

**SKRIPSI**

**IMPLEMENTASI ALGORITMA *ANT COLONY OPTIMIZATION* PADA  
*VEHICLE ROUTING PROBLEM* DALAM PENENTUAN RUTE BUS  
TRANS JOGJA**



**Alfi Masruroh**

**NIM. 22106010066**

**STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA**

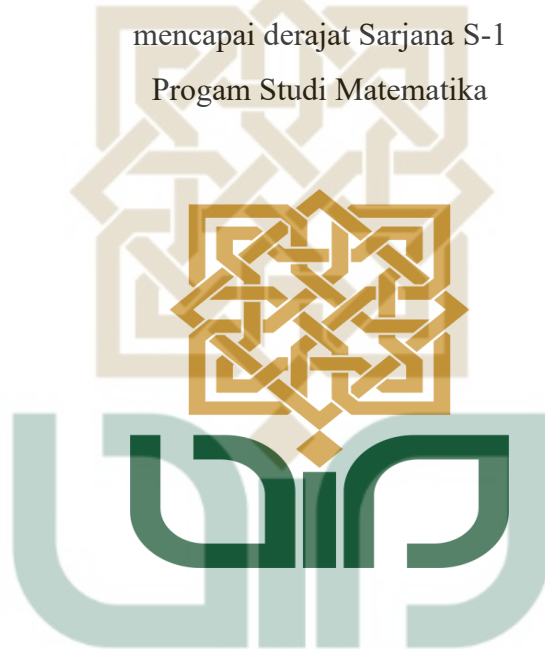
**PROGRAM STUDI MATEMATIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA**

**2026**

**IMPLEMENTASI ALGORITMA *ANT COLONY OPTIMIZATION* PADA  
*VEHICLE ROUTING PROBLEM* DALAM PENENTUAN RUTE BUS  
TRANS JOGJA**

Skripsi

Untuk memenuhi sebagian persyaratan  
mencapai derajat Sarjana S-1  
Program Studi Matematika





**Diajukan Oleh**  
**Alfi Masrurroh**  
**22106010066**

**Kepada**

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA**  
**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**  
**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA**  
**YOGYAKARTA**

**2026**

## HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

 Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga  FM-UINSK-BM-05-03/R0

**SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR**

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir  
Lamp :

Kepada  
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta  
di Yogyakarta

*Assalamu'alaikum wr. wb.*

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Alfi Masruroh  
NIM : 22106010066  
Judul Skripsi : Implementasi Algoritma Ant Colony Optimization Pada *Vehicle Routing Problem* Dalam Penentuan Rute Bus Trans Jogja

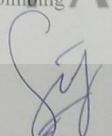
sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Matematika.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunculkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

*Wassalamu'alaikum wr. wb.*

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

Yogyakarta, 05 Mei 2026  
Pembimbing

  
Noor Saif Muhammad Mussafi, S.Si.,  
M.Sc., Ph.D.  
NIP. 19820617 200912 1 005

# HALAMAN PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

## PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1193/Un.02/DST/PP.00.9/06/2026

Tugas Akhir dengan judul : Implementasi Algoritma Ant Colong Optimization pada Vehicle Routing Problem dalam Penentuan Rute Bus Trans Jogja

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : ALFI MASRUROH  
Nomor Induk Mahasiswa : 22106010066  
Telah diujikan pada : Rabu, 13 Mei 2026  
Nilai ujian Tugas Akhir : A-

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

## TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Noor Saif Muhammad Mussafi, S.Si., M.Sc., Ph.D.  
SIGNED

Valid ID: 6a214c029481



Penguji I

Muhammad Abrori, S.Si., M.Kom  
SIGNED

Valid ID: 6a20e399c39c



Penguji II

Aulfa Khifah Futhona, M.Sc.  
SIGNED

Valid ID: 6a20fc43c3bb



Yogyakarta, 13 Mei 2026  
UIN Sunan Kalijaga  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.  
SIGNED

Valid ID: 6a2239f026fa

## HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

### SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Alfi Masruroh  
NIM : 22106010066  
Program Studi : Matematika  
Fakultas : Sains dan Teknologi

Dengan ini menyatakan bahwa isi skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu Perguruan Tinggi dan sesungguhnya skripsi ini merupakan hasil pekerjaan penulis sendiri sepanjang pengetahuan penulis, bukan duplikasi atau saduran dari karya orang lain kecuali bagian tertentu yang penulis ambil sebagai bahan acuan. Apabila terbukti pernyataan ini tidak benar, sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis.

Yogyakarta, 05 Mei 2026



METERAI  
TEMPEL  
1000  
9004AANX387311838

Alfi Masruroh

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
**SUNAN KALIJAGA**  
YOGYAKARTA

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur, skripsi ini saya persembahkan kepada kedua orang tua serta keluarga tercinta atas doa yang tak pernah terputus, pengorbanan yang tak terhitung, serta kasih sayang yang senantiasa menguatkan dan menjadi tempat saya pulang dalam setiap langkah perjalanan hidup ini.

Kepada dosen pembimbing serta seluruh dosen Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga, terima kasih atas bimbingan, ilmu, arahan, serta kesabaran dan kepercayaan yang diberikan sehingga menjadi bekal berharga dalam penyusunan skripsi ini.

Teruntuk sahabat, teman-teman seperjuangan, serta semua pihak yang kasih telah memberikan dukungan dan warna dalam perjalanan akademik saya hingga mencapai titik ini.



## HALAMAN MOTTO

*“Tidaklah mungkin bagi matahari mengejar bulan, dan malam pun tidak dapat mendahului siang. Dan masing-masing beredar pada garis edarnya.”*

**(Q.S. Yasin: 40)**

*“Maka, sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan,”*

**(Q.S. Asy-Syarah: 5-6)**

*“Sesungguhnya jika engkau meninggalkan sesuatu karena Allah, niscaya Allah akan memberi ganti padamu dengan yang lebih baik.”*

**(HR. Ahmad)**

*“Alon-alon waton kelakon”*

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
**SUNAN KALIJAGA**  
YOGYAKARTA

## PRAKATA

*Bismillahirrahmanirrahim.*

*Alhamdulillah* rabbil 'alamiin, Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Implementasi Algoritma *Ant Colony Optimization* Pada *Vehicle Routing Problem* Dalam Penentuan Rute Bus Trans Jogja”. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai teladan bagi umat manusia.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Matematika pada Program Studi Matematika. Dalam proses penyusunannya, penulis tidak hanya belajar memahami materi, tetapi juga melalui berbagai pengalaman yang tidak selalu mudah, hingga akhirnya mampu menyelesaikan apa yang telah dimulai. Penulis juga menyadari bahwa skripsi ini tidak sepenuhnya merupakan hasil usaha sendiri, melainkan tidak terlepas dari bantuan, dukungan, dan doa dari berbagai pihak yang senantiasa mengiringi setiap langkahnya. Oleh karena itu, dengan penuh rasa terima kasih, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Almamater tercinta, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta, khususnya Fakultas Sains dan Teknologi Program Studi Matematika, yang telah menjadi tempat penulis belajar, bertumbuh, dan memperoleh banyak pengalaman berharga.
2. Prof. Dr. Hj. Khurul Wardati, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Dr. Epha Diana Supandi, S.Si., M.Sc., selaku Ketua Program Studi Matematika yang telah memberikan arahan dan dukungan selama masa perkuliahan.
4. Noor Saif Muhammad Mussafi, S.Si., M.Sc., Ph.D., selaku dosen pembimbing skripsi penulis. Terima kasih atas kesabaran, waktu, dan ilmu

yang Bapak berikan selama proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih karena tetap membimbing penulis di tengah segala kebingungan dan keterbatasan yang dimiliki. Setiap arahan, masukan, dan nasihat dari Bapak sangat berarti bagi penulis, bukan hanya untuk menyelesaikan skripsi ini, tetapi juga sebagai pelajaran berharga untuk melangkah ke depannya.

5. Deddy Rahmadi, M.Sc., selaku dosen pembimbing akademik penulis. Terima kasih atas arahan, perhatian, dan motivasi yang telah Bapak berikan selama penulis menjalani masa perkuliahan. Terima kasih telah membimbing penulis dalam proses akademik dengan penuh kesabaran dan memberikan banyak nasihat yang sangat berarti bagi penulis.
6. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Matematika serta Staf Akademik. Terima kasih atas segala ilmu, pengalaman, bantuan, dan kebaikan yang telah diberikan selama penulis menempuh pendidikan di Program Studi Matematika. Terima kasih telah menjadi bagian penting dalam proses belajar dan tumbuhnya penulis selama masa perkuliahan. Semoga segala ilmu dan bantuan yang diberikan menjadi amal baik yang terus mengalir.
7. Kedua orang tua tercinta: Ibu Marsonah dan Bapak Ahmat Darluji. Terima kasih atas segala doa, dukungan, kasih sayang, pengorbanan, dan kerja keras yang tidak pernah berhenti diberikan kepada penulis hingga sampai di titik ini. Terima kasih karena selalu menjadi tempat pulang, penenang, dan sumber kekuatan terbesar bagi penulis. Maaf jika selama ini penulis masih sering membuat kecewa dan belum mampu membalas semua perjuangan tersebut. Gelar ini penulis persembahkan sebagai bentuk kecil rasa terima kasih dan bukti bahwa perjuangan Bapak dan Ibu tidak sia-sia. Semoga penulis dapat menjadi alasan kebahagiaan dan kebanggaan bagi Bapak dan Ibu.
8. Kakak dan kakak ipar tersayang: Erfan Suri dan Aniyati, serta kedua keponakan kecil tercinta Noval Ghivari dan El Fatih Ghiovani. Terima kasih telah menjadi tempat penulis merasa memiliki keluarga yang selalu mendukung tanpa syarat. Untuk Noval dan El Fatih, terima kasih sudah

menjadi sumber kebahagiaan kecil yang sering kali mampu mengembalikan semangat penulis hanya dengan tawa dan tingkah lucu kalian.

9. Teruntuk Dela Nuraini Safinka, teman sejak masa maba yang menjadi salah satu saksi perjalanan penulis selama di bangku perkuliahan. Terima kasih telah hadir dan bertahan sampai sejauh ini, untuk setiap cerita, tawa, tangis, keluh kesah, dan dukungan yang diberikan selama penulis menjalani masa-masa sulit maupun bahagia. Terima kasih karena telah menjadi tempat pulang dalam bentuk pertemanan yang hangat.
10. Teruntuk Dhewi Nurhayati, teman sejak masa maba yang selalu memberikan semangat dan dukungan kepada penulis. Terima kasih atas kebersamaan, perhatian, dan segala bantuan yang diberikan selama ini. Terima kasih karena telah menjadi bagian dari perjalanan panjang penulis selama masa perkuliahan, serta menjadi tempat berkeluh kesah di saat penulis merasa lelah dan membutuhkan teman untuk berbagi cerita. Semoga semua kebaikan yang diberikan kembali kepadamu dalam bentuk kebahagiaan yang berlipat.
11. Teruntuk Kaysa Zafira Erva, teman sejak maba sekaligus teman satu kos yang telah menemani banyak hari penulis selama merantau dan menjalani kehidupan perkuliahan. Terima kasih karena selalu ada dalam cerita-cerita kecil yang kemudian menjadi kenangan besar, serta bantuan, perhatian, dukungan, dan kebersamaan yang diberikan selama ini.
12. Bapak dan Ibu kos yang telah penulis anggap sebagai orang tua kedua, serta teman-teman kos tersayang: Widya, Naafi, dan Najya. Terima kasih atas perhatian, kebaikan, rasa aman, serta kebersamaan yang telah diberikan selama penulis tinggal jauh dari rumah. Terima kasih atas tawa, cerita tengah malam, dukungan sederhana, dan berbagai momen yang membuat kehidupan perkuliahan terasa lebih hangat dan menyenangkan. Kehadiran kalian semua menjadi warna tersendiri dalam perjalanan penulis selama merantau.
13. Teman-teman KKN penulis: Alifiya, Mila, Amanda, Umar, Fajar, Rizki, Ridho, Tyo, dan Arga. Terima kasih untuk setiap cerita, perjuangan, kerja

sama, tawa, dan kenangan yang tercipta selama masa KKN. Terima kasih telah menjadi bagian dari salah satu fase paling berkesan dalam kehidupan perkuliahan penulis. Kebersamaan singkat itu meninggalkan banyak pelajaran, kehangatan, dan cerita yang akan selalu penulis kenang.

14. Teman-teman seperjuangan Angkatan 2022 Program Studi Matematika. Terima kasih telah menjadi teman bertumbuh, belajar, berjuang, dan saling menguatkan selama menjalani dunia perkuliahan. Terima kasih untuk semua kebersamaan, bantuan, diskusi, canda tawa, dan kenangan yang tercipta selama ini. Semoga langkah kita setelah ini dimudahkan dan dipertemukan kembali dalam versi terbaik masing-masing.
15. Terakhir, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada diri sendiri, Alfi Masruroh, yang telah bertahan dan terus melangkah hingga sejauh ini. Di tengah berbagai rasa lelah, takut, dan ragu, tetap ada usaha untuk tidak berhenti dan menyelesaikan apa yang telah dimulai. Perjalanan ini tidak selalu mudah dan penuh dengan ketidakpastian, namun setiap proses yang dilalui menjadi bagian dari pembelajaran untuk tumbuh dan memahami diri dengan lebih baik. Semoga ke depan, penulis dapat terus melangkah dengan lebih percaya diri, menghargai setiap proses, dan menemukan hal-hal baik dari setiap usaha yang dilakukan.

Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan menjadi langkah kecil yang berarti bagi pembaca serta pengembangan ilmu pengetahuan.

Yogyakarta, 08 Mei 2026

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN MOTTO .....</b>	<b>vi</b>
<b>PRAKATA.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR SIMBOL .....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xviii</b>
<b>INTISARI .....</b>	<b>xix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xx</b>
<b>BAB I.....</b>	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang Masalah.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Tujuan Penelitian.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Manfaat Penelitian .....</b>	<b>4</b>
<b>1.5 Batasan Masalah .....</b>	<b>4</b>
<b>1.6 Tinjauan Pustaka .....</b>	<b>5</b>
<b>1.7 Metodologi Penelitian .....</b>	<b>9</b>
<b>1.8 Sistematika Penulisan .....</b>	<b>13</b>
<b>BAB II .....</b>	<b>14</b>

<b>DASAR TEORI .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Transportasi Publik dan Permasalahan Rute.....</b>	<b>14</b>
2.1.1 Pengertian Transportasi Publik .....	14
2.1.2 Tujuan dan Peran Transportasi Publik .....	15
2.1.3 Profil Trans Jogja .....	16
2.1.4 Permasalahan Rute dalam Transportasi Publik.....	18
<b>2.2 Riset Operasi.....</b>	<b>19</b>
2.2.1 Pengertian Riset Operasi.....	19
<b>2.3 Teori Graf.....</b>	<b>20</b>
2.3.1 Pengertian Teori Graf.....	21
2.3.2 Jenis-Jenis Graf.....	22
2.3.3 Graf Hamilton .....	25
<b>2.4 <i>Vehicle Routing Problem</i> (VRP).....</b>	<b>26</b>
2.4.1 Pengertian <i>Vehicle Routing Problem</i> (VRP) .....	26
2.4.2 Pemodelan <i>Vehicle Routing Problem</i> (VRP).....	28
<b>2.5 <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO) .....</b>	<b>31</b>
2.5.1 Pengertian <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO) .....	31
2.5.2 Prinsip Kerja <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO) .....	32
<b>2.6 <i>Python</i> .....</b>	<b>44</b>
2.6.1 Pengertian dan Karakteristik <i>Python</i> ( <i>versi 3.12.13</i> ) .....	44
2.6.2 Struktur Implementasi Algoritma ACO dalam <i>Python</i> .....	45
<b>BAB III.....</b>	<b>49</b>
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>49</b>
<b>3.1 Rute Operasional Bus Trans Jogja .....</b>	<b>49</b>
3.1.1 Rute Jaringan Bus Trans Jogja.....	49
3.1.2 Rute Operasional Jalur 1A Bus Trans Jogja.....	52

<b>3.2 Pemodelan Masalah VRP Rute Bus Trans Jogja.....</b>	<b>59</b>
3.2.1 Identifikasi Komponen dan Rekapitulasi Parameter Model .....	59
3.2.2 Formulasi Fungsi Objektif VRP.....	60
<b>3.3 Implementasi Algoritma ACO Rute Bus Trans Jogja.....</b>	<b>63</b>
3.3.1 Perbandingan Total Jarak Minimum .....	68
3.3.2 Rute Hasil Optimasi .....	68
<b>BAB IV .....</b>	<b>70</b>
<b>PENUTUP.....</b>	<b>70</b>
4.1 Kesimpulan .....	70
4.2 Rekomendasi.....	71
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>73</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>76</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1. Tinjauan Pustaka .....	6
Tabel 2. 1. Matriks Jarak .....	38
Tabel 2. 2. Matriks Visibilitas .....	38
Tabel 2. 3. Rangkaian Rute Kunjungan .....	41
Tabel 3. 1. Titik dan Koordinat Halte Jalur 1A .....	53
Tabel 3. 2. Matriks Jarak Jalur 1A .....	60
Tabel 3. 3. Insialisasi Parameter .....	63
Tabel 3. 4. Matriks Visibilitas Jalur 1A .....	64
Tabel 3. 5. Hasil Jarak Rute Eksisting dan Optimal .....	68
Tabel 3. 6. Rangkaian Rute Kunjungan Halte Jalur 1A .....	69



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Flowchart Metode Penelitian .....	12
Gambar 2. 1. Graf.....	21
Gambar 2. 2. Graf Tak Berarah (G1) dan Graf Berarah (G2) .....	23
Gambar 2. 3. Graf Tak Berbobot (G3) dan Graf Berbobot (G4).....	23
Gambar 2. 4. Graf Terhubung (G5) dan Graf Tak Terhubung (G6) .....	24
Gambar 2. 5. Graf Hamilton .....	26
Gambar 3. 1. Rute Jaringan Operasional Bus Trans Jogja.....	50
Gambar 3. 2. Representasi Graf Berarah dan Berbobot Jalur 1A .....	57

## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
$\alpha$	Pengendali intensitas jejak feromon.
$\beta$	Pengendali visibilitas yang mengontrol pengaruh kedekatan jarak.
$\eta_{ij}$	Nilai visibilitas antara titik $i$ dan $j$ , yang besarnya berbanding terbalik dengan jarak.
$\rho$	Koefisien penguapan atau evaporasi jejak feromon.
$T_{i,j}$	Intensitas jejak feromon pada jalur yang menghubungkan titik $i$ dan $j$ .
$\Delta T_{i,j}$	Tambahan intensitas feromon pada jalur yang dilewati semut berdasarkan kualitas solusi.
$d_{i,j}$	Jarak antara titik $i$ dan $j$ yang dihitung menggunakan rumus Euclidean.
$K$	Himpunan atau jumlah unit armada yang melayani rute.
$L_k$	Total jarak tempuh kolektif yang dihasilkan oleh semut dalam satu iterasi.
$m$	Banyaknya semut yang digunakan dalam simulasi algoritma ACO.
$n$	Jumlah total titik pemberhentian pada jalur.
$NC_{max}$	Siklus atau iterasi maksimum yang ditetapkan dalam algoritma ACO.
$P_{i,j}^k$	Probabilitas semut yang berada pada titik $i$ untuk memilih titik $j$ .
$Q_{ant}$	Tetapan siklus semut yang digunakan untuk pembaruan jejak feromon.
$Q$	Parameter batas maksimal jumlah titik halte yang diizinkan untuk dilayani oleh satu armada bus.

<b>Simbol</b>	<b>Keterangan</b>
$u_i, u_j$	Variabel bantu yang digunakan untuk memenuhi kendala eliminasi sub-rute ( <i>subtour elimination</i> ).
$V$	Himpunan seluruh lokasi pemberhentian atau halte bus di sepanjang koridor rute.
$v_0$	Titik depot yang merepresentasikan terminal awal sekaligus terminal akhir perjalanan.
$v_i, v_j$	Variabel yang merepresentasikan titik lokasi pemberhentian.
$x_{i,j}^k$	Variabel biner; bernilai 1 jika rute dari $i$ ke $j$ dilalui armada $k$ , dan 0 jika tidak.
$Z$	Fungsi objektif yang merepresentasikan minimasi total jarak tempuh rute.

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Matriks Jarak Riil Jalur 1A.....	76
Lampiran 2. Matriks Visibilitas Jalur 1A.....	80
Lampiran 3. Kode Program <i>Python</i> .....	85
Lampiran 4. Output Hasil Optimasi.....	92
Lampiran 5. Visualisasi Graf Rute Hasil Optimisasi Jalur 1A.....	94



## INTISARI

### IMPLEMENTASI ALGORITMA *ANT COLONY OPTIMIZATION* PADA *VEHICLE ROUTING PROBLEM* DALAM PENENTUAN RUTE BUS TRANS JOGJA

Oleh:

Alfi Masruroh

NIM. 22106010066

Kota Yogyakarta memiliki tingkat mobilitas yang tinggi seiring dengan pertumbuhan penduduk serta aktivitas pendidikan, pariwisata, dan ekonomi. Peningkatan penggunaan kendaraan pribadi berdampak pada kemacetan lalu lintas dan penurunan kualitas lingkungan, sehingga menuntut adanya optimalisasi pada sektor transportasi publik. Namun, layanan bus Trans Jogja saat ini masih dihadapkan pada kendala inefisiensi rute dan waktu tempuh. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan dan menyelesaikan permasalahan penentuan rute bus Trans Jogja melalui pendekatan *Vehicle Routing Problem* (VRP). Data penelitian memadukan titik koordinat geografis halte dengan matriks jarak operasional riil, di mana perhitungan tidak lagi bertumpu pada jarak lurus spasial (*Euclidean Distance*) guna mempresentasikan kondisi lapangan secara akurat. Proses optimasi dilakukan dengan mengimplementasikan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) menggunakan bahasa pemrograman *Python* melalui 100 iterasi untuk memperoleh rute dengan jarak minimum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma ACO berhasil mengoptimalkan rute pada jalur observasi 1A dengan tingkat efisiensi sebesar 49,12%, di mana jarak tempuh kolektif berhasil dipangkas dari 392,10 km menjadi 199,51 km, serta mampu mereduksi penggunaan armada dari 10 unit menjadi 8 unit. Secara keseluruhan, optimasi ini membentuk pola pengelompokan halte berdasarkan kedekatan geografis yang sukses mengeliminasi lintasan memutar. Dengan demikian, implementasi algoritma ACO berbasis *Python* terbukti efektif dalam menyelesaikan permasalahan VRP pada rute bus Trans Jogja dan dapat digunakan sebagai alternatif metode optimasi transportasi publik.

**Kata Kunci:** *Vehicle Routing Problem* (VRP), *Ant Colony Optimization* (ACO), Trans Jogja, Optimasi Rute, *Python*.

## ABSTRACT

### IMPLEMENTATION OF THE ANT COLONY OPTIMIZATION ALGORITHM FOR THE VEHICLE ROUTING PROBLEM IN DETERMINING ROUTES FOR THE TRANS JOGJA BUS SYSTEM

By:

Alfi Masruroh

NIM. 22106010066

*The city of Yogyakarta has a high level of mobility due to population growth and activities in the fields of education, tourism, and the economy. The increasing use of private vehicles has led to traffic congestion and a decline in environmental quality, thereby necessitating optimization in the public transportation sector. However, the Trans Jogja bus service currently faces challenges related to inefficient routes and travel times. This study aims to model and solve the problem of determining Trans Jogja bus routes using the Vehicle Routing Problem (VRP) approach. The research data combines the geographic coordinates of bus stops with a matrix of actual operational distances, where calculations no longer rely on spatial straight-line distance (Euclidean Distance) to accurately depict field conditions. The optimization process was conducted by implementing the Ant Colony Optimization (ACO) algorithm using the Python programming language over 100 iterations to obtain the route with the minimum distance. The research results show that the ACO algorithm successfully optimized the route on observation route 1A with an efficiency rate of 49.12%, where the total distance traveled was reduced from 392.10 km to 199.51 km, and it was able to reduce the fleet size from 10 units to 8 units. Overall, this optimization formed a pattern of grouping stops based on geographical proximity, which successfully eliminated detours. Thus, the implementation of the Python-based ACO algorithm has proven effective in solving the VRP problem for Trans Jogja bus routes and can be used as an alternative method for public transportation optimization.*

**Keywords:** Vehicle Routing Problem (VRP), Ant Colony Optimization (ACO), Trans Jogja, Route Optimization, Python.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Kota Yogyakarta merupakan salah satu wilayah perkotaan yang memiliki tingkat kepadatan penduduk dan aktivitas mobilitas yang tinggi. Sebagai pusat pendidikan, pariwisata, dan budaya, kota ini tidak hanya dihuni oleh penduduk tetap, tetapi juga menjadi tujuan utama bagi mahasiswa dan pelajar dari berbagai daerah. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2024, jumlah penduduk permanen DIY mencapai sekitar 3,72 juta jiwa. Sementara itu, data BAPPEDA DIY pada tahun 2023 mencatat terdapat sekitar 640.658 pelajar dan mahasiswa, baik lokal maupun perantau, yang menetap di Yogyakarta. Tingginya jumlah penduduk permanen dan non permanen tersebut berdampak pada meningkatnya mobilitas harian masyarakat. Berdasarkan data BPS tahun 2024 mencatat bahwa jumlah kendaraan bermotor pribadi di DIY meningkat dari 288.564 unit menjadi 298.139 unit dalam kurun waktu tiga tahun terakhir, atau mengalami kenaikan sebesar 1,03% hingga tahun 2023. Kondisi tersebut berdampak pada meningkatnya kepadatan lalu lintas, timbulnya kemacetan di berbagai titik, serta menurunnya kualitas udara dan kenyamanan lingkungan perkotaan (Subagio et al., 2023).

Sebagai salah satu langkah strategis untuk mengatasi permasalahan tersebut, pemerintah daerah menyediakan layanan transportasi publik berupa bus Trans Jogja. Sarana transportasi ini diharapkan mampu menjadi alternatif bagi masyarakat dan mahasiswa untuk mengurangi ketergantungan terhadap kendaraan pribadi sekaligus menekan tingkat kemacetan. Akan tetapi, dalam praktiknya, layanan bus Trans Jogja masih menghadapi berbagai kendala, seperti rute yang belum optimal, waktu tempuh yang relatif panjang, serta distribusi penumpang yang tidak merata di setiap jalur. Permasalahan tersebut berdampak pada kurang maksimalnya kinerja transportasi publik sehingga

minat masyarakat untuk beralih dari kendaraan pribadi ke transportasi masih rendah (Nurlaelasari et al., 2018).

Permasalahan penentuan jalur yang efisien pada layanan bus Trans Jogja menunjukkan perlunya upaya optimasi agar transportasi publik ini dapat berfungsi lebih maksimal. Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah dengan menggunakan algoritma optimisasi yang dirancang untuk mencari jalur perjalanan yang efisien. Permasalahan penentuan rute transportasi publik pada dasarnya dapat dimodelkan dalam bentuk *Vehicle Routing Problem* (VRP), yaitu persoalan optimisasi jalur kendaraan untuk mengurangi sejumlah titik dengan tujuan meminimalkan jarak maupun waktu tempuh (Toth & Vigo, 2002). Dalam konteks Trans Jogja, halte-halte bus dapat direpresentasikan sebagai node, sedangkan jalan yang menghubungkan halte sebagai edge dengan bobot berupa jarak atau waktu perjalanan.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan VRP adalah *Ant Colony Optimization* (ACO). Algoritma ini merupakan metode metaheuristik, yaitu sebuah kerangka kerja algoritma yang menyediakan strategi pencarian untuk menemukan solusi optimal pada permasalahan yang kompleks. Berbeda dengan metode heuristik sederhana, metaheuristik seperti ACO memiliki kemampuan untuk mengeksplorasi berbagai kemungkinan jalur secara luas sehingga mampu menghindari jebakan solusi lokal (*local optima*) dan menghasilkan rute yang lebih efisien. ACO terinspirasi dari perilaku koloni semut dalam mencari jalur terpendek menuju sumber makanan dengan memanfaatkan mekanisme peletakan feromon sebagai penanda jalur (Hlaing & Khine, 2011).

Jaringan rute Trans Jogja terdiri dari banyak halte dengan lintasan rute yang saling beririsan antar koridor, sehingga menjadikan permasalahan penentuan rute semakin kompleks. Kondisi ini memerlukan adanya penerapan metode optimisasi yang tidak hanya mampu memberikan solusi optimal, tetapi juga efisien dalam waktu perhitungan. Penelitian ini mengimplementasikan algoritma ACO menggunakan bahasa pemrograman *Python* karena kompleksitas algoritma tersebut membutuhkan dukungan perangkat lunak

yang kuat untuk melakukan simulasi dan iterasi data dalam jumlah besar. Keputusan untuk menggunakan *Python* didasarkan pada fleksibilitasnya dalam memodelkan perilaku semut secara matematis serta ketersediaan *library* pendukung seperti *NumPy* dan *Pandas*, yang dapat mempercepat pemrosesan data.

Berdasarkan uraian tersebut, implementasi algoritma *Ant Colony Optimization* pada sistem rute bus Trans Jogja diharapkan dapat menghasilkan jalur yang lebih optimal, baik dari segi jarak tempuh maupun waktu perjalanan. Optimalisasi rute ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi layanan, memperbaiki distribusi penumpang, serta mendorong masyarakat untuk beralih dari kendaraan pribadi ke transportasi publik. Dengan demikian, penelitian ini dapat mendukung upaya pemerintah dalam mengurangi kemacetan lalu lintas, menekan penggunaan kendaraan pribadi, serta menciptakan kualitas lingkungan perkotaan yang lebih baik.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana rute operasional bus Trans Jogja?
2. Bagaimana pemodelan permasalahan rute bus Trans Jogja ke dalam bentuk *Vehicle Routing Problem* (VRP) untuk memperoleh rute optimal?
3. Bagaimana implementasi algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) pada VRP menggunakan bahasa pemrograman *Python* dalam menentukan rute optimal bus Trans Jogja?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendeskripsikan rute operasional bus Trans Jogja.
2. Memodelkan permasalahan penentuan rute bus Trans Jogja ke dalam bentuk *Vehicle Routing Problem* (VRP).

3. Mengimplementasikan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) pada VRP menggunakan bahasa pemrograman *Python* untuk menentukan rute optimal bus Trans Jogja.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, antara lain:

1. Secara teoritis, penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan dalam bidang ilmu komputer, matematika terapan, dan riset operasi, khususnya mengenai penerapan algoritma metaheuristik *Ant Colony Optimization* (ACO) pada permasalahan *Vehicle Routing Problem* (VRP). Penelitian ini juga diharapkan memberikan kontribusi akademik berupa pengembangan model optimasi rute transportasi publik yang dapat dijadikan referensi dan literatur tambahan bagi penelitian selanjutnya.
2. Secara praktis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran solusi dalam pengelolaan dan penentuan rute optimal pada sistem bus Trans Jogja, sehingga dapat membantu pihak pengelola dalam meningkatkan efisiensi operasional. Selain itu, penelitian ini memberikan alternatif metode analisis rute transportasi yang dapat diterapkan baik secara manual maupun dengan implementasi menggunakan bahasa pemrograman *Python*. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat mendukung pemerintah daerah dan pengambil kebijakan dalam merumuskan strategi pengembangan transportasi publik yang lebih efektif, efisien, dan ramah lingkungan, serta mendorong masyarakat untuk beralih dari kendaraan pribadi ke transportasi publik.

#### 1.5 Batasan Masalah

Untuk menghasilkan lingkup pembahasan yang berfokus pada tema, penelitian ini memiliki batasan-batasan masalah, antara lain:

1. Penelitian ini hanya berfokus pada penentuan rute optimal berdasarkan jarak tempuh minimum, dengan mengabaikan variabel waktu tempuh yang bersifat dinamis seperti tingkat kemacetan lalu lintas, jumlah armada, jadwal keberangkatan, maupun biaya operasional.

2. Data yang digunakan terbatas pada rute dan halte bus Trans Jogja Jalur 1A yang tersedia pada saat penelitian berlangsung.
3. Pemodelan optimisasi jalur dilakukan dengan pendekatan *Vehicle Routing Problem* (VRP), dengan asumsi bobot berupa jarak antar halte.
4. Implementasi algoritma hanya dibatasi pada penggunaan *Ant Colony Optimization* (ACO) dengan bantuan bahasa pemrograman *python*.

## 1.6 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka disusun untuk memberikan dasar teoritis yang relevan dengan penelitian ini. Dalam hal ini akan dibahas berbagai konsep dan hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan topik penelitian ini, sebagai berikut:

1. Penelitian yang dilakukan oleh Dewi et al., (2020) yang berjudul "*Penerapan Algoritma Ant Colony Optimization pada Pencarian Rute Optimal untuk Transportasi Umum Kota Bandung*". Jurnal ini membahas penerapan ACO dengan model *Vehicle Routing Problem* (VRP) berbasis *Python* untuk mencari rute transportasi umum paling efisien di Kota Bandung. Penelitian ini menggunakan data jarak antar pemberhentian serta biaya operasional kendaraan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma ACO mampu menghasilkan rute yang paling efisien baik dari segi jarak maupun biaya operasional. Penelitian ini berfokus pada efisiensi ekonomi dan pendapatan operator transportasi.
2. Penelitian oleh Prasetyo et al., (2022) yang berjudul "*Penerapan Model Matematika Algoritma Ant Colony Optimization dalam Penentuan Rute Bus Trans Banyumas*". Jurnal ini membahas penerapan algoritma ACO dengan model *Traveling Salesman Problem* (TSP) berbasis Matlab. Fokus utama penelitian ini adalah meminimalkan jarak tempuh antarhalte pada satu lintasan bus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma ACO efektif dalam menemukan rute terpendek, tetapi belum mempertimbangkan karakteristik jaringan bercabang.

3. Penelitian oleh Kristina et al., (2020) yang berjudul “*Pengembangan Algoritma Ant Colony System pada Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Soft Time Window*”. Jurnal ini membahas penerapan algoritma *Ant Colony System* (ACS) varian dari algoritma ACO pada kasus distribusi logistik PT. XYZ dengan model *Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Soft Time Window* (HVRPSTW). Penelitian ini mempertimbangkan beberapa faktor seperti kapasitas kendaraan, waktu pelayanan, dan biaya distribusi, untuk menghasilkan rute yang efisien.
4. Penelitian oleh Kinanti & Aprilia, (2025) yang berjudul “*Optimasi Vehicle Routing Problem (VRP) Terhadap Rute Pengangkutan Sampah di Kota Medan dengan Algoritma Ant Colony Optimization*”. Jurnal ini membahas penerapan algoritma ACO untuk mengoptimalkan VRP pada rute pengangkutan sampah di Kota Medan. Penelitian dilakukan dengan membagi wilayah penelitian menjadi enam zona kerja dan menentukan rute optimal untuk setiap kendaraan pengangkut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma ACO mampu menghasilkan rute dengan jarak tempuh yang lebih pendek dan efisiensi waktu.

Uraian tentang perbedaan dan persamaan penelitian ini dengan penelitian lain disajikan dalam bentuk tabel, sebagai berikut:

Tabel 1. 1. Tinjauan Pustaka

<b>Nama Peneliti</b>	<b>Judul Penelitian</b>	<b>Persamaan dan Perbedaan</b>
Dewi et al., (2020)	<i>Penerapan Algoritma Ant Colony Optimization pada Pencarian Rute Optimal untuk Transportasi Umum Kota Bandung</i>	Persamaannya terletak pada penerapan algoritma ACO dengan model VRP berbasis <i>Python</i> untuk optimisasi rute transportasi umum. Perbedaannya terletak pada fokus penelitian, di mana penelitian Dewi et al., (2020)

		berfokus pada efisiensi jarak tempuh dan biaya operasional serta pengaruhnya terhadap pendapatan operator, sedangkan penelitian ini berfokus pada efisiensi jarak tempuh antarhalte bus Trans Jogja.
Prasetyo et al., (2022)	<i>Penerapan Model Matematika Algoritma Ant Colony Optimization dalam Penentuan Rute Bus Trans Banyumas</i>	Persamaannya terletak pada penggunaan ACO untuk menentukan rute bus yang optimal. Perbedaannya terletak pada model dan implementasinya, di mana penelitian Prasetyo et al., (2022) menggunakan pendekatan TSP berbasis Matlab, sedangkan penelitian ini menggunakan pendekatan VRP berbasis Python hanya dengan mempertimbangkan jarak antarhalte bus Trans Jogja.
Kristina et al., (2020)	<i>Pengembangan Algoritma Ant Colony System pada Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Soft Time Window</i>	Persamaannya terletak pada penggunaan algoritma ACO dalam konteks VRP. Perbedaannya terletak pada variabel yang digunakan, di mana penelitian Kristina et al., (2020) menitikberatkan pada distribusi logistik dengan mempertimbangkan waktu,

		kapasitas, dan biaya, sedangkan penelitian ini hanya berfokus pada efisiensi jarak antarhalte bus Trans Jogja tanpa batasan waktu maupun kapasitas.
Kinanti & Aprilia, (2025)	<i>Optimasi Vehicle Routing Problem (VRP) Terhadap Rute Pengangkutan Sampah di Kota Medan dengan Algoritma Ant Colony Optimization</i>	Persamaannya terletak pada penerapan model VRP dan algoritma ACO untuk optimisasi rute berbasis jarak. Perbedaannya terletak pada objek dan skema wilayah; penelitian Kinanti & Aprilia, (2025) membagi area menjadi enam zona kerja terpisah untuk pengangkutan sampah, sedangkan penelitian ini menggunakan pendekatan VRP pada sistem lintasan tertutup ( <i>loop system</i> ) dengan kepadatan titik yang tinggi untuk menyesuaikan karakteristik jalur bus Trans Jogja.

Berdasarkan hasil kajian terhadap penelitian-penelitian terdahulu, penerapan algoritma ACO dalam konteks sistem transportasi publik masih tergolong terbatas. Sebagian besar penelitian sebelumnya menggunakan algoritma ini pada bidang distribusi logistik, bukan pada sistem transportasi dengan rute yang kompleks seperti Trans Jogja. Selain itu penelitian sebelumnya umumnya menitikberatkan pada efisiensi biaya, waktu, maupun kapasitas kendaraan, sedangkan penelitian ini diarahkan untuk

mengoptimalkan efisiensi jarak antarhalte sebagai dasar perancangan rute transportasi publik yang lebih efektif.

Sebagai pengembangan dari penelitian sebelumnya, studi ini menerapkan model VRP yang dioptimalkan menggunakan algoritma ACO berbasis *Python* untuk menentukan rute optimal pada sistem bus Trans Jogja. Pendekatan ini memungkinkan proses pencarian solusi dilakukan secara komputasional, terukur, dan dapat divisualisasikan, sehingga hasil yang diperoleh lebih representatif terhadap kondisi jaringan halte sebenarnya. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh kontribusi nyata dalam pengembangan model optimisasi rute transportasi perkotaan yang efisien, adaptif, serta mendukung peningkatan kualitas layanan transportasi publik di Yogyakarta.

### 1.7 Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan pemodelan matematis. Metode kuantitatif sesuai dengan penelitian ini karena mampu menganalisis permasalahan penentuan rute bus Trans Jogja secara terukur melalui representasi matematis dan perhitungan numerik. Permasalahan penentuan rute tersebut dimodelkan dalam bentuk *Vehicle Routing Problem (VRP)*, di mana setiap halte bus direpresentasikan sebagai node (titik) dan jalur penghubung antarhalte direpresentasikan sebagai edge (sisi) dengan bobot berupa jarak antarhalte. Selanjutnya, model VRP dioptimalkan menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization (ACO)*. Dengan demikian, VRP berperan sebagai model permasalahan, sedangkan ACO digunakan sebagai metode penyelesaiannya untuk memperoleh rute bus Trans Jogja yang lebih optimal. Sehingga, pada penelitian ini dapat ditempuh melalui langkah-langkah sebagai berikut:

#### 1. Peninjauan Literatur

Penelitian ini dimulai dengan studi literatur terkait masalah penentuan rute bus Trans Jogja. Studi literatur dilakukan dengan menelaah penelitian-penelitian terdahulu, baik itu artikel, jurnal penelitian, buku, dan skripsi

terdahulu terkait *Vehicle Routing Problem* (VRP), algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO), serta aplikasi optimisasi rute dalam transportasi. Hasil dari studi tersebut dapat digunakan untuk memahami konsep, metode, dan temuan yang relevan, sehingga dapat menjadi dasar penyusunan hipotesis dan pemilihan metode yang tepat guna menyelesaikan masalah penelitian yang diangkat.

## 2. Pengumpulan Data Observasi

Data yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi lokasi halte, jalur penghubung antarhalte, dan jarak antarhalte. Data diperoleh melalui Google Maps, sumber resmi transportasi, serta observasi lapangan. Selain itu, dikumpulkan pula data tambahan berupa arah jalur serta koordinat geografis setiap halte. Pengumpulan data dilakukan secara sistematis untuk memastikan akurasi dan kelengkapan informasi yang diperlukan dalam tahap pemodelan.

## 3. Pemodelan *Vehicle Routing Problem* (VRP)

Permasalahan penentuan rute bus direpresentasikan dalam bentuk graf, di mana halte bus sebagai node (titik) dan jalur antarhalte sebagai edge (sisi) dengan bobot berupa jarak. Data tersebut kemudian disusun menjadi dasar perhitungan matematis. Tahapan dalam pemodelan ini meliputi penentuan koordinat geografis setiap halte bus, perhitungan jarak antarhalte, dan penyusunan fungsi objektif untuk meminimalkan total jarak tempuh, serta penetapan kendala bahwa setiap halte hanya dikunjungi satu kali. Pemodelan ini memungkinkan perhitungan rute optimal dilakukan secara sistematis dan menjadi dasar proses optimisasi menggunakan algoritma ACO.

## 4. Optimisasi dengan *Ant Colony Optimization* (ACO) dan *Python*

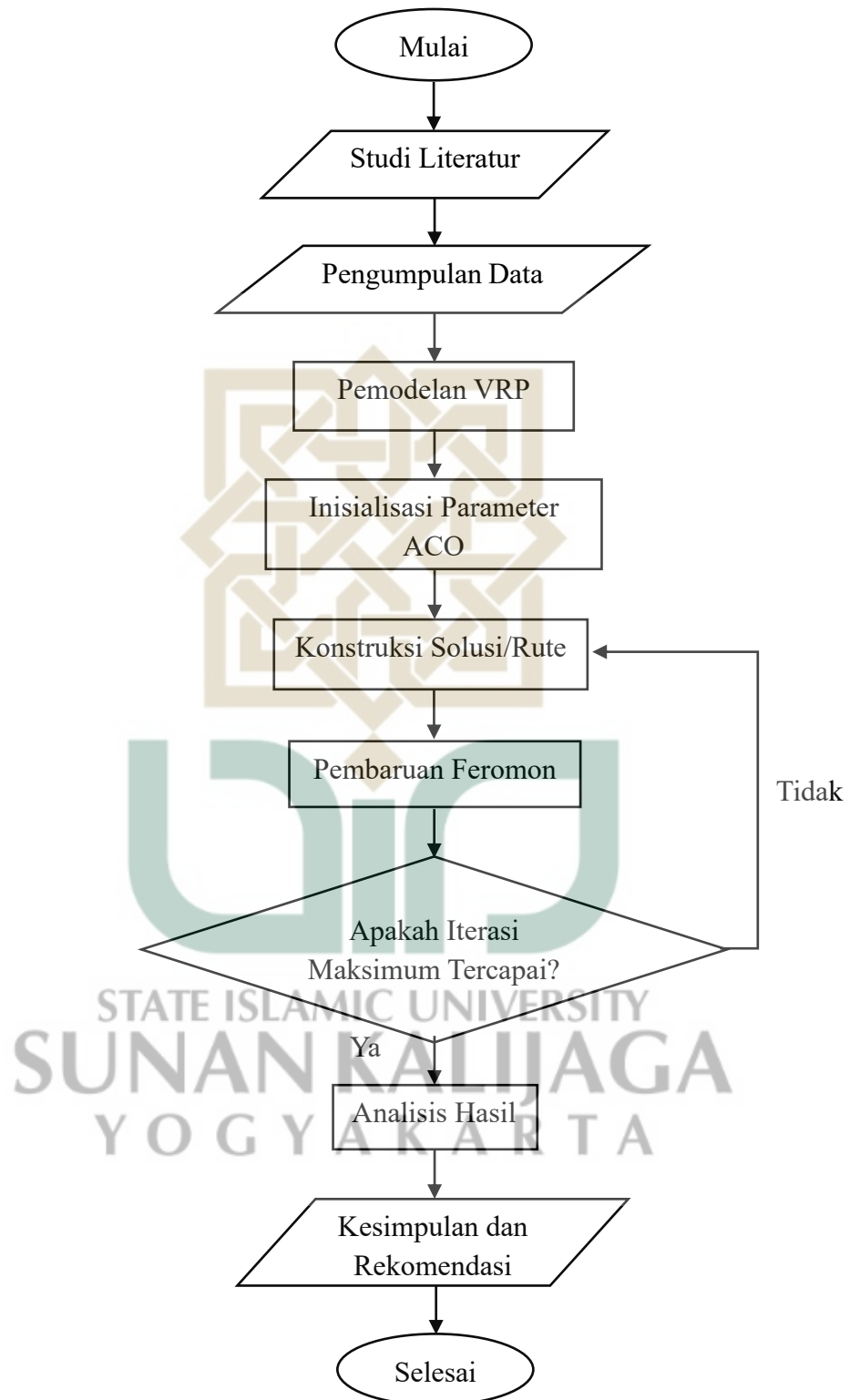
Tahap optimisasi dilakukan dengan menggunakan algoritma ACO untuk menemukan rute bus Trans Jogja yang paling efisien berdasarkan model VRP. Prosesnya dimulai dengan menentukan beberapa parameter seperti jumlah semut, nilai  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\rho$ . Setelah itu, setiap semut secara bertahap membangun rute dengan mempertimbangkan intensitas feromon dan jarak

antarhalte. Ketika semua semut sudah menyelesaikan rutenya, nilai feromon pada jalur terbaik akan diperkuat, sedangkan jalur yang kurang optimal akan berkurang. Langkah ini diulang beberapa kali sampai hasilnya stabil atau tidak berubah secara signifikan. Seluruh proses optimisasi dijalankan menggunakan bahasa pemrograman *Python* dengan bantuan beberapa pustaka untuk mempermudah perhitungan dan visualisasi hasil.

#### 5. Analisis Hasil dalam Penentuan Rute

Menganalisis hasil optimisasi menggunakan algoritma ACO dalam menentukan rute bus Trans Jogja yang paling efisien. Analisis difokuskan pada total jarak tempuh, jumlah rute yang terbentuk, serta efektivitas algoritma dalam mengoptimalkan jalur antarhalte. Hasil perhitungan kemudian dibandingkan untuk menilai sejauh mana algoritma mampu menghasilkan rute yang lebih pendek dan teratur dibandingkan pola rute sebelumnya. Proses analisis ini juga mencakup peninjauan kestabilan hasil terhadap variasi parameter, sehingga solusi yang diperoleh dapat dipastikan akurat dan konsisten.

Adapun *flowchart* dari metode penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 1. 1. *Flowchart* Metode Peneliti

## 1.8 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam laporan penelitian ini diuraikan ke dalam empat bab utama sebagai berikut:

**BAB I : PENDAHULUAN**

Pada bab ini berisi tentang Latar Belakang Masalah, Rumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian, Batasan Masalah, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, dan Sistematika Penulisan.

**BAB II : DASAR TEORI**

Bab ini mencakup tentang konsep transportasi publik dan permasalahan rute pada Trans Jogja, riset operasi, teori graf, konsep *Vehicle Routing Problem* (VRP), prinsip kerja algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO), serta tinjauan mengenai bahasa pemrograman Python yang digunakan untuk implementasi.

**BAB III : HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini berisi tentang pemaparan rute operasional jaringan bus Trans Jogja khususnya Jalur 1A, pemodelan masalah VRP berdasarkan komponen dan parameter yang ada, hingga tahap implementasi algoritma ACO. Bab ini juga membahas hasil analisis berupa perbandingan total jarak minimum serta rute hasil optimasi yang diperoleh dari program.

**BAB IV : PENUTUP**

Bab ini memuat kesimpulan hasil penelitian untuk menjawab rumusan masalah, beserta rekomendasi terkait perbaikan rute dan pengembangan penelitian selanjutnya.

## BAB IV

### PENUTUP

#### 4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai optimasi rute Bus Trans Jogja menggunakan metode *Ant Colony Optimization* (ACO) dalam *Vehicle Routing Problem* (VRP), dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem jaringan Trans Jogja merupakan layanan transportasi publik terintegrasi yang mencakup 20 rute utama, menghubungkan Terminal Pakem di sisi Utara hingga Terminal Palbapang di sisi Selatan. Seluruh rute menggunakan sistem lintasan tertutup (*loop system*) yang secara matematis merepresentasikan konsep Sirkuit Hamiltonian. Permasalahan rute ini diformalisasikan ke dalam graf berarah dan berbobot menggunakan koordinat geografis (*latitude* dan *longitude*) setiap halte. Jarak antarhalte dihitung menggunakan rumus *Euclidean* dan ditransformasikan ke dalam matriks jarak sebagai basis utama proses optimasi.
2. Permasalahan rute bus Trans Jogja berhasil dimodelkan ke dalam kerangka matematis VRP dengan fungsi objektif untuk meminimalkan total jarak tempuh operasional.

$$\min Z = \sum_{k \in K} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} d_{ij} x_{ij}^k, \quad i \neq j$$

Model ini mengintegrasikan komponen operasional seperti jumlah halte, lokasi depot, dan ketersediaan armada bus. Setiap rute wajib memenuhi kendala teknis yang meliputi: kunjungan halte tepat satu kali, keseimbangan aliran, serta kewajiban setiap armada untuk memulai dan mengakhiri perjalanan di titik depot.

3. Implementasi algoritma ACO menggunakan bahasa pemrograman *Python* terbukti efektif mengoptimalkan rute dengan efisiensi jarak. Algoritma ini berhasil memecah rute tunggal yang panjang menjadi pembagian *sub-tour*

per armada melalui pengelompokan geografis. Pada observasi Jalur 1A, algoritma menghasilkan tingkat efisiensi sebesar 49,12%, di mana total jarak tempuh kolektif berhasil dipangkas dari 392,10 km menjadi 199,51 km. Selain itu, model ini mampu mereduksi kebutuhan operasional dari 10 armada menjadi 8 armada. Namun demikian, sifat probabilistik pada algoritma ACO menyebabkan hasil rute bervariasi pada setiap pengujian. Variasi ini muncul akibat mekanisme pemilihan acak berbobot yang berfungsi sebagai ruang eksplorasi bagi semut untuk menghindari jebakan solusi optimal lokal.

#### 4.2 Rekomendasi

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa rekomendasi yang dapat dipertimbangkan untuk pengembangan penelitian selanjutnya, yakni sebagai berikut:

1. Penelitian ini masih terbatas pada penggunaan variabel jarak antar halte sebagai parameter optimasi. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan variabel lainnya, seperti tingkat kemacetan, waktu tempuh (*travel time*), jadwal keberangkatan, serta volume penumpang (*Capacitated VRP*) guna menghasilkan model yang lebih akurat dan representatif terhadap kondisi riil di lapangan.
2. Penelitian selanjutnya dapat menerapkan pendekatan kombinasi metode, yaitu menggabungkan algoritma ACO dengan metode metaheuristik lain seperti *Genetic Algorithm* atau metode lain, untuk membandingkan kestabilan solusi serta kecepatan konvergensi dalam menemukan rute optimal.
3. Melakukan pengujian implementasi melalui kerja sama dengan pihak pengelola Trans Jogja menggunakan data operasional aktual secara *real-time*. Hal ini bertujuan agar hasil optimasi rute dapat diterapkan sebagai referensi dalam pengambilan kebijakan transportasi publik di Yogyakarta.
4. Pemodelan VRP dalam penelitian ini membagi rute per armada, sehingga memunculkan kendala operasional di mana sebuah bus berpotensi

melintasi halte milik armada lain tanpa melayani aktivitas naik-turun penumpang di halte tersebut. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memodifikasi fungsi objektif menggunakan pendekatan *Public Transit Routing*.



## DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, P. (2019). Buku Ajar Riset Operasi. In *Cv. Irdh*.
- Ahmadi, N. A., & Jokolelono, E. (2025). Analisis Sosial Ekonomi Penumpang Bus Trans Donggala. *Studi Ilmu Manajemen Dan Organisasi*, 6(2), 397–408. <https://doi.org/10.35912/simo.v6i2.4644>
- Ashraf, A., & Idrisi, M. J. (2024). Smart and Sustainable Public Transportation - A Need of Developing Countries. *International Journal of Networked and Distributed Computing*, 12(1), 144–152. <https://doi.org/10.1007/s44227-024-00023-2>
- Dewi, K., Imrona, M., & Triantoro, D. (2020). Penarapan Algoritma Ant Colony Optimization Pada Pencarian Rute optimal untuk Transportasi Umum Kota Bandung. *E-Proceedings of Engineering*, 7(1), 2827–2839. <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/11459>
- Dorigo, M., Maniezzo, V., & Colormi, A. (1996). *The Ant System : Optimization by a colony of cooperating agents*. 26(1), 1–13.
- Dorigo, M., & Stützle, T. (2004). *Ant Colony Optimization*. Massachusetts Institute of Technology (MIT Press).
- Fangohr, P. H. (2019). *Introduction to Python for Computational Science and Engineering (A beginner 's guide to Python 3)*. 1–73.
- Gasset, D., Paillalef, F., Gatica, G., & Herrera-vidal, G. (2024). *applied sciences Route Optimization for Open Vehicle Routing Problem ( OVRP ): A Mathematical and Solution Approach*.
- H, T., & Mamay, K. (2016). *Riset Operasi Penyelesaian Model Transportasi dengan Cara Manual dan Software*.
- Hlaing, Z. C. S. S., & Khine, M. A. (2011). Solving Traveling Salesman Problem by Using Improved ACO. *International Journal of Information and Education Technology*, 1(5), 404–409.
- Ibrahim, & Mussafi, N. S. M. (2013). *PENGANTAR KOMBINATORIKA DAN TEORI GRAF* (Edisi Pert). GRAHA ILMU.

- Kinanti, T., & Aprilia, R. (2025). *Optimasi Vehicle Routing Problem (VRP) Terhadap Rute Pengangkutan Sampah di Kota Medan Dengan Algoritma Ant Colony Optimization*. 7(September), 1271–1285.
- Kristina, S., Sianturi, R., & Wijaya, V. J. (2020). Pengembangan Algoritma Ant Colony System Pada Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Soft Time Window. *Journal of Integrated System*, 3(2), 85–102. <https://doi.org/10.28932/jis.v3i2.2839>
- Ma, X., & Liu, C. (2024). *applied sciences Improved Ant Colony Algorithm for the Split Delivery Vehicle Routing Problem*.
- Makalew, R. A. M., Montolalu, C. E. J. C., Mananohas, L., Artikel, I., & Kunci, K. (2020). Lintasan Hamiltonian pada Graf 4-Connected A B S T R A K. : : *Jurnal Matematika Dan Aplikasi*, 9(2). <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/decartesian>
- Matl, P., Hartl, R. F., & Vidal, T. (2018). Workload Equity in Vehicle Routing Problems: A Survey and Analysis. *Transportation Science*, 37. <https://doi.org/10.1287/trsc.2017.0744>
- Munir, R. (2023). Graf (Bag.1). *Informatika.Stei.Itb.Ac.Id*, 61. <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2023-2024/19-Graf-Bagian1-2023.pdf>
- Nazry, H. W. N. S., Ferdy Riza, Firahmi Rizky, Zuli Agustina Gultom, Muhammad Haris, & Mika Debora Br Barus. (2025). Model Optimasi Model Optimasi Rute Transportasi Berbasis Pemrograman Linear. *Jurnal Sistem Informasi Triguna Dharma (JURSI TGD)*, 4(1), 75–81. <https://doi.org/10.53513/jursi.v4i1.10586>
- Nurdin, S., & Nasution, D. K. (2025). Hamiltonian Cycles in Wijaya Kusuma Flower Graph. *Jurnal Matematika UNAND*, 14(2), 167–177. <https://doi.org/10.25077/jmua.14.2.167-177.2025>
- Nurlaelasari, E., Supriyadi, S., & Lenggana, U. T. (2018). Penerapan Algoritma Ant Colony Optimization Menentukan Nilai Optimal Dalam Memilih Objek Wisata Berbasis Android. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 9(1), 287–298. <https://doi.org/10.24176/simet.v9i1.1914>

- Prasetyo, Y. D., Armond, A. M., & Ediningrum, W. (2022). Penerapan Model Matematika Algoritma Ant Colony Optimization Dalam Penentuan Rute Bus Trans Banyumas. *Jurnal Mathematic Paedagogic*, 7(1), 12–23. <https://doi.org/10.36294/jmp.v7i1.2701>
- Putra, D. D., Aufaa, R. D., Luthfiyah, H., & Sahara, S. (2023). Peningkatan Mutu Transportasi Umum Demi Kenyamanan dan Keamanan Pengguna. *MIMBAR ADMINISTRASI FISIP UNTAG Semarang*, 20(1), 112–119.
- Rosen, K. H. (2015). Mathematics and its applications. In *Mathematics, Substance and Surmise: Views on the Meaning and Ontology of Mathematics*. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-21473-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-21473-3_6)
- Sa'diah, E. H., Mardiah, D., Aini, M., Hanifan, & Apriliani Afmi. (2024). *KUALITAS PELAYANAN TRANSPORTASI PUBLIK*. 3, 2010–2021.
- Slamin. (2015). *Teori Graf dan Aplikasinya*. [http://repository.unej.ac.id/bitstream/handle/123456789/65672/Ainul Latifah-101810401034.pdf?sequence=1](http://repository.unej.ac.id/bitstream/handle/123456789/65672/Ainul%20Latifah-101810401034.pdf?sequence=1)
- Subagio, H., Nugroho, D., Ridwan, M., Rachmadi, H., & Kadesti, A. T. (2023). Mengurai Kemacetan dalam Konteks Tata Ruang Perkotaan Yogyakarta. *Jurnal Politik Dan Pemerintahan Daerah*, 5(2), 23–31. <https://doi.org/10.36355/jppd.v5i2.124>
- Sulistiono, & Mussafi, N. S. M. (n.d.). Rancang Bangun Vehicle Routing Problem Menggunakan Algoritma Tabu Search. *JURNAL FOURIER*, 4(2), 113–122.
- Taheri, M. (2024). Graph theory; history, applications and vision. *Mathematics and Society*, 1–8. <https://doi.org/10.22108/msci.2024.139804.1623>
- Tan, S., & Yeh, W. (2021). applied sciences The Vehicle Routing Problem : State-of-the-Art Classification and Review. *Applied Sciences*, 11.
- Walt, S. Van Der, Africa, S., & Feb, M. S. (2011). *The NumPy array : a structure for efficient numerical computation*. 1–8.