung dan wawancara. Wawancara merupakan pengumpulan data dengan mengajukan pertanyaan secara langsung. Wawancara dilakukan untuk melengkapi data penelitian yang tidak terdapat pada dokumen dinas yang bersangkutan. Sedangkan pengamatan langsung dilakukan dengan mengikuti proses pengangkutan sampah di lapangan. Data sekunder berupa data yang diambil pada Dinas Lingkungan Hidup Kota Padang Sidempuan.

Variabel Penelitian

Menurut Sugiyono (2017) variabel penelitian adalah segala sesuatu yang berbentuk apa saja yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga memperoleh informasi tentang hal tersebut, kemudian ditarik kesimpulannya. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah variabel independen dan dependen. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini pengangkutan sampah di tiap dusun Kota Padang Sidempuan . Dan Variabel dependennya adalah rute terpendek serta lintasan sistem informasi geografisnya.

c = lintasan yang dibentuk dari dusun yang akan diangkut sampah

n = banyaknya desa yang akan diangkut sampah

j = jarak yang ditempu pada setiap dusun

x_1 = rute sampah kota Padang Sidempuan

x_2 = rute sampah kota Padang Sidempuan yang ditukar

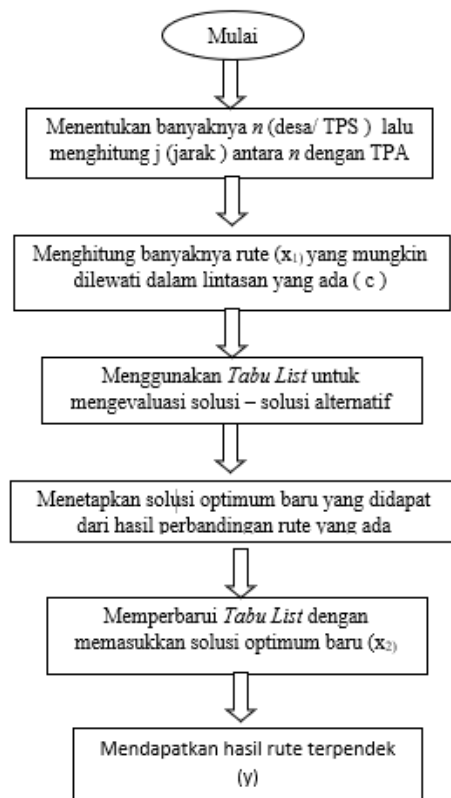
y = hasil rute terpendek

Teknik Analisis Data

Teknik ini menjabarkan analisa Penerapan algoritma *tabu search* pada *capacitated vehicle routing problem*.

1. Studi Literatur : Pada tahap ini dilakukan pengumpulan referensi yang diperlukan dalam penelitian. Hal ini dilakukan untuk memperoleh informasi dan data yang diperlukan untuk penulisan skripsi ini. Referensi yang digunakan dapat berupa buku, jurnal, artikel, situs internet yang berkaitan dengan penelitian ini dengan beberapa topik seperti pengertian *algoritma Tabu Search*, *Vehicle Routing Problem*, *Capacitated Vehicle Routing Problem*, *teori graf*.
2. Pengumpulan dan Analisis Data : Pada tahap ini dilakukan pengumpulan dan analisa data yang berhubungan dengan penelitian ini seperti fungsi algoritma *Tabu Search* dalam rute pengangkutan sampah di Kota Padang Sidempuan.

3. Implementasi Sistem : Pada tahap ini dilakukan pengumpulan dan analisa data yang berhubungan dengan penelitian ini seperti fungsi algoritma *Tabu Search* dalam rute pengangkutan sampah di Kota Padang Sidempuan yaitu:
 - a. Pendataan dari Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan (DLHK) berupa data jenis kendaraan, lokasi RPS, jenis TPS, dan volume sampah di masing-masing wilayah kerja di Kota Padang Sidempuan.
 - b. Mendeskripsikan data dari TPA ke TPS dan antar TPS di Kota Padang Sidempuan dan jarak dengan mengukur jarak dan masing – masing TPA ke TPS dan antar TPS menggunakan *Google Maps*.
 - c. Implementasikan langkah-langkah mencari rute optimal menggunakan Algoritma *Tabu Search* secara manual.
 - d. Menentukan rute pengangkutan sampah yang optimal di Kota Padang Sidempuan.
4. Diagram Alur: Adapun langkah – langkah yang akan digunakan oleh peneliti dalam mencapai tujuan penelitian ini adalah:



Gambar 1. Diagram Alur

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Data

Padang Sidempuan adalah kota di Provinsi Sumatera Utara dan menjadi kota terbesar di wilayah Tapanuli dan seluruh wilayahnya dikelilingi oleh Kabupaten Tapanuli Selatan. Kota ini terkenal dengan julukan Kota Salak karena dikelilingi oleh perbukitan dan gunung yang menjadi kawasan perkebunan buah salak. Kota Padang Sidempuan memiliki luas sekitar 159,28 km² dengan jumlah penduduk sebesar 231.062 jiwa dan kepadatan 1.451 jiwa/km².

Berdasarkan hasil wawancara dengan Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan Kota Padang Sidempuan, diperoleh informais bahwasanya pengangkutan sampah dilakukan berdasarkan kecamatan masing-masing. Sehingga dalam penelitian ini dibatasi dengan pembahasan yang hanya membahas tentang rute pengangkutan sampah di Kecamatan Padang Sidempuan Selatan. Data penelitian ini berupa data TPA dan TPS yang diambil dari Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan (DLHK) dan diukur menggunakan *Google Maps* dalam satuan km.

Daftar Kelurahan yang dilalui untuk pengangkutan sampah di Kecamatan Padang Sidempuan Selatan Kota Padang Sidempuan: Kelurahan Aek Tampang, Kelurahan Hanopan, Kelurahan Losung Batu, Kelurahan Padang Matinggi, Kelurahan Padang Matinggi Lestari, Kelurahan Sidangkal, Kelurahan Silandit, Kelurahan Sitamiang, Kelurahan Sitamiang, Kelurahan Ujung Pandang, Kelurahan Wek V, Kelurahan Wek VI

Pengangkutan sampah di Kecamatan Padang Sidempuan Selatan sudah diserahkan oleh pihak Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Padang Sidempuan ke kecamatan Padang Sidempuan Selatan. Sehingga pengangkutan sampah dilakukan oleh Petugas utusan dari Kecamatan untuk mengurus urusan pengangkutan sampah menggunakan truk pengangkut sampah. Pengangkutan sampah dilakukan kepada 12 kelurahan di Kecamatan Padang Sidempuan Selatan yang dimulai dari jarak paling dekat dengan kantor camat Padang Sidempuan Selatan hingga ke TPA. Jarak antara kelurahan dengan kantor camat dapat dilihat pata tabel 1.

Tabel 1 Jarak (km) Wilayah Kerja Kecamatan Padang Sidempuan Selatan

	TPA (0)	TPS (1)	TPS (2)	TPS (3)	TPS (4)	TPS (5)	TPS (6)	TPS (7)	TPS (8)	TPS (9)	TPS (10)	TPS (11)	TPS (12)
TPA(0)	0	0,35	1,35	2,35	3,35	6,3	7,9	9,1	11,6	14,2	14,9	15,8	17
TPS (1)	0,35	0	1	2	3	6	7,3	8,5	11	13,6	14,2	14,9	16
TPS(2)	1,3	1	0	1	2	5	6,3	7,5	10	12,6	14,3	15	16,2
TPS(3)	2,3	2	1	0	1	4	5,3	6,5	9	11,6	12,3	13	14,2
...
TPS (12)	17	16	16,2	14,2	13,7	10,1	8,9	8,7	5,1	2,6	1,9	1,2	0

Dimana : TPA (0) – TPA Padang Sidempuan Selatan, TPS (1) - Kelurahan Aek Tampang, TPS (2) - Kelurahan Hanopan, TPS (3) - TPS (12) - Kelurahan Wek VI.

Proses Perhitungan Algoritma *Tabu Search* untuk *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP)

Dalam hal ini rute telah diatur untuk selalu dimulai dari TPA kemudian rute awal masuk dalam *Tabu List* karena merupakan solusi optimum pada iterasi 0. Jumlah iterasi maksimal adalah sebanyak TPS pada setiap wilayah kerja. Dalam proses algoritma tabu search, maka digunakan cara sebagai berikut :

Contoh :

Struktur awal

1	2	3	4
---	---	---	---

Jika dengan proses random didapat atribut ke-3 maka struktur dapat berubah menjadi :

1	2	3	4
---	---	---	---



1	3	2	4
---	---	---	---

Proses perhitungan manual berdasarkan algoritma *Tabu search*

Langkah 1

Langkah pertama yang dilakukan adalah memilih solusi awal dan menentukan solusi awal tersebut sebagai solusi optimum pada iterasi ke0 (0). Solusi awal ditentukan dengan mencari titik yang terdekat dengan depot dan menambahkan titik terdekat dengan titik sebelumnya pada rute sepanjang tidak membentuk *cycle*, begitu seterusnya hingga semua titik dikunjungi. Dengan metode tersebut diperoleh solusi awal yaitu jalur 1 7 11 4 5 8 3 9 6 2 10 dan secara otomatis solusi tersebut masuk dalam *tabu list* pada iterasi ke 0 sekaligus sebagai solusi optimum awal.

Langkah 2

Langkah ke-2 yaitu menentukan iterasi selanjutnya dan mencari solusi alternatif yang tidak melanggar kriteria tabu. Solusi alternatif diperoleh dengan menukar posisi dua titik atau *dealer* berdasarkan indeks. Banyak indeks sama dengan = 68.

Pada iterasi ke 0 dipenuhi iterasi 1 7 11 4 5 8 3 9 6 2 10

maka solusi alternatif yang di dapat yaitu: Jika indeks (1) maka posisi titik ke-1 ditukar dengan posisi titik ke-2, diperoleh jalur alternatif ke-1: 7 1 11 4 5 8 3 9 6 2 10.

Jika indeks (2) maka posisi titik ke-1 ditukar dengan posisi titik ke-3, diperoleh jalur alternatif ke-1: 11 7 1 4 5 8 3 9 6 2 10.

Jika indeks (3) maka posisi titik ke-1 ditukar dengan posisi titik ke-4, diperoleh jalur alternatif ke-1 :

4 7 11 1 5 8 3 9 6 2 10

Jika indeks (11) maka posisi titik ke-2 ditukar dengan posisi titik ke-3, diperoleh jalur alternatif ke – 11:

1 11 7 4 5 8 3 9 6 2 10

Jika indeks (12) maka posisi titik ke-2 ditukar dengan posisi titik ke-4, diperoleh jalur alternatif ke – 12:

1 4 11 7 5 8 3 9 6 2 10

Jika indeks (13) maka posisi titik ke-3 ditukar dengan posisi titik ke-5, diperoleh jalur alternatif ke -13 :

1 5 11 4 7 8 3 9 6 2 10

Begitu seterusnya hingga indeks mencapai indeks ke-68 .

Langkah 3

Langkah selanjutnya yaitu memilih solusi terbaik di antara solusi alternatif yang telah didapat pada langkah 2. Solusi terbaik pada iterasi pertama diperoleh pada indeks (46), maka solusi tersebut dipilih sebagai solusi optimum sementara.

Langkah 4

Apabila nilai solusi terbaik pada Langkah ke-2 lebih kecil dari nilai solusi optimum awal, maka solusi optimum terbaik yang didapat dipilih sebagai solusi optimum. Pada Langkah 2 diperoleh solusi terbaik pada indeks (46) dengan nilai solusi 86. Karena nilai solusi terbaik lebih kecil dari nilai solusi optimum awal maka solusi terbaik pada Langkah 2 dipilih sebagai solusi optimum yang baru

Langkah 5

Memperbarui *tabu list* dengan menambahkan rute solusi optimum yang diperoleh pada Langkah 4. Diperoleh *tabu list* baru yaitu:

1. 1 7 11 4 5 8 3 9 6 2 10
2. 1 7 11 4 5 8 9 3 6 2 10

Langkah 6

Apabila kriteria pemberhentian dipenuhi maka proses berhenti. Jika tidak, proses diulang kembali mulai Langkah 2 dan akan berhenti ketika kriteria pemberhentian dipenuhi. Dalam tugas akhir ini kriteria pemberhentian yang dipakai yaitu setelah semua iterasi terpenuhi. Jumlah iterasi sama dengan banyaknya titik.

Rute awal : 0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12

Panjang rute : = $0,35 + 1 + 1 + 1 + 3 + 1,3 + 1,2 + 2,5 + 2,6 + 750 + 750 + 1,2 = 16,65$ km

Iterasi 1 :

Tabu List: 0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12

Panjang rute = $0,35 + 1 + 1 + 1 + 3 + 1,3 + 1,2 + 2,5 + 2,6 + 0,75 + 0,75 + 1,2 = 16,65$ km

Selanjutnya solusi tersebut masuk ke proses pencarian menggunakan algoritma Tabu *Search* dengan solusi minimum awal 16,65 km. Kemudian rute awal akan diubah untuk mendapatkan rute alternatif lain.

Rute Alternatif (Rute tetangga berikutnya) :

Rute 1 (0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12)

Panjang rute : = $0,35 + 1 + 1 + 1 + 3 + 1,3 + 1,2 + 2,5 + 2,6 + 0,75 + 0,75 + 1,2 = 16,65$ km

Rute 2 (2-1-0-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12)

Panjang rute : $1 + 0,35 + 2,35 + 1 + 3 + 1,3 + 1,2 + 2,5 + 2,6 + 0,7 + 0,7 + 1,2 = 17,9$ km

Rute 3 (3-2-1-0-4-5-6-7-8-9-10-11-12)

Panjang rute : $1 + 1 + 0,35 + 3,35 + 3 + 1,3 + 1,2 + 2,5 + 2,6 + 0,7 + 0,7 + 1,2 = 18,9$ km

Rute 4 (4-3-2-1-0-5-6-7-8-9-10-11-12)

Panjang rute : = $1 + 1 + 1 + 0,35 + 6,3 + 1,3 + 1,2 + 2,5 + 2,6 + 0,7 + 0,7 + 1,2 = 19,85$ km

.....

Rute 58 (12-0-11-3-4-5-6-7-8-9-10-1-2)

Panjang rute : = 73,3 km.

Pada iterasi 1, rute terpendek dari rute alternatif adalah rute ke-12 (12-11-10-9-8-7-6-5-4-3-2-1-0) dengan panjang rute 16,55 km. Rute ditambahkan ke Tabu *List* karena panjang rute lebih kecil dari minimum sebelumnya pada iterasi ke-0, sehingga dipilih rute sebagai minimum baru.

Tabel 2. Rute dan Jarak pada Iterasi 1

NO.	Rute	Jarak (km)
1	0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12	16,65 km
2	2-1-0-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12	17,9 km
3	3-2-1-0-4-5-6-7-8-9-10-11-12	18,9 km
4	4-3-2-1-0-5-6-7-8-9-10-11-12	19,85 km
...
58	12-0-11-3-4-5-6-7-8-9-10-1-2	73,3 km

Iterasi 2 :

Tabu List :

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

Panjang rute

$$= 0,35 + 1 + 1 + 1 + 3 + 1,3 + 1,2 + 2,5 + 2,6 + 0,75 + 0,75 + 1,2 = 16,65 \text{ km}$$

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

Panjang rute = $1,2 + 0,7 + 0,7 + 2,6 + 2,5 + 1,2 + 1,3 + 3 + 1 + 1 + 1 + 0,35 = 16,55$ km

Rute alternatif (Rute tetangga berikutnya)

Rute 1 (11-12-10-9-8-7-6-5-4-3-2-1-0)

Panjang rute : = 17,75 km

Rute 2 (10-11-12-9-8-7-6-5-4-3-2-1-0)

Panjang rute : = 18,45 km

Rute 3 (9-10-11-12-8-7-6-5-4-3-2-1-0)

Panjang rute : = 20,15 km

Rute 4 (8-9-10-11-12-7-6-5-4-3-2-1-0)

Panjang rute : = 22,75 km

.....

Rute 41 (0-12-1-2-11-10-9-8-7-6-5-4-3)

Panjang rute : = 61,9 km.

Nilai-nilai tersebut disajikan dalam tabel.

Tabel 3. Rute dan Jarak pada Iterasi 2

NO.	Rute	Jarak (km)
1	11-12-10-9-8-7-6-5-4-3-2-1-0	17,75 km
2	10-11-12-9-8-7-6-5-4-3-2-1-0	18,45 km
3	9-10-11-12-8-7-6-5-4-3-2-1-0	20,15 km
4	8-9-10-11-12-7-6-5-4-3-2-1-0	22,75 km
...
41	0-12-1-2-11-10-9-8-7-6-5-4-3	61,9 km

Pada iterasi 2, rute terpendek dari rute alternatif adalah rute ke-12, namun karena rute 12 merupakan rute 1 di iterasi 1, maka rute terpendek selanjutnya adalah rute ke-1 dengan panjang 17,75 km. Rute ditambahkan ke Tabu List karena panjang rute lebih besar dari minimum sebelumnya pada iterasi 1, sehingga rute tidak dipilih sebagai minimum baru.

Berdasarkan perhitungan rute pengangkutan sampah menggunakan model *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)* di Kota Padang Sidempuan dengan menggunakan algoritma *Tabu Search* diperoleh rute terpendek pada iterasi 1 dengan rute (12-11-10-9-8-7-6-5-4-3-2-1-0) dan panjang rute 16,55 km. Berdasarkan rute awal dengan panjang rute 16,65 km maka dapat

disimpulkan bahwa rute awal sudah cukup baik, namun berdaasrkan hasil penelitian ini diperoleh rute yang lebih baik, yaitu melewati Kelurahan Wek VI - Kelurahan Wek V- Kelurahan Ujung Pandang - Kelurahan Sitamiang - Kelurahan Sitamiang- Kelurahan Silandit- Kelurahan Sidangkal - Kelurahan Padang Matinggi Lestari - Kelurahan Padang Matinggi - Kelurahan Losung - Kelurahan Hanopan - Kelurahan Aek Tampang - TPA Padang Sidempuan Selatan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh kesimpulan sebagai berikut : Penyelesaian rute optimal pengangkutan sampah pada model *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)* di Kota Padang Sidempuan dengan menggunakan algoritma *Tabu Search* dilakukan dengan menggunakan rute awal, kemudian rute awal masuk dalam *Tabu List* karena merupakan solusi optimum pada iterasi 0, selanjutnya dilakukan perhitungan dengan menukar rute pada iterasi pertama dan kedua, sehingga diperoleh nilai optimum dari iterasi tersebut kemudian dijadikan sebagai rute terpendek. Rute optimal pengangkutan sampah pada model *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)* di Kota Padang Sidempuan dengan menggunakan algoritma *Tabu Search* diperoleh rute terpendek pada iterasi 1 dengan rute (12-11-10-9-8-7-6-5-4-3-2-1-0) dan panjang rute 16,55 km. Berdasarkan rute awal dengan panjang rite 16,65 km maka dapat disimpulkan bahwa rute awal sudah cukup baik, namun berdaasrkan hasil penelitian ini diperoleh rute yang lebih baik, yaitu melewati Kelurahan Wek VI - Kelurahan Wek V- Kelurahan Ujung Pandang - Kelurahan Sitamiang - Kelurahan Sitamiang- Kelurahan Silandit- Kelurahan Sidangkal - Kelurahan Padang Matinggi Lestari - Kelurahan Padang Matinggi - Kelurahan Losung - Kelurahan Hanopan - Kelurahan Aek Tampang - TPA Padang Sidempuan Selatan.

DAFTAR REFERENSI

- Abubakar, R. (2021). *Pengantar metodologi penelitian* (1st ed.). SUKA-Press UIN Sunan Kalijaga.
- Andrew, S. D., & Shaw, S. L. (2005). A GIS-based spatial decision support system for tourists of Great Smoky Mountains National Park. *Journal Name*, 269–278.
- Azdy, R. A., & Darnis, F. (2019). Implementasi Bellman-Ford untuk optimasi rute pengambilan sampah di Kota Palembang. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, 8(4), 327-333.
- Badan Pusat Statistik (ID). (2017). *Laporan survei demografi 2017*.
- Berlianty, I., & Miftahol, A. (2010). *Teknik-teknik optimasi heuristik*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

- Budiasti. (2010). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Dalem, I. B. G. H. (2018). Penerapan algoritma A* (Star) menggunakan graph untuk menghitung jarak terpendek. *Jurnal Resistor Rekayasa Sistem Komputer*, 1(1), 41-47.
- Eddy Prahasa. (2018). Sistem informasi grafis. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, 8(4), 313-329.
- Gamayanti, N. (2017). Metaheuristics for the solution of dynamic vehicle routing problem with time windows (DVRPTW) with travel time variable. *JAREE (Journal on Advanced Research in Electrical Engineering)*, 1(1), 8-13.
- Gendreau, M., & Potvin, J. Y. (Eds.). (2010). *Handbook of metaheuristics* (2nd ed.). New York: Springer Science+Business Media.
- Glover, F., & Kochenberger, G. A. (Eds.). (2003). *Handbook of metaheuristics*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Glover, F., & Laguna, M. (1997). *Tabu search*. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.
- Hadiwiyoto, S. (1983). *Penanganan dan pemanfaatan sampah*. Yayasan Idayu.
- Hartono. (2018). *Vehicle routing problem*. Departement de Mathematiques, MA-Ecublens, CH-1012: Lausanne.
- Hertz, A., Taillard, E., & de Werra, D. (2002). A tutorial on tabu search. EPFL, Departement de Mathematiques, MA-Ecublens, CH-1015: Lausanne. Retrieved from <http://www.cs.colostate.edu/~whitley/CS640/hertz92tutorial.pdf>
- Indrawati, et al. (2016). *Penanganan dan pengolahan sampah*. Universitas Mercu Buana.
- Irman, A., Ekawati, R., & Febriana, N. (2017). Optimalisasi rute distribusi air minum Quelle dengan algoritma Clarke & Wright Saving dan model vehicle routing problem. In *Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri* (pp. 1-7).
- Iskandar, D., Masruri, A. A., & Saputra, D. (2018). Analisis penjadwalan produksi job shop pada UMKM di bidang konveksi dengan menggunakan algoritma tabu search (studi kasus di Panca Konveksi). *Jurnal Ilmiah Teknik*, 3(2), 21-27.
- Note: Replace "Journal Name" with the actual journal name if available.*
- Poetra, F. H. (2010). Aplikasi algoritma tabu search pada pencarian jalur terpendek. (Unpublished undergraduate thesis). FMIPA Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Satria, W., Siallagan, M. P., & Novani, S. (2004). Penerapan metode algoritma genetik untuk memecahkan masalah penentuan rute kendaraan berkendala kapasitas. Universitas Komputer Indonesia.
- Simanjuntak. (2019). Optimal rute pengangkutan sampah. (Unpublished undergraduate thesis). FMIPA Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Sugiono. (2017). *Penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.

- Sutarno, H., Priatna, N., & Nurjanah. (2003). *Common textbook matematika diskrit*.
- Tchobagnolous. (1993). *Zat organik sebagai investasi bangunan*. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.
- Tresna Sastrawijaya. (2019). *Penanganan dan pemanfaatan sampah*. Yayasan Idayu.
- Varita, et al. (2018). Algoritma tabu search. In *Handbook of metaheuristics* (2nd ed.). New York: Springer Science+Business Media.
- Yogaswara, Y., & Fatin, F. F. (2020). Penentuan rute dan penjadwalan pengangkutan sampah di Kota Bandung wilayah Bandung Barat dengan menggunakan tabu search. *Jurnal Media Teknik Dan Sistem Industri*, 4(1), 1-9.
- Yuliza, et al. (2020). Rancangan rute menggunakan CVRP. *Jurnal Resistor Rekayasa Sistem Komputer*, 1(1), 29-32.