

**PENYELESAIAN *MULTIPLE TRAVELING SALESMAN PROBLEM*
DENGAN *TIME WINDOWS* MENGGUNAKAN ALGORITMA *IMPROVED*
*ANT COLONY OPTIMIZATION***

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar

Sarjana Matematika



oleh

Gilang Sukma Diriksa

NIM 2106345

PROGRAM STUDI MATEMATIKA

FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA

2025

LEMBAR HAK CIPTA

PENYELESAIAN *MULTIPLE TRAVELING SALESMAN PROBLEM* DENGAN *TIME WINDOWS* MENGGUNAKAN *ALGORITMA IMPROVED* *ANT COLONY OPTIMIZATION*

Oleh:

Gilang Sukma Diriksa

2106345

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat dalam memperoleh gelar Sarjana
Matematika pada Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

© Gilang Sukma Diriksa 2025

Universitas Pendidikan Indonesia

Juli 2025

Hak cipta dilindungi undang-undang.

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian dengan dicetak
ulang, difotokopi, atau cara lainnya tanpa izin penulis.

LEMBAR PENGESAHAN

GILANG SUKMA DIRIKSA

**PENYELESAIAN *MULTIPLE TRAVELLING SALESMAN PROBLEM*
DENGAN *TIME WINDOWS* MENGGUNAKAN ALGORITMA *IMPROVED*
*ANT COLONY OPTIMIZATION***

Disetujui dan disahkan oleh pembimbing.

Pembimbing I,

07/09/2015

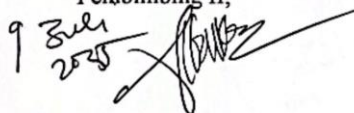


Dr. Khusnul Novianingsih, S.Si., M.Si.

NIP. 197711282008122001

Pembimbing II,

9 Juli
2015

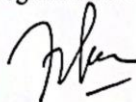


Imam Nugraha Albania, Ph.D.

NIP. 198604062010121003

Mengetahui,

Ketua Program Studi Matematika



Dr. Kartika Yulianti, S.Pd., M.Si.

NIP. 198207282005012001

ABSTRAK

Multiple Traveling Salesman Problem dengan *Time Windows* (mTSP-TW) merupakan pengembangan dari TSP dengan melibatkan lebih dari satu salesman dan batasan waktu kunjungan pada setiap lokasi. Penelitian ini menyelesaikan mTSP-TW menggunakan algoritma *Improved Ant Colony Optimization* (IACO), yang merupakan pengembangan dari ACO dengan penambahan mutasi *reciprocal exchange* dan *local search 2-opt* untuk meningkatkan kualitas solusi. Hasil percobaan menunjukkan bahwa IACO mampu menghasilkan solusi yang *feasible* dan efisien dengan total jarak minimum sebesar 1026,76 km dalam 100 iterasi dan 20 percobaan. Parameter terbaik diperoleh dengan jumlah semut 15, *pheromone* awal 0,1, tingkat penguapan *pheromone* 0,2, nilai eksploitasi $q_0 = 0,7$, serta bobot $\alpha = 1$ dan $\beta = 2$.

Kata kunci: *Multiple Traveling Salesman Problem* dengan *Time Windows*, *Improved Ant Colony Optimization*, mutasi *reciprocal exchange*, *local search 2-opt*

ABSTRACT

The Multiple Traveling Salesman Problem dengan Time Windows (mTSP-TW) is an extension of the TSP that involves more than one salesman and time window constraints at each location. This study addresses the mTSP-TW using the Improved Ant Colony Optimization (IACO) algorithm, an enhancement of ACO that incorporates reciprocal exchange mutation and 2-opt local search to improve solution quality. The computational results show that IACO can produce feasible and efficient solutions, achieving a minimum total distance of 1180.50 km in 100 iterations and 20 trials. The best performance was achieved using 15 ants, an initial pheromone value of 0.1, a pheromone evaporation rate of 0.2, an exploitation factor q_0 of 0.7, and pheromone and visibility weights of $\alpha = 1$ and $\beta = 1$, respectively.

Keywords: *Multiple Traveling Salesman Problem dengan Time Windows, Improved Ant Colony Optimization, reciprocal exchange mutation, 2-opt local search*

DAFTAR ISI

LEMBAR HAK CIPTA	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
BAB II LANDASAN TEORI	6
2.1 Teori Dasar Graf.....	6
2.2 <i>Traveling Salesman Problem (TSP)</i>	6
2.3 <i>Multiple Traveling Salesman Problem (mTSP)</i>	8
2.4 <i>Multiple Traveling Salesman Problem dengan Time Windows (mTSP-TW)</i>	9
2.5 <i>Ant Colony Optimization (ACO)</i>	9
2.6 <i>Improved Ant Colony Optimization (IACO)</i>	11
2.7 Parameter IACO	11
2.8 Mutasi	14
2.9 <i>Local search</i>	14

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	16
3.1 Deskripsi Masalah	16
3.2 Tahap Penelitian	16
3.3 Model Optimisasi	17
3.4 Teknik Penyelesaian Model menggunakan IACO	20
BAB IV	27
HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Contoh Kasus Penyelesaian Menggunakan IACO	27
4.2 Implementasi	38
4.2.1 Data Penelitian	38
4.2.2 Model Optimisasi	42
4.2.3 Validasi	43
4.2.4 Tahapan Implementasi.....	44
4.2.5 Hasil Implementasi	47
4.2.6 Analisis Hasil Implementasi	48
4.2.7 Analisis Parameter IACO	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	54
5.1 Kesimpulan.....	54
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Local Search 2-Opt</i>	15
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> tahapan penyelesaian mTSP-TW dengan menggunakan Algoritma IACO	26
Gambar 4.1 Titik-titik Lokasi Kota.....	28
Gambar 4.2 Representasi Graf Solusi Awal <i>Salesman 1</i>	32
Gambar 4.3 Representasi Graf Solusi Awal <i>Salesman 2</i>	34
Gambar 4.4 Representasi Graf Solusi Awal Semut ke-1.....	36
Gambar 4.5 Lokasi Data Penelitian	40
Gambar 4.6 <i>Screenshot Output</i> Solusi Optimal Contoh Kasus Sub Bab 4.1	44
Gambar 4.7 <i>Screenshot Input</i> Parameter Algoritma IACO	44
Gambar 4.8 <i>Screenshot</i> Hasil <i>Output</i> Solusi Awal	45
Gambar 4.9 <i>Screenshot</i> Hasil <i>Output</i> Mutasi Reciprocal Exchange	46
Gambar 4.10 <i>Screenshot</i> Hasil <i>Output Local Search 2-opt</i>	46
Gambar 4.11 <i>Screenshot</i> Hasil <i>Output</i> Pembaruan <i>Pheromone</i> Lokal.....	47
Gambar 4.12 <i>Screenshot</i> Hasil <i>Output</i> Pembaruan <i>Pheromone</i> Global	47
Gambar 4.13 Grafik Hasil Setiap Iterasi.....	48
Gambar 4.14 Graf Rute Seluruh Salesman	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sebelum Dilakukan <i>Mutasi Reciprocal Exchange</i>	14
Tabel 2.2 Sesudah Dilakukan <i>Mutasi Reciprocal Exchange</i>	14
Tabel 3.1 Parameter IACO	21
Tabel 4.1 Data Waktu Pelayanan dan Batasan Waktu Pelanggan.....	27
Tabel 4.2 Data Koordinat Kota.....	28
Tabel 4.3 Jarak Antar Kota dalam Km.....	29
Tabel 4.4 Waktu Tempuh Antar Pelanggan dalam Menit.....	29
Tabel 4.5 Jumlah <i>Pheromone</i> Awal Setiap Lokasi.....	29
Tabel 4.6 <i>Visibility</i> untuk Setiap Lokasi.....	30
Tabel 4.7 Probabilitas Terpilihnya Setiap Jalur oleh Semut ke-1	30
Tabel 4.8 Probabilitas Kumulatif Terpilihnya Setiap Lokasi Semut ke-1	30
Tabel 4.9 Solusi Optimal yang Ditemukan Semut ke-1	35
Tabel 4.10 Jumlah <i>Pheromone</i> Setiap Jalur untuk Semut ke-1	36
Tabel 4.11 Solusi Optimal yang Ditemukan Semut ke-2.....	37
Tabel 4.12 Jumlah <i>Pheromone</i> pada Setiap Lokasi untuk Semut ke-2.....	37
Tabel 4.13 Jumlah <i>Pheromone</i> Global Setiap Lokasi.....	38
Tabel 4.14 Koordinat Lokasi Data Penelitian.....	39
Tabel 4.15 <i>Time Windows</i> data penelitian	41
Tabel 4.16 Solusi Optimal mTSP-TW	48
Tabel 4.17 Uji Parameter IACO	51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Coding</i> untuk Contoh Kasus	59
Lampiran 2 <i>Coding</i> untuk Data Penelitian	63

DAFTAR PUSTAKA

- Applegate, D. L., Bixby, R. E., Chvátal, V., & Cook, W. J. (2006). *The Traveling Salesman Problem: A Computational Study*. Princeton University Press.
- Bektas, T. (2006). The multiple traveling *salesman* problem: An overview of formulations and solution procedures. *Omega*, 34(3), 209-219.
- Bianchi, L., Dorigo, M., Gambardella, L. M., & Gutjahr, W. J. (2009). A survey on metaheuristics for stochastic combinatorial optimization. *Natural Computing*, 8(2), 239–287.
- Bin, Y. dkk., 2008, An Improved Ant Colony Optimization for Vehicle Routing Problem, *European Journal of Operational Research*, 196, 171- 176
- Cheng, C.-H., Wang, Y., & Chang, C.-H. (2007). A hybrid heuristic approach for solving capacitated vehicle routing problem. *Applied Soft Computing*, 7(2), 660–667.
- Dorigo, M., & Stützle, T. (2004). *Ant Colony Optimization*. MIT Press
- Karjono, K., Moedjiono, M., & Kurniawan, D. (2016). Ant colony optimization. *Jurnal Ticom*, 4(3), 93603.
- Li, Y., Chen, H., & Zhao, J. (2021). An improved ant colony optimization algorithm for solving dynamic vehicle routing problems. *Expert Systems with Applications*, 165, 113853.
- Li, M., Ma, J., Zhang, Y., Zhou, H., & Liu, J. (2015). Firefly algorithm solving multiple traveling *salesman* problem. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 12(7), 1277-1281.
- Liu, W., Kang, L., & Chen, Z. (2009). A new ant colony algorithm for solving the multiple traveling salesman problem. *Journal of Computational Information Systems*, 5(3), 1095–1102.
- Lotin, F., & Vercamer, D. (2016). Multiple Traveling Salesmen Problem with Time Windows: A practical case for a home-vending company. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 6(4), 18–24.

- Munir, R. (2005). *Matematika diskrit*. Bandung: Informatika.
- Putri, N. A. (2024). Implementasi *Improved Ant Colony Optimization* untuk Menyelesaikan *Capacitated Dynamic Vehicle Routing Problem*. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Wang, M., Ma, T., Li, G., Zhai, X., & Qiao, S. (2020). Ant colony optimization with an improved *pheromone* model for solving MTSP with capacity and time window constraint. *IEEE Access*, 8, 106872-106879.
- Yang, J., & Zhuang, Y. (2010). An improved ant colony optimization algorithm for solving a complex combinatorial optimization problem. *Applied soft computing*, 10(2), 653-660.