

**PENYELESAIAN *MULTIPLE TRAVELLING SALESMAN*
PROBLEM DENGAN *IMPROVED K-MEANS CLUSTERING*
DAN *GENETIC ALGORITHM***

HAIFA HANADIA



**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
Bogor Indonesia

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.

Perpustakaan IPB University



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Penyelesaian *Multiple Travelling Salesman Problem* dengan *Improved k-Means Clustering* dan *Genetic Algorithm*” 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, Juni 2026

Haifa Hanadia
G5401221045

ABSTRAK

HAIFA HANADIA. Penyelesaian *Multiple Travelling Salesman Problem* dengan *Improved k-Means Clustering* dan *Genetic Algorithm*. Dibimbing oleh BIB PARUHUM SILALAH dan TONI BAKHTIAR.

Multiple Travelling Salesman Problem (MTSP) bertujuan meminimalkan total jarak tempuh dengan tetap mempertimbangkan keseimbangan beban kerja antar-salesman. Penelitian ini menyelesaikan MTSP melalui pendekatan *cluster-first route-second* menggunakan algoritme *Improved k-Means* dan *Genetic Algorithm* (GA). *Improved k-Means* digunakan untuk membentuk klaster kota yang seimbang, sementara GA dengan berbagai operator genetik mencari rute *near-optimal* pada setiap klaster. Hasil penelitian menunjukkan *Improved k-Means* berhasil mendistribusikan beban kerja secara proporsional. GA terbukti menghasilkan rute konvergen, menunjukkan tingkat akurasi yang tergolong *near-optimal* terhadap solusi eksak (MILP). Analisis variasi *salesman* menunjukkan bahwa penambahan jumlah *salesman* cenderung meningkatkan total jarak global, tetapi pengaruhnya terhadap *makespan* dan keseimbangan beban kerja tidak selalu linear. Selain itu, peningkatan parameter GA tidak selalu signifikan mengurangi jarak tetapi tetap menambah waktu komputasi. Dengan demikian, kombinasi kedua algoritme ini terbukti efektif dalam menyelesaikan MTSP.

Kata kunci: *Genetic Algorithm*, *Improved k-Means*, keseimbangan beban kerja, *makespan*, *Multiple Travelling Salesman Problem*

ABSTRACT

HAIFA HANADIA. Solving the Multiple Traveling Salesman Problem with Improved k-Means Clustering and Genetic Algorithm. Supervised by BIB PARUHUM SILALAH and TONI BAKHTIAR.

The Multiple Travelling Salesman Problem (MTSP) aims to minimize the total distance traveled while considering the balance of workload between salesman. This study solves the MTSP through a cluster-first route-second approach using the Improved k-Means algorithm and Genetic Algorithm (GA). Improved k-Means is used to form balanced city clusters, while GA with various genetic operators searches for near-optimal routes in each cluster. The results show that Improved k-Means successfully distributes the workload proportionally. GA is proven to produce convergent routes, showing a near-optimal level of accuracy compared to the exact solution (MILP). Analysis of salesman variation shows that increasing the number of salesman tends to increase the total global distance, while its effect on makespan and workload balance is not always linear. Furthermore, increasing the GA parameters did not always significantly reduce the distance but still increased the computation time. Thus, the combination of these two algorithms proved to be effective in solving the MTSP.

Keywords: Genetic Algorithm, Improved k-Means, makespan, Multiple Travelling Salesman Problem, workload balance



@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.

**PENYELESAIAN *MULTIPLE TRAVELLING SALESMAN*
PROBLEM DENGAN *IMPROVED K-MEANS CLUSTERING*
DAN *GENETIC ALGORITHM***

HAIFA HANADIA

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

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:
Bidayatul Mas'ulah, S.Si., M.Sc.



Judul Skripsi : *Penyelesaian Multiple Travelling Salesman Problem dengan Improved k-Means Clustering dan Genetic Algorithm*

Nama : Haifa Hanadia

NIM : G5401221045

@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.

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Ir. Bib Paruhum Silalahi, M.Kom.

Pembimbing 2:

Prof. Dr. Toni Bakhtiar, S.Si., M.Sc.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Dr. Donny Citra Lesmana, S.Si., M.Fin.Math.

NIP 197902272005011001

Tanggal Ujian: 21 Mei 2026

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan November 2025 sampai bulan April 2026 ini ialah Riset Operasi, dengan judul “Penyelesaian *Multiple Travelling Salesman Problem* dengan *Improved k-Means Clustering* dan *Genetic Algorithm*”. Proses penyusunan karya ilmiah ini tidak lepas dari bantuan banyak pihak. Oleh karena itu, penulis berterima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang senantiasa membersamai penulis dalam setiap proses, menguatkan langkah, memberikan pemahaman, menenangkan hati, serta memudahkan setiap perjalanan hingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.
2. Ibu Zulfa Latif, Alm. Bapak Prabudy Utama, dan Bapak Toton Heriyanto selaku orang tua penulis, serta M. Syafiq Asykarul Aziz dan Khalida Yasmin Athira selaku adik penulis, atas doa, kasih sayang, pengorbanan, dukungan, dan keyakinan yang senantiasa diberikan.
3. Prof. Dr. Ir. Bib Paruhum Silalahi, M.Kom. selaku dosen pembimbing I dan Prof. Dr. Toni Bakhtiar, S.Si., M.Sc. selaku dosen pembimbing II, atas bimbingan, arahan, ilmu, kesabaran, serta waktu yang telah diberikan kepada penulis selama proses penyusunan tugas akhir ini. Terima kasih pula penulis sampaikan kepada Ibu Bidayatul Mas'ulah, S.Si., M.Sc. selaku dosen penguji atas evaluasi yang sangat berarti bagi penyempurnaan tugas akhir ini.
4. Rekan-rekan yang telah menemani perjalanan penulis sejak awal hingga saat ini, Melisa, Cheryl, Tiur, Aufa, Zilmi, Dewi, Chintya, dan Risma.
5. Rekan-rekan bimbingan yang sejak awal berjuang bersama dalam proses pengerjaan tugas akhir, Cathleen, Galuh, Rakha, Shofi, dan Uma.
6. Maharani, Ema, Rasya, Lilah, Alyaa, Ica, Yumna, Dita, Hani, dan Wanda yang bersedia menemani penulis dalam berbagai fase.
7. Rekan-rekan organisasi dan kepanitiaan penulis, Kestari Genus, Litbang BKIM, BPH Gumatika, dan Project 30 IAAS yang telah menjadi bagian penting dalam proses pengembangan diri penulis selama masa perkuliahan.
8. Rekan-rekan Matematika angkatan 59 yang telah berproses bersama sejak awal hingga akhir masa perkuliahan. Terima kasih atas kebersamaan dan kenangan yang telah menjadi bagian dari perjalanan penulis di Departemen Matematika.
9. Rekan-rekan Paragon *Internship* penulis yang telah memberikan dukungan di penghujung masa penyelesaian tugas akhir ini, serta seluruh pihak yang berarti bagi penulis namun tidak dapat disebutkan satu per satu.
10. Diri saya sendiri, yang telah berusaha melewati proses perkuliahan sejak awal hingga penyelesaian tugas akhir ini. Terima kasih karena tidak menyerah, tetap percaya, mencoba, dan memilih untuk menyelesaikan apa yang telah dimulai.

Semoga segala doa, dukungan, bantuan, dan kebaikan yang telah diberikan kepada penulis mendapatkan balasan terbaik dari Allah SWT. Penulis berharap karya ilmiah ini dapat memberikan manfaat bagi pihak yang membutuhkan serta menjadi bagian kecil dari kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juni 2026

Haifa Hanadia



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

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.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Optimasi	3
2.2 Penyelesaian Masalah Optimasi	3
2.3 <i>Travelling Salesman Problem (TSP)</i>	4
2.4 <i>Multiple Travelling Salesman Problem (MTSP)</i>	5
2.5 <i>Clustering</i>	8
2.6 <i>K-Means</i>	9
2.7 <i>Genetic Algorithm</i>	13
2.8 Penentuan <i>Best Seed</i> pada Inisialisasi Acak	18
III METODE	20
3.1 Alat dan Bahan	20
3.2 Tahapan Penyelesaian <i>Multiple Travelling Salesman Problem</i>	20
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Implementasi <i>Improved k-Means</i> dan <i>Genetic Algorithm</i>	28
4.2 Penyelesaian MTSP 51 Kota dengan Variasi Jumlah <i>Salesman</i>	56
4.3 Analisis Parameter <i>Genetic Algorithm</i> dalam Penyelesaian MTSP	70
V SIMPULAN DAN SARAN	28
5.1 Simpulan	28
5.2 Saran	28
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN	78
RIWAYAT HIDUP	107



DAFTAR TABEL

1	Konsep dasar <i>Genetic Algorithm</i>	13
2	Deskripsi parameter <i>Genetic Algorithm</i>	14
3	Nilai parameter <i>Improved k-Means</i>	21
4	Nilai parameter <i>Genetic Algorithm</i>	21
5	<i>Screening Seed Improved k-Means</i> dengan parameter kecil	29
6	Lima <i>seed</i> terbaik <i>Improved k-Means</i> dengan parameter kecil	30
7	Lima <i>seed</i> terbaik <i>Improved k-Means</i> dengan parameter besar	30
8	Probabilitas pemilihan <i>centroid</i> awal pertama	31
9	Probabilitas pemilihan $c_2^{(0)}$ terhadap $c_1^{(0)}$	32
10	Hasil klusterisasi awal untuk setiap titik kota	33
11	Evaluasi awal hasil inisialisasi <i>k-Means++</i>	34
12	Evaluasi hasil akhir <i>Improved k-Means</i>	36
13	<i>Screening Seed Genetic Algorithm</i> dengan parameter kecil	37
14	Lima <i>Seed</i> terbaik <i>Genetic Algorithm</i> dengan parameter kecil	39
15	Lima <i>Seed</i> terbaik <i>Genetic Algorithm</i> dengan parameter besar	39
16	Populasi awal <i>Genetic Algorithm</i> pada Klaster 1	40
17	Populasi awal <i>Genetic Algorithm</i> pada Klaster 2	41
18	Proses seleksi <i>Genetic Algorithm</i> pada Klaster 1	44
19	Proses seleksi <i>Genetic Algorithm</i> pada Klaster 2	45
20	Proses <i>crossover Genetic Algorithm</i> pada Klaster 1	46
21	Proses <i>crossover Genetic Algorithm</i> pada Klaster 2	46
22	Hasil ilustrasi <i>crossover</i> pada burma14	48
23	Proses mutasi <i>Genetic Algorithm</i> pada Klaster 1	49
24	Proses mutasi <i>Genetic Algorithm</i> pada Klaster 2	50
25	Hasil optimasi <i>Genetic Algorithm</i> per generasi pada Klaster 1	51
26	Hasil optimasi <i>Genetic Algorithm</i> per generasi pada Klaster 2	52
27	Perbandingan hasil GA dan MILP per klaster pada kasus sederhana	55
28	Hasil global MTSP dengan GA dan MILP pada kasus sederhana	55
29	Hasil <i>Improved k-Means</i> dengan 4 <i>salesman</i> pada kasus utama	57
30	Hasil per klaster <i>Genetic Algorithm</i> dengan 4 <i>salesman</i> pada kasus utama	58
31	Perbandingan GA dan MILP pada 4 <i>salesman</i> pada kasus utama	59
32	Hasil <i>Improved k-Means</i> dengan 5 <i>salesman</i> pada kasus utama	60
33	Hasil per klaster <i>Genetic Algorithm</i> dengan 5 <i>salesman</i> pada kasus utama	61
34	Perbandingan GA dan MILP pada 5 <i>salesman</i> pada kasus utama	62
35	Hasil <i>Improved k-Means</i> dengan 6 <i>salesman</i> pada kasus utama	64
36	Hasil per klaster <i>Genetic Algorithm</i> dengan 6 <i>salesman</i> pada kasus utama	65
37	Perbandingan GA dan MILP pada 6 <i>salesman</i> pada kasus utama	66
38	Perbandingan hasil global berdasarkan jumlah <i>salesman</i>	68
39	Perbandingan total jarak dengan ukuran populasi 100 dan jumlah generasi berbeda	71
40	Perbandingan total jarak dengan ukuran populasi 300 dan jumlah generasi berbeda	71

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

41	Perbandingan total jarak dengan ukuran populasi 500 dan jumlah generasi berbeda	71
----	---	----

DAFTAR GAMBAR

1	Perbedaan TSP dan MTSP	5
2	Ilustrasi solusi MTSP dengan subtur	7
3	Inisialisasi <i>centroid</i> dengan <i>k-Means</i> Standar	9
4	Hasil <i>clustering</i> dengan <i>k-Means</i> Standar	9
5	Inisialisasi <i>centroid</i> dengan <i>Improved k-Means</i>	11
6	Hasil <i>clustering</i> dengan <i>Improved k-Means</i>	12
7	<i>Flowchart Improved k-Means</i>	12
8	Ilustrasi tahapan evolusi <i>Genetic Algorithm</i>	15
9	<i>Flowchart Genetic Algorithm</i>	18
10	Data koordinat (x, y) burmal4 TSPLIB	20
11	Data koordinat (x, y) eil51 TSPLIB	20
12	<i>Flowchart</i> tahap penyelesaian MTSP	27
13	Visualisasi <i>centroid</i> awal <i>k-Means++</i> burma14	34
14	Visualisasi hasil klasterisasi dengan <i>heuristic balancing</i>	36
15	Ilustrasi <i>Roulette Wheel</i> pada Klaster 1	43
16	Grafik konvergensi nilai <i>fitness</i> GA pada Klaster 1	53
17	Grafik konvergensi nilai <i>fitness</i> GA pada Klaster 2	53
18	Grafik konvergensi GA pada Klaster 1	53
19	Grafik konvergensi GA pada Klaster 2	54
20	Visualisasi rute hasil optimasi dengan GA	56
21	Visualisasi rute hasil optimasi dengan MILP	56
22	Visualisasi klaster dengan 4 <i>salesman</i>	57
23	Konvergensi <i>fitness</i> per klaster pada 4 <i>salesman</i>	58
24	Hasil optimasi rute GA pada 4 <i>salesman</i>	60
25	Hasil optimasi rute MILP pada 4 <i>salesman</i>	60
26	Visualisasi klaster dengan 5 <i>salesman</i>	61
27	Konvergensi <i>fitness</i> per klaster pada 5 <i>salesman</i>	62
28	Hasil optimasi rute GA pada 5 <i>salesman</i>	63
29	Hasil optimasi rute MILP pada 5 <i>salesman</i>	63
30	Visualisasi klaster dengan 6 <i>salesman</i>	65
31	Konvergensi <i>fitness</i> per klaster pada 6 <i>salesman</i>	65
32	Hasil optimasi rute GA pada 6 <i>salesman</i>	67
33	Hasil optimasi rute MILP pada 6 <i>salesman</i>	67
34	<i>Boxplot</i> distribusi jarak tempuh tiap <i>salesman</i> pada berbagai skenario jumlah <i>salesman</i>	68
35	Perbandingan total jarak dan waktu penyelesaian GA	70
36	Pengaruh parameter GA terhadap total jarak	72
37	Pengaruh parameter GA terhadap waktu komputasi	72



DAFTAR LAMPIRAN

1	Lampiran 1 Sintaks pencarian <i>Best Seed</i> menggunakan Python 3.11.14	78
2	Lampiran 2 Sintaks algoritme <i>Improved k-Means</i> menggunakan Python 3.11.14	86
3	Lampiran 3 Sintaks <i>Genetic Algorithm</i> menggunakan Python 3.11.14	89
4	Lampiran 4 Sintaks analisis jumlah <i>salesman</i> dan parameter GA menggunakan Python 3.11.14	94
5	Lampiran 5 Sintaks MILP menggunakan Python 3.11.14 sebagai alat validasi	95

@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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.