



**PENYELESAIAN *TRAVELLING SALESMAN PROBLEM*
MENGGUNAKAN ALGORITMA
*GREY WOLF OPTIMIZATION***

ZAHRA FAHIRA ANISA



**DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Penyelesaian *Travelling Salesman Problem* Menggunakan Algoritma *Grey Wolf Optimization*” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Desember 2024

Zahra Fahira Anisa
G5401201006



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

ABSTRAK

ZAHRA FAHIRA ANISA. Penyelesaian *Travelling Salesman Problem* Menggunakan Algoritma *Grey Wolf Optimization*. Dibimbing oleh BIB PARUHUM SILALAHI dan HIDAYATUL MAYYANI.

Salah satu permasalahan yang sering terjadi dalam bidang pendistribusian barang atau jasa, terutama dalam masalah pengoptimalan rute pengirimannya adalah *Travelling Salesman Problem* (TSP). *Travelling Salesman Problem* merupakan suatu permasalahan dalam menentukan rute terpendek, di mana seorang *salesman* harus mengunjungi setiap kota tepat satu kali, dimulai dari kota awal dan berakhir kembali ke kota awal tersebut. Dalam penelitian ini, TSP akan diselesaikan menggunakan algoritma meta-heuristik yaitu *Grey Wolf Optimization* (GWO). Selain itu, solusi akhir yang diperoleh akan dibandingkan dengan beberapa algoritma lainnya di antaranya adalah *Branch and Bound*, *Ant Colony Optimization*, *Bee Colony Optimization*, dan *Simulated Annealing*. Berdasarkan hasil percobaan, algoritma GWO menunjukkan kinerja yang lebih baik dengan solusi yang mendekati optimal dibandingkan algoritma lainnya.

Kata kunci: algoritma 2-opt, *Grey Wolf Optimization*, jarak Hamming, *Travelling Salesman Problem*

ABSTRACT

ZAHRA FAHIRA ANISA. Solving Travelling Salesman Problem with Grey Wolf Optimization Algorithm. Supervised by BIB PARUHUM SILALAHI and HIDAYATUL MAYYANI.

One of the common problems in the field of goods or service distribution, especially in optimizing delivery routes, is the Travelling Salesman Problem (TSP). The Travelling Salesman Problem is a problem of determining the shortest route, where a salesman must visit each city exactly once, starting and ending at the same city. In this study, TSP will be solved using a meta-heuristic algorithm known as Grey Wolf Optimization (GWO). Furthermore, the final solution obtained will be compared with several other algorithms, including Branch and Bound, Ant Colony Optimization, Bee Colony Optimization, and Simulated Annealing. Based on the experiment results, the GWO algorithm shows better performance with a solution that is close to optimal compared to other algorithms.

Keywords: 2-opt algorithm, Grey Wolf Optimization, Hamming distance, Travelling Salesman Problem



©Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah,
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2024
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



**PENYELESAIAN *TRAVELLING SALESMAN PROBLEM*
MENGGUNAKAN ALGORITMA
*GREY WOLF OPTIMIZATION***

ZAHRA FAHIRA ANISA

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Matematika
pada
Program Studi Matematika

**DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**



IPB University

(Penguji pada Ujian Skripsi:
Dr. Ir. Amril Aman, M.Sc.

©Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Judul Skripsi : Penyelesaian *Travelling Salesman Problem* Menggunakan Algoritma *Grey Wolf Optimization*

Nama : Zahra Fahira Anisa
NIM : G5401201006

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Bib Paruhum Silalahi, M.Kom.

Pembimbing 2:
Hidayatul Mayyani, S.Si., M.Si.

Diketahui oleh

Ketua Departemen Matematika:
Prof. Dr. Ir. Endar Hasafah Nugrahani, M.S.
NIP 196312281989032001

Tanggal Ujian: 13 November 2024

Tanggal Lulus:

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



- 4.
- 5.
- 6.
- 7.
- 8.

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan November 2023 ini ialah Riset Operasi, dengan judul “Penyelesaian *Travelling Salesman Problem* Menggunakan Algoritma *Grey Wolf Optimization*”. Proses dalam menyusun karya ilmiah ini tidak lepas dari bantuan banyak pihak. Oleh karena itu, penulis berterima kasih sebesar besarnya kepada:

Allah SWT yang selalu memberikan kelancaran dan kemudahan dalam proses penyusunan karya ilmiah ini,

kedua orang tua, Bapak Paimun dan Ibu Yeni Wati, serta keluarga yang selalu mendukung dan mendoakan yang terbaik,

Bapak Prof. Dr. Ir. Bib Paruhum Silalahi, M.Kom. selaku dosen pembimbing I, Hidayatul Mayyani, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing II dan Dr. Ir. Amril Aman, M.Sc., selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu, memberikan arahan, motivasi dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama proses penyusunan karya ilmiah ini,

para dosen dan staf Departemen Matematika, yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat serta dukungan,

Dianti, Putri, Tania, Hanna, Dini, Imey selaku teman-teman dekat yang telah bersedia membantu, mendengarkan keluh kesah, serta mendukung saya dalam penyusunan karya ilmiah ini,

teman-teman Matematika angkatan 57 dan kakak-kakak angkatan 56 yang telah memberikan dukungan agar terus berkembang dan telah menjadi keluarga selama di Bogor,

teman-teman Gumatika yang telah memberikan banyak pengalaman yang berkesan,

semua pihak yang telah membantu, mendukung dan mendoakan dalam penyusunan karya ilmiah ini.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi dunia ilmu pengetahuan khususnya bidang matematika dan menjadi inspirasi bagi penelitian selanjutnya.

Bogor, Desember 2024

Zahra Fahira Anisa



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Penyelesaian Masalah Optimisasi	3
2.2 <i>Integer Linear Programming (ILP)</i>	3
2.3 <i>Travelling Salesman Problem (TSP)</i>	4
2.4 <i>Grey Wolf Optimization (GWO)</i>	5
2.5 Jarak Hamming (<i>Hamming Distance</i>)	7
2.6 Algoritma 2-opt	7
III METODE PENELITIAN	10
3.1 Data	10
3.2 Penyelesaian Menggunakan Algoritma <i>Grey Wolf Optimization (GWO)</i>	10
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	14
4.1 Implementasi GWO pada Kasus 7 Kota	14
4.2 Penyelesaian TSP dengan Metode Eksak B&B Pada Kasus 25, 40, dan 68 Kota	33
4.3 Implementasi GWO dan Komparasi Metode Pada Kasus 25, 40, dan 68 Kota	35
V SIMPULAN DAN SARAN	48
5.1 Simpulan	48
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	51
RIWAYAT HIDUP	56

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



1 Data koordinat 7 kota
 2 Data matriks jarak 7 kota
 3 Hasil pembangkitan 5 serigala secara acak beserta nilai *fitness*-nya
 4 Hasil seluruh iterasi dari penerapan algoritma 2-opt pada rute X_{21}
 5 Perbandingan nilai *fitness* rute X_2 sebelum dan sesudah diperbarui dengan d_α dan algoritma 2-opt
 6 Hasil seluruh iterasi dari penerapan algoritma 2-opt pada rute X_{22}
 7 Perbandingan nilai *fitness* rute X_2 sebelum dan sesudah diperbarui dengan d_β dan algoritma 2-opt
 8 Hasil seluruh iterasi dari penerapan algoritma 2-opt pada rute X_{23}
 9 Perbandingan nilai *fitness* rute X_2 sebelum dan sesudah diperbarui dengan d_δ dan algoritma 2-opt
 10 Hasil rute-rute terbaru dari rute X_2 yang telah diperbarui dengan jarak Hamming dan algoritma 2-opt
 11 Hasil rute-rute terbaru dari rute X_4 yang telah diperbarui dengan jarak Hamming dan algoritma 2-opt
 12 Hasil perbandingan rute-rute serigala pemimpin sebelum dan sesudah diperbarui
 13 Data koordinat x dan y untuk 3 kasus TSP
 14 Perbandingan total jarak dengan jumlah iterasi 30 dan jumlah populasi yang berbeda (20, 30, 40) pada kasus I
 15 Perbandingan total jarak dengan jumlah iterasi 40 dan jumlah populasi yang berbeda (20, 30, 40) pada kasus I
 16 Perbandingan total jarak dengan jumlah iterasi 50 dan jumlah populasi yang berbeda (20, 30, 40) pada kasus I
 17 Perbandingan total jarak dengan jumlah iterasi 50 dan jumlah populasi yang berbeda (40, 50, 60) pada kasus II
 18 Perbandingan total jarak dengan jumlah iterasi 100 dan jumlah populasi yang berbeda (40, 50, 60) pada kasus II
 19 Perbandingan total jarak dengan jumlah iterasi 150 dan jumlah populasi yang berbeda (40, 50, 60) pada kasus II
 20 Perbandingan total jarak dengan jumlah iterasi 150 dan jumlah populasi yang berbeda (60, 70, 80) pada kasus III
 21 Perbandingan total jarak dengan jumlah iterasi 200 dan jumlah populasi yang berbeda (60, 70, 80) pada kasus III
 22 Perbandingan total jarak dengan jumlah iterasi 250 dan jumlah populasi yang berbeda (60, 70, 80) pada kasus III
 23 Perbandingan waktu eksekusi antara GWO dengan metode eksak B&B dan metode meta-heuristik (ACO, BCO, SA)
 24 Perbandingan total jarak antara GWO dengan metode eksak B&B dan metode meta-heuristik (ACO, BCO, SA)
 25 Selisih total jarak dari metode eksak B&B dengan algoritma lainnya

DAFTAR TABEL

1	Data koordinat 7 kota	14
2	Data matriks jarak 7 kota	15
3	Hasil pembangkitan 5 serigala secara acak beserta nilai <i>fitness</i> -nya	15
4	Hasil seluruh iterasi dari penerapan algoritma 2-opt pada rute X_{21}	20
5	Perbandingan nilai <i>fitness</i> rute X_2 sebelum dan sesudah diperbarui dengan d_α dan algoritma 2-opt	20
6	Hasil seluruh iterasi dari penerapan algoritma 2-opt pada rute X_{22}	24
7	Perbandingan nilai <i>fitness</i> rute X_2 sebelum dan sesudah diperbarui dengan d_β dan algoritma 2-opt	25
8	Hasil seluruh iterasi dari penerapan algoritma 2-opt pada rute X_{23}	28
9	Perbandingan nilai <i>fitness</i> rute X_2 sebelum dan sesudah diperbarui dengan d_δ dan algoritma 2-opt	29
10	Hasil rute-rute terbaru dari rute X_2 yang telah diperbarui dengan jarak Hamming dan algoritma 2-opt	29
11	Hasil rute-rute terbaru dari rute X_4 yang telah diperbarui dengan jarak Hamming dan algoritma 2-opt	30
12	Hasil perbandingan rute-rute serigala pemimpin sebelum dan sesudah diperbarui	31
13	Data koordinat x dan y untuk 3 kasus TSP	36
14	Perbandingan total jarak dengan jumlah iterasi 30 dan jumlah populasi yang berbeda (20, 30, 40) pada kasus I	37
15	Perbandingan total jarak dengan jumlah iterasi 40 dan jumlah populasi yang berbeda (20, 30, 40) pada kasus I	38
16	Perbandingan total jarak dengan jumlah iterasi 50 dan jumlah populasi yang berbeda (20, 30, 40) pada kasus I	38
17	Perbandingan total jarak dengan jumlah iterasi 50 dan jumlah populasi yang berbeda (40, 50, 60) pada kasus II	40
18	Perbandingan total jarak dengan jumlah iterasi 100 dan jumlah populasi yang berbeda (40, 50, 60) pada kasus II	40
19	Perbandingan total jarak dengan jumlah iterasi 150 dan jumlah populasi yang berbeda (40, 50, 60) pada kasus II	41
20	Perbandingan total jarak dengan jumlah iterasi 150 dan jumlah populasi yang berbeda (60, 70, 80) pada kasus III	43
21	Perbandingan total jarak dengan jumlah iterasi 200 dan jumlah populasi yang berbeda (60, 70, 80) pada kasus III	43
22	Perbandingan total jarak dengan jumlah iterasi 250 dan jumlah populasi yang berbeda (60, 70, 80) pada kasus III	44
23	Perbandingan waktu eksekusi antara GWO dengan metode eksak B&B dan metode meta-heuristik (ACO, BCO, SA)	46
24	Perbandingan total jarak antara GWO dengan metode eksak B&B dan metode meta-heuristik (ACO, BCO, SA)	46
25	Selisih total jarak dari metode eksak B&B dengan algoritma lainnya	47



DAFTAR GAMBAR

1	Rute TSP yang diilustrasikan dengan graf	4
2	Ilustrasi subtur	5
3	Hierarki kepemimpinan serigala abu-abu	6
4	Rute TSP sebelum dan sesudah diterapkan algoritma 2-opt	8
5	Rute yang membentuk subtur	8
6	Rute sesudah diterapkan algoritma 2-opt	9
7	<i>Flowchart Algoritma Grey Wolf Optimization</i>	13
8	Grafik hubungan antara jumlah iterasi dan total jarak	32
9	Hasil menggunakan LINGO 19.0 untuk TSP 7 kota	32
10	Rute TSP untuk kasus 7 kota	33
11	Hasil menggunakan LINGO 19.0 untuk kasus I	34
12	Hasil menggunakan LINGO 19.0 untuk kasus II	34
13	Hasil menggunakan LINGO 19.0 untuk kasus III	35
14	Pengaruh jumlah iterasi dan populasi terhadap total jarak pada kasus I	38
15	Pengaruh jumlah iterasi dan populasi terhadap waktu komputasi pada kasus I	39
16	Rute TSP Kasus I	40
17	Pengaruh jumlah iterasi dan populasi terhadap total jarak pada kasus II	41
18	Pengaruh jumlah iterasi dan populasi terhadap waktu komputasi pada kasus II	42
19	Rute TSP kasus II	43
20	Pengaruh jumlah iterasi dan populasi terhadap total jarak pada kasus III	44
21	Pengaruh jumlah iterasi dan populasi terhadap waktu komputasi pada kasus III	45
22	Rute TSP kasus III	45

DAFTAR LAMPIRAN

1	Sintaks <i>software</i> LINGO 19.0	51
2	Sintaks Algoritma GWO menggunakan Python 3.9.7	52

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.