

## PENGGUNAAN METODE SIMULATED ANNEALING UNTUK PENYELESAIAN TRAVELLING SALESMAN PROBLEM

Rahmi Hidayati<sup>1</sup>, Irwan Guntoro<sup>2</sup>, Suci Junianti<sup>3</sup>

Rekayasa Sistem Komputer Universitas Tanjungpura

Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak, 78124 Indonesia

<sup>1</sup>rahmihidayati@siskom.untan.ac.id, <sup>2</sup>irwanguntoro@student.untan.ac.id, <sup>3</sup>sucijunianti@student.untan.ac.id

Page | 217

**Abstrak**— *Travelling Salesman Problem (TSP)* merupakan salah satu cara yang digunakan untuk mendapat rute atau jalur yang terpendek oleh seorang sales. Penggunaan TSP dilakukan dengan cara mengunjungi semua lokasi secara berurutan hanya sekali dan kembali lagi ke lokasi awal. Metode *simulated annealing* adalah salah satu metode optimasi dengan ide dasar pendinginan dan pembekuan logam. Dengan menghitung nilai probabilitas pada *simulated annealing* memungkinkan metode ini keluar dari lokal minimum sehingga *simulated annealing* mampu menyelesaikan masalah TSP untuk mendapatkan jalur yang optimal. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa metode *simulated annealing* mampu menyelesaikan TSP. Dengan menggunakan 10 titik dimana kota awal adalah 1 dan kota tujuan adalah 10, didapatkan urutan titik-titik kota yang optimal, yaitu 1-8-4-6-2-9-7-5-3-10 dan total jarak antar titik adalah 234. Selain itu, nilai batas maksimum iterasi juga mempengaruhi probabilitas mendapatkan solusi optimum. Semakin besar nilai batas maksimum iterasi maka semakin tinggi probabilitas mendapatkan solusi optimum.

**Keywords**— Simulated annealing, TSP, probabilitas, optimum

**Abstract**—*Traveling Salesman Problem (TSP)* is one method used to get the shortest route or route by a salesperson. The use of TSP is done by visiting all locations in sequence only once and returning to the original location. The simulated annealing method is one method of optimization with the basic idea of metal cooling and freezing. By calculating the probability value on simulated annealing it allows this method to exit the minimum local so that simulated annealing is able to solve the TSP problem to get the optimal path. Based on the results of testing that has been done, it can be concluded that the simulated annealing method is able to solve TSP. By using 10 points where the initial city is 1 and the destination city is 10, the optimal city order sequence is 1-8-4-6-2-9-7-5-3-10 and the total distance between points is 234. In addition, the maximum iteration value also affects the probability of getting the optimum solution. The greater the maximum iteration value, the higher the probability of getting the optimum solution.

**Keywords**— Simulated annealing, TSP, probability, optimum

### I. PENDAHULUAN

*Travelling Salesman Problem (TSP)* adalah sebuah penyelesaian masalah perutean untuk mendapatkan rute terpendek yang harus dilewati oleh seorang sales pada suatu kota. TSP dapat didefinisikan sebagai pencarian urutan semua lokasi (misalnya kota) yang harus dikunjungi, mulai dari satu kota tertentu dan kembali ke kota tersebut, untuk meminimalkan total biaya dengan syarat bahwa setiap kota harus dikunjungi namun tidak boleh dikunjungi lebih dari satu kali [1]. TSP biasanya digunakan pada bidang transportasi salah satunya untuk mendapatkan jalur terpendek. Permasalahan TSP dapat diselesaikan dengan menggunakan beberapa metode diantaranya adalah *hill climbing*, *tabu search*, *simulated annealing* dan algoritma genetika.

*Simulated Annealing* adalah sebuah metode optimasi dengan ide dasar pemrosesan logam. Metode ini biasanya digunakan untuk penyelesaian masalah di mana terjadi perubahan dari kondisi satu ke kondisi

yang lain yang membutuhkan ruang yang luas. *Simulated annealing* merupakan salah satu metode yang termasuk ke dalam teknik pencarian yang berdasarkan pada fungsi heuristik.

Pada penelitian ini akan dibahas penggunaan metode *simulated annealing* untuk penyelesaian masalah TSP dengan mencari jalur yang optimal dari titik-titik lokasi yang ada.

### II. LANDASAN TEORI

#### A. *Travelling Salesman Problem (TSP)*

TSP dikenal sebagai salah satu masalah optimasi yang banyak menarik perhatian para ahli matematika dan khususnya ilmuwan komputer karena TSP mudah didefinisikan dan sulit untuk diselesaikan. Masalah TSP dapat dinyatakan dimana seseorang yang ingin mengunjungi ke sejumlah kota, dimana rangkaian kota-kota yang dikunjungi harus membentuk suatu jalur sedemikian rupa sehingga kota-kota tersebut hanya boleh dilewati tepat satu kali dan kemudian

kembali lagi ke kota awal. Tujuan dari masalah TSP ini adalah untuk mencari rute atau jarak terpendek. Penyelesaian untuk masalah TSP mengharuskan perhitungan terhadap semua kemungkinan rute yang dapat diperoleh, kemudian memilih salah satu rute yang terpendek.

Penerapan TSP yang muncul dalam kehidupan sehari-hari misalnya permasalahan dalam bidang transportasi darat dengan harapan biaya perjalanan yang dikeluarkan dan waktu perjalanan seminimum mungkin. Jumlah rute yang mungkin diperoleh pada TSP dengan menggunakan rumus permutasi seperti berikut [2]:

$${}_n P_k = \frac{n!}{(n-k)!}$$

Dengan  $n$  adalah jumlah seluruh kota dan  $k$  adalah jumlah kota yang diseleksi. Dengan cara ini komputasi yang harus dilakukan akan meningkat seiring bertambahnya jumlah kota yang harus dilalui. TSP dikenal sebagai permasalahan yang bersifat *Nondeterministic Polynomial-Hard* (NP-Hard), yang pada umumnya menggunakan pendekatan heuristik untuk mencari solusinya.

### B. Simulated Annealing

*Simulated annealing* adalah pemrosesan logam. *Annealing* yang berarti memanaskan kemudian mendinginkan dalam pemrosesan logam ini adalah suatu proses bagaimana membuat bentuk cair secara bertahap menjadi bentuk yang lebih padat seiring dengan penurunan temperatur yang dialaminya. Metode ini biasanya digunakan untuk menyelesaikan masalah yang mana membutuhkan ruang yang sangat luas serta perubahan keadaan dari suatu kondisi ke kondisi yang lainnya[3]. Salah satu contohnya adalah perubahan gerakan dengan menggunakan permutasi pada masalah TSP.

*Simulated annealing* memanfaatkan analogi cara pendinginan dan pembekuan metal menjadi sebuah struktur kristal dengan energi yang minimal.tidak seperti pendekatan *Hill Climbing*, dengan probabilitas tertentu *simulated annealing* mungkin bisa keluar dari jebakan lokal minimum. *Simulated annealing* menggunakan rumus probabilitas yang memungkinkan bisa keluar dari lokal minimum. Ketika *new state* tidak lebih baik dari *current state*, maka *new state* tersebut masih mungkin terpilih dengan probabilitas sebagai berikut [4] :

$$p^{\Delta E} = e^{-\Delta E/T}$$

Pada metode *simulated annealing* ada 3 parameter yang sangat menentukan antara lain tetangga, *gain* dan temperatur[3].

Berikut adalah algoritma metode *simulated annealing* [4]:

1. Evaluasi keadaan awal. Jika keadaan awal merupakan tujuan, maka pencarian berhasil dan

keluar. Jika tidak, maka pencarian akan dilanjutkan dengan menetapkan keadaan awal sebagai kondisi sekarang.

2. Inisialisasi BEST\_SO\_FAR untuk keadaan sekarang.
3. Inisialisasi T sesuai dengan *annealing schedule*.
4. Kerjakan hingga solusi ditemukan atau sudah tidak ada operator baru lagi akan diaplikasikan ke kondisi sekarang.
  - a. Gunakan operator yang belum pernah digunakan tersebut untuk menghasilkan kondisi baru.
  - b. Evaluasi kondisi yang baru dengan menghitung :
    - $\Delta E = \text{nilai sekarang} - \text{nilai keadaan baru}$
    - i. Jika kondisi baru merupakan tujuan, maka pencarian berhasil dan keluar.
    - ii. Jika bukan tujuan, namun memiliki nilai yang lebih baik daripada kondisi sekarang, maka tetapkan kondisi baru sebagai kondisi sekarang. Demikian pula tetapkan BEST\_SO\_FAR untuk kondisi yang baru tadi.
    - iii. Jika nilai kondisi baru tidak lebih baik dari kondisi sekarang, maka tetapkan kondisi baru sebagai kondisi sekarang dengan probabilitas :  $p' = e^{-\Delta E/T}$ . Langkah ini biasanya dikerjakan dengan membangkitkan suatu bilangan random [0 1]. Jika  $r < p'$ , maka perubahan kondisi baru menjadi kondisi sekarang diperbolehkan. Namun jika tidak, maka tidak akan ada yang dikerjakan.
  - c. Perbaiki T sesuai dengan *annealing scheduling*.
5. BEST\_SO\_FAR adalah jawaban yang dimaksud.

Dari algoritma tersebut secara umum ada 3 hal yang perlu diperhatikan pada *simulated annealing* yaitu [3] :

1. Nilai awal untuk temperatur (T0).
2. Kriteria yang digunakan untuk memutuskan apakah temperatur sistem harus dikurangi.
3. Berapa besarnya pengurangan temperatur dalam setiap waktu.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

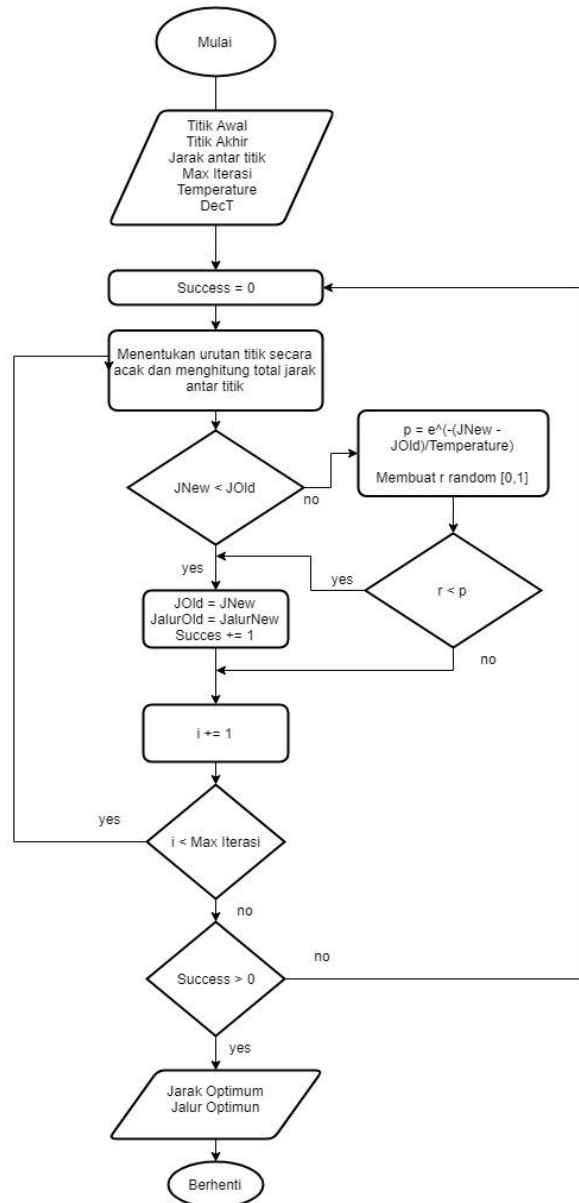
1. Studi literatur yang dilakukan adalah mempelajari buku dan jurnal terkait yang membahas mengenai TSP menggunakan *simulated annealing*.
2. Analisis kebutuhan data yang dibutuhkan adalah data TSP yaitu berupa 10 titik kota dan 100 nilai jarak antar titik kota. Data ini berupa data sekunder.

3. Analisis kebutuhan sistem menggunakan perangkat lunak sebagai program komputer yang berfungsi sebagai sarana interaksi antara pengguna dan perangkat keras. Adapun perangkat lunak yang digunakan adalah sebagai berikut: python 3.7, IDLE JetBrains PyCharm Community Edition 2019.1.1 x64 dan sistem operasi windows 10.
4. Implementasi metode *simulated annealing* untuk masalah TSP pada 10 titik lokasi dengan menggunakan batas maksimum iterasi sebanyak 100 iterasi.
5. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali menggunakan batas maksimum iterasi ke 50, 100 dan 500.

*Flowchart* (diagram alir) penyelesaian kasus TSP dengan menggunakan *simulated annealing*. Untuk masukan data pertama ditentukan titik awal dan titik tujuan beserta urutan titik secara acak (JalurOld). Dari urutan tersebut dicari jarak antar titik (JOld).

Kemudian dibuat urutan titik baru (JalurNew) dan dicari jarak antar titik baru (JNew). Nilai JNew dibandingkan dengan nilai JOld, dimana jika nilai JNew lebih kecil dibandingkan dengan JOld maka nilai JOld diganti dengan JNew dan JalurOld diganti dengan JalurNew. Jika tidak, akan mencari nilai p dengan menggunakan *simulated annealing* dan membandingkan nilai p (probabilitas) dan r (nilai random). Jika nilai r lebih kecil dibandingkan dengan p, perubahan nilai JOld dan JalurOld dilakukan, jika tidak maka tidak terjadi apa-apa.

*Flowchart* (diagram alir) untuk penyelesaian kasus TSP dengan menggunakan *Simulated Annealing* dapat dilihat pada Gbr 1.



Gbr 1. Diagram alir TSP menggunakan *Simulated Annealing*

#### IV. PEMBAHASAN

Ada beberapa operator yang digunakan pada *simulated annealing* diantaranya adalah :

- Setiap titik disimpan pada larik L.
- N1, N2 : dua bilangan random yang dibangkitkan antara 1 sampai N10.
- De (depan) = L(1) sampai L(N-1)
- Te (tengah) = L(N1) sampai L(N2)
- Be (belakang) = L(N2+1) sampai L(NC)
- LB = larik baru

Misalkan jalur yang digunakan sebagai titik awal adalah sebagai berikut :

[1, 5, 2, 6, 3, 4, 9, 7, 8, 10] jarak awal = 473

Berdasarkan titik awal yang digunakan pada iterasi ke- 1 diperoleh jarak baru = 423. Tampilan hasil iterasi ke- 1 dapat dilihat pada Gbr 2.

```
Titik awal: [1, 5, 2, 6, 3, 4, 9, 7, 8, 10]
Jarak awal 472

Iterasi ke - 1
N1, N2 = 2 9
De: [1]
Te: [5, 2, 6, 3, 4, 9, 7, 8]
Be: [10]
Bilangan Random: 0.35268179185770854
LB: [1, 8, 7, 9, 4, 3, 6, 2, 5, 10]
Jarak baru: 423
Jarak lama: 472
Sukses: 1
```

Gbr 2. Tampilan hasil iterasi ke-1

Kemudian dilanjutkan dengan iterasi ke- 2 menggunakan hasil LB dari iterasi pertama. didapatkan hasil jarak baru = jarak lama. Dengan nilai evaluasi kondisi = 0 dan suhu = 100. Karena nilai  $r < p$  perubahan kondisi baru diterima. Tampilan hasil iterasi ke- 2 dapat dilihat pada Gbr 3.

```
Iterasi ke - 2
N1, N2 = 8 9
De: [1, 8, 7, 9, 4, 3, 6]
Te: [2, 5]
Be: [10]
Bilangan Random: 0.7457604303367643
LB: [1, 8, 7, 9, 4, 2, 5, 3, 6, 10]
Jarak baru: 423
Jarak lama: 423
E: 0
Suhu: 300.0
0.14010728529677707 < 1.0
Diterima
Sukses: 1
```

Gbr 3. Tampilan hasil iterasi ke- 2

Iterasi dilakukan sampai batas maksimum iterasi yaitu iterasi ke – 100. Pada iterasi ke- 100 diperoleh hasil jarak lama lebih baik dari jarak baru. Dengan nilai kondisi baru = -32 dan suhu = 7.0948. Nilai  $r > p$  dimana jarak baru lebih besar dari pada jarak lama sehingga kondisi sekarang ditolak. Jarak akhir yang diperoleh adalah 234 sebagai jarak yang optimal setelah dilakukan 100 iterasi. Tampilan hasil iterasi ke-100 dapat dilihat pada Gbr 4.

```
Iterasi ke - 100
N1, N2 = 7 8
De: [1, 8, 4, 6, 2, 9]
Te: [7, 5]
Be: [3, 10]
Bilangan Random: 0.3709434675653003
LB: [1, 8, 4, 6, 2, 9, 5, 7, 3, 10]
Jarak baru: 266
Jarak lama: 234
E: -32
Suhu: 7.0948699764689795
0.22984994081322674 < 0.010995148819801221
Ditolak
Sukses: 0

Titik akhir: [1, 8, 4, 6, 2, 9, 7, 5, 3, 10]
Jarak akhir: 234
```

Gbr 4. Tampilan Hasil Iterasi ke- 100

Pengujian sistem dilakukan dengan cara menggunakan 10 titik kota dimana titik awal sebagai kota awal dan titik akhir sebagai kota tujuan. Pada pengujian ini, urutan titik-titik yang dimasukkan adalah 1-5-2-6-3-4-9-7-8-10 dengan total jaraknya adalah 472. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali dimana pada pengujian pertama, nilai batas maksimum iterasi diberi nilai sebesar 50, pada pengujian kedua diberi nilai maksimum iterasi sebesar 100 dan pada pengujian ketiga diberi nilai maksimum sebesar 500.

Pada pengujian pertama, urutan titik kota akhir yang diperoleh adalah 1-8-7-9-2-6-4-5-3-10 dan jarak antar titiknya sebesar 297. Hasil titik akhir dan jarak terbaik pada pengujian pertama dapat dilihat pada Gbr 5.

```
Titik akhir: [1, 8, 7, 9, 2, 6, 4, 5, 3, 10]
Jarak akhir: 297
```

Gbr 5. Hasil Pengujian Pertama

Pada pengujian kedua, urutan titik kota akhir yang diperoleh adalah 1-8-4-6-2-9-7-5-3-10 dan jarak antar titiknya sebesar 234. Hasil titik akhir dan jarak terbaik pada pengujian kedua dapat dilihat pada Gbr 6.

```
Titik akhir: [1, 8, 4, 6, 2, 9, 7, 5, 3, 10]
Jarak akhir: 234
```

Gbr 6. Hasil Pengujian Kedua

Pada pengujian ketiga, urutan titik kota akhir yang diperoleh adalah 1-8-4-6-2-9-7-5-3-10 dan jarak antar titiknya sebesar 234. Hasil titik akhir dan jarak terbaik pada pengujian ketiga dapat dilihat pada Gbr 7.

```
Titik akhir: [1, 8, 4, 6, 2, 9, 7, 5, 3, 10]
Jarak akhir: 234
```

Gbr 7. Hasil Pengujian Ketiga

Dari ketiga pengujian yang telah dilakukan, solusi yang diperoleh adalah urutan optimal dari titik kota

awal dan kota tujuan yaitu 1-8-4-6-2-9-7-5-3-10 dan total jarak antar titik adalah 234.

#### V. KESIMPULAN

Page | 221

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa metode *simulated annealing* dapat menyelesaikan *Travelling Salesman Problem* (TSP). Untuk kasus 10 titik dimana kota awal adalah satu dan kota tujuan adalah 10, didapatkan urutan titik-titik kota yang optimal, yaitu 1-8-4-6-2-9-7-5-3-10 dan total jarak antar titik adalah 234. Selain itu, nilai batas maksimum iterasi juga mempengaruhi probabilitas mendapatkan solusi optimum. Semakin besar nilai batas maksimum iterasi maka semakin tinggi probabilitas mendapatkan solusi optimum.

#### REFERENSI

- [1] Suyanto, *Swarm Intelligence Komputasi Modern Untuk Optimasi Dan Big Data Mining*. Bandung: Informatika, 2017.
- [2] E, Samana, B, Prihandono, E, Noviani, Aplikasi Simulated Annealing Untuk Menyelesaikan Travelling Salesman Problem. *Jurnal Bimaster*. 3(1): 25-32, 2015.
- [3] S, Kusumadewi dan H, Purnomo. *Penyelesaian Masalah Optimasi dengan Teknik-teknik Heuristik*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2005.
- [4] Suyanto, *Artificial Intelligence, Revisi Kedua*. Bandung: Informatika, 2014.