

**PEMANFAATAN METODE *ANT COLONY OPTIMIZATION* DALAM OPTIMASI BERBASIS
WEB PENENTUAN RUTE DISTRIBUSI PAKET *ONLINE SHOP* PADA JASA KURIR *J&T
EXPRESS*
(STUDI KASUS: *J&T EXPRESS* CABANG TUASAN KOTA MEDAN)**

SKRIPSI

DIMAS DAFFA ABIPRAYA

171401071



**PROGRAM STUDI S1 ILMU KOMPUTER
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS SUMATERA UTARA
MEDAN
2024**

**PEMANFAATAN METODE *ANT COLONY OPTIMIZATION* DALAM OPTIMASI BERBASIS
WEB PENENTUAN RUTE DISTRIBUSI PAKET *ONLINE SHOP* PADA JASA KURIR *J&T
EXPRESS*
(STUDI KASUS: *J&T EXPRESS* CABANG TUASAN KOTA MEDAN)**

SKRIPSI

Diajukan untuk melengkapi tugas dan memenuhi syarat memperoleh ijazah
Sarjana Ilmu Komputer

DIMAS DAFFA ABIPRAYA

171401071



**PROGRAM STUDI S-1 ILMU KOMPUTER
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS SUMATERA UTARA MEDAN**

2024

PERSETUJUAN

Judul : PEMANFAATAN METODE ANT COLONY OPTIMIZATION DALAM OPTIMASI BERBASIS WEB
PENENTUAN RUTE DISTRIBUSI
PAKET ONLINE SHOP PADA JASA
KURIR J&T EXPRESS
(STUDI KASUS: J&T EXPRESS
CABANG TUASAN KOTA MEDAN)

Kategori : SKRIPSI

Nama : DIMAS DAFFA ABIPRAYA

Nomor Induk Mahasiswa 171401071

Program Studi : SARJANA (S-1) ILMU KOMPUTER

Fakultas : ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI
INFORMASI UNIVERSITAS SUMATERA
UTARA

Komisi Pembimbing :

Dosen Pembimbing I Dosen Pembimbing II

Sri Melvani Hardi, S.Kom, M.Kom
NIP. 198805012015042006

Dr. T. Henny Febriana Harumy, S.Kom, M. Kom
NIP. 198802192019032016

Diketahui/disetujui oleh

Program Studi S1 Ilmu Komputer

Ketua,

Dr. Amalia S.T., M.T

NIP. 197812212014042001

PERNYATAAN

PEMANFAATAN METODE *ANT COLONY OPTIMIZATION* DALAM OPTIMASI BERBASIS *WEB*
PENENTUAN RUTE DISTRIBUSI PAKET *ONLINE SHOP* PADA JASA KURIR *J&T EXPRESS*
(STUDI KASUS: *J&T EXPRESS* CABANG TUASAN KOTA MEDAN)

SKRIPSI

Saya mengakui bahwa skripsi ini adalah hasil penelitian saya sendiri, kecuali referensidan beberapa kutipan yang masing-masing telah dicantumkan sumbernya.

Medan, Maret 2024

Dimas Daffa
171401071

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur kepada Allah SWT atas nikmat-Nya yang telah diberikan kepada penulis selama penelitian dan penulisan skripsi ini, merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Sarjana Ilmu Komputer di Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Sumatera Utara, dan memperoleh gelar sarjana.

Mengingat beberapa pihak yang memberikan bantuan dalam penyusunan skripsi ini, penulis ingin menyampaikan kepada mereka semua. Pihak-pihak tersebut antara lain:

1. Bapak Prof. Dr. Muryanto Amin, S.Sos., M.Si. Rektor Universitas Sumatera Utara.
2. Ibu Dr. Maya Silvi Lydia B.Sc. M.Sc., Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Sumatera Utara.
3. Ibu Dr. Amalia ST., M.T., Ketua Program Studi S-1 Ilmu Komputer Universitas Sumatera Utara.
4. Ibu Sri Melvani Hardi, S.Kom, M.Kom Dosen Pembimbing I yang memberikan bimbingannya kepada penulis selama proses pengerjaan skripsi.
5. Ibu Dr. T. Henny Febriana Harumy, S.Kom, M. Kom Dosen Pembimbing II yang bersedia memberikan bimbingannya kepada penulis selama proses pengerjaan skripsi.
6. Bapak Dr. Mohammad Andri Budiman S.Kom., M.Sc Dosen Pembimbing Akademik yang sudah bersedia membimbing penulis selama menempuh perkuliahan.
7. Tenaga pendidik beserta para staf pegawai Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi Universitas Sumatera Utara.
8. Keluarga peneliti, Atika Cahyani, serta sahabat yang selalu memberi doa, dukungan, serta motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis sadar bahwa Skripsi ini tidak luput akan kesalahan serta kekurangan. Meskipun begitu, terlintas secercah harapan agar skripsi ini dapat memberi manfaat seusai dibaca serta tidak menutup kemungkinan untuk dijadikan bahan referensi bagi penelitian di masa mendatang.

Medan, Maret 2024

Dimas Daffa Abipraya

ABSTRAK

Pertumbuhan pesat industri e-commerce telah membawa dampak signifikan terhadap peningkatan volume pengiriman paket, mendorong jasa kurir untuk terus meningkatkan efisiensi operasional. Penelitian ini mengeksplorasi pemanfaatan metode Ant Colony Optimization (ACO) dalam konteks optimasi berbasis web untuk penentuan rute distribusi paket online shop pada J&T Express Cabang Tuasan Kota Medan. Studi kasus ini melibatkan J&T Express sebagai perwakilan industri jasa kurir yang berkomitmen untuk meningkatkan layanan pengiriman paket secara efisien. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan proses penentuan rute distribusi paket online shop dengan mengaplikasikan metode ACO, yang terinspirasi dari perilaku koloni semut. Melalui pendekatan ini, diharapkan dapat dicapai peningkatan efisiensi operasional, pengurangan biaya, dan peningkatan kualitas layanan kepada pelanggan. Metodologi penelitian ini mencakup langkah-langkah analisis, desain, implementasi, pengujian, dan evaluasi sistem optimasi berbasis web. Berdasarkan uji yang telah dipaparkan, metode *Ant Colony Optimization* dapat diterapkan dengan baik kedalam sistem dan memberikan rekomendasi rute terbaik pada kurir untuk menemukan rute terpendek. Selain memberikan informasi mengenai rute terbaik, system juga dinilai mampu meminimalisir penggunaan sumber daya yang diperlukan dalam kegiatan distribusi paket J&T serta meningkatkan pelayanan.

Kata Kunci: Ant Colony Optimization, Optimasi Rute, Efisiensi Operasional.

**Utilization of Ant Colony Optimization Method in Web-Based Optimization for Determining Parcel Distribution Routes for Online Shops in J&T Express Courier Services
(Case Study: J&T Express Tuasan Branch, Medan City)**

ABSTRACT

The rapid growth of the e-commerce industry has had a significant impact on the increase in parcel shipping volumes, prompting courier services to continually enhance operational efficiency. This research explores the utilization of Ant Colony Optimization (ACO) methods in the context of web-based optimization for determining the distribution routes of online shop parcels at J&T Express's Tuasan Branch in Medan City. This case study involves J&T Express as a representative of the courier service industry committed to improving parcel delivery services efficiently. The aim of this research is to optimize the process of determining distribution routes for online shop parcels by applying the ACO method, inspired by ant colony behavior. Through this approach, it is expected to achieve improved operational efficiency, cost reduction, and enhanced service quality for customers. The research methodology encompasses analysis, design, implementation, testing, and evaluation steps of the web-based optimization system. The results of this study are anticipated to provide a positive contribution to J&T Express's Tuasan Branch in Medan City by improving parcel distribution efficiency and increasing customer satisfaction.

Keywords: Ant Colony Optimization, Optimization Distribution Routes, Operational Efficiency.

DAFTAR ISI

Halaman

PERSETUJUAN.....	ii
PERNYATAAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
Latar Belakang	1
Rumusan Masalah	3
Batasan Masalah	4
Tujuan Penelitian	4
Manfaat Penelitian	5
Metodologi Penelitian	5
Sistematika Penulisan	6
BAB 2 LANDASAN TEORI	7
Sistem Transportasi Ekspedisi	7
optimasi.....	7
Macam Permasalahan optimasi.....	7
<i>Traveling salesman Problem</i>	13
<i>Algoritma Ant Colony Optimization</i>	15
BAB 3 ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM.....	24
Analisis Sistem.....	24
Arsitek Umum Sistem.....	25
Analisis Kebutuhan.....	26
Analisis Proses	27
Pemodelan Sistem.....	27
<i>Use case Diagram</i>	27
<i>Activity Diagram</i>	28
<i>Sequence Diagram</i>	28

	viii
<i>Flowchart</i>	29
Perancangan Antar Muka (<i>Interface</i>).....	31
Rancangan Halaman Login.....	31
Rancangan Halaman Dashboard.....	31
Rancangan Halaman Proses <i>ACO</i>	32
Rancangan Halaman Pengaturan	33
Rancangan Database	33
BAB 4 IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN SISTEM.....	34
Implementasi Perancangan Antar Muka	34
Halaman Login	34
Halaman Dashboard.....	34
Halaman Proses <i>ACO</i>	35
Halaman Pengaturan	36
Database.....	36
Pengujian Sistem.....	37
Perhitungan Graf koordinat secara manual	39
Input data pada Database	41
Memulai proses optimasi rute.....	42
Analisis <i>Ant Colony Optimization</i>	45
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	48
Kesimpulan	48
Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA.....	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Matrik Nilai dari d_{ij} (jarak)	19
Tabel 2.2 Visibilitas (η_{ij})	20
Tabel 2.3 Hasil pencarian di siklus pertama.	22
Tabel 2.4 Intensitas pheromone tiap node	23
Tabel 4.1 Data titik terminal point	38
Tabel 4.2 Data titik distribusi	38
Tabel 4.3 Tabel Data Graph sementara	42
Tabel 4.4 Tabel user	42
Tabel 4.5 Data titik sebelum di optimasi	44
Tabel 4.6 Data titik setelah di optimasi	44
Tabel 5.1 Hasil yang teroptimasi system	48
Tabel 5.2 perbandingan waktu pemrosesan output	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Graf tidak berarah dan berbobot	9
Gambar 2.2 Graf berarah dan berbobot	9
Gambar 2.3 Graf tidak berarah dan tidak berbobot	10
Gambar 2.4 Graf berarah dan tidak berbobot	10
Gambar 2.5 Graph ABCDEFG	11
Gambar 2.6 ilustrasi masalah TSP	13
Gambar 2.7 Graph ABCD.....	14
Gambar 2.8 Sirkuit Hamilton.....	14
Gambar 2.9 Konsentrasi Jalur <i>Pheromone</i>	16
Gambar 2.10 Graf G berbobot	18
Gambar 3.1 Diagram Ishikawa Sistem	24
Gambar 3.2 Arsitektur Umum Sistem	25
Gambar 3.3 <i>Use Case Diagram</i> pada Sistem	27
Gambar 3.4 <i>Activity Diagram</i> pada Sistem	28
Gambar 3.5 <i>Sequence Diagram</i> pada Sistem.....	29
Gambar 3.6 <i>Flowchart</i> Sistem	30
Gambar 3.7 Rancangan Halaman Login.....	31
Gambar 3.8 Rancangan Halaman Dashboard	32
Gambar 3.9 Rancangan Halaman Proses <i>ACO</i>	32
Gambar 3.10 Rancangan Halaman Pengaturan	33
Gambar 4.1 Halaman Login.....	34
Gambar 4.2 Halaman Dashboard	35
Gambar 4.3 Halaman Proses <i>ACO</i>	35
Gambar 4.4 Halaman Pengaturan	36
Gambar 4.5 Database Sistem	36
Gambar 4.6 Input kordinat pada database.....	41
Gambar 4.7 tampilan titik pada maps sebelum di optimasi	43
Gambar 4.8 tampilan titik pada maps sesudah di optimasi.....	43

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam era digital seperti sekarang ini, bisnis online semakin berkembang pesat. Salah satu bisnis online yang sangat diminati adalah toko online. Dalam menjalankan bisnis online, toko online membutuhkan jasa pengiriman yang cepat, aman, dan terpercaya. Salah satu jasa pengiriman yang banyak dipilih oleh toko online adalah J&T Express.

J&T Express merupakan salah satu perusahaan jasa kurir yang cukup populer dan terkenal di Indonesia. Seiring dengan pertumbuhan industri *e-commerce* yang semakin pesat, kebutuhan akan layanan pengiriman paket yang cepat, aman, dan andal semakin meningkat. Dalam hal ini, kinerja kurir menjadi faktor yang sangat penting dalam menjaga kepercayaan pelanggan dan menjamin keberhasilan bisnis J&T Express.

J&T Express adalah salah satu perusahaan jasa kurir yang berfokus pada pengiriman paket dan dokumen dengan jaringan yang luas di seluruh Indonesia. Sebagai perusahaan jasa kurir yang berkembang pesat, J&T Express membutuhkan sistem yang efisien dalam menentukan rute pengiriman paket antar pelanggan. Rute pengiriman paket yang efisien sangat penting untuk memastikan pengiriman tepat waktu dan aman, serta menekan biaya pengiriman.

Seperti halnya perusahaan kurir lainnya, J&T Express juga menghadapi kendala dalam penentuan rute pengiriman yang efisien. Beberapa kendala tersebut di antaranya adalah Kompleksitas Jaringan Rute. Semakin kompleks jaringan rute, semakin sulit juga penentuan rute pengiriman yang efisien dan optimal. Kompleksitas jaringan rute dapat menyebabkan kesalahan dalam penentuan rute pengiriman dan meningkatkan waktu pengiriman.

Dalam bisnis jasa kurir, pemilihan rute pengiriman paket merupakan salah satu aspek penting dalam menentukan efisiensi pengiriman. Rute yang kurang efisien dapat mengakibatkan keterlambatan pengiriman dan biaya yang lebih tinggi, sementara rute yang efisien dapat menghemat biaya dan meningkatkan kepuasan pelanggan.

Oleh karena itu, J&T Express perlu memperhatikan pemilihan rute pengiriman paket dengan cara yang efisien dan efektif. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan metode-metode optimasi, seperti *Ant Colony Optimization (ACO)*, untuk menentukan rute pengiriman yang paling efisien.

Dengan menggunakan metode *Ant Colony Optimization (ACO)*, J&T Express dapat memperoleh rute pengiriman yang optimal dengan mengoptimalkan jalur yang dilalui oleh kurir dan meminimalkan waktu dan biaya pengiriman.

Ant Colony Optimization (ACO) adalah salah satu metode optimasi yang didasarkan pada perilaku koloni semut dalam mencari makanan. Dalam koloni semut, semut-semut bekerja sama untuk menemukan jalur terpendek menuju sumber makanan dengan cara meletakkan *pheromone* pada jalur yang dilalui. Semakin banyak *pheromone* yang terkumpul pada suatu jalur, semakin besar kemungkinan jalur tersebut dipilih oleh semut-semut lain dalam koloni.

Dalam konteks pemilihan rute kurir, metode *Ant Colony Optimization (ACO)* dapat diterapkan untuk menentukan rute pengiriman paket yang paling efisien dan efektif. Dalam hal ini, kurir dapat dianggap sebagai semut yang mencari jalur terpendek menuju tujuan pengiriman dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti jarak, waktu tempuh, kondisi lalu lintas, dan biaya.

Dalam kesimpulannya, metode *Ant Colony Optimization (ACO)* memiliki potensi yang besar dalam berbagai industri dan bidang, terutama dalam masalah optimisasi. Dengan memanfaatkan potensi *Ant Colony Optimization (ACO)*, perusahaan dapat meningkatkan efisiensi, mengurangi biaya operasional, dan meningkatkan kepuasan pelanggan.

Dalam penggunaan metode *Ant Colony Optimization (ACO)*, kurir pertama-tama akan memilih salah satu rute yang tersedia secara acak, dan kemudian melacak rute tersebut dan meninggalkan *pheromone* pada jalur-jalur yang dilalui. Semakin banyak *pheromone* yang terkumpul pada suatu jalur, semakin besar kemungkinan jalur tersebut dipilih oleh kurir-kurir lain dalam kurir yang sama.

Dengan memanfaatkan metode *Ant Colony Optimization (ACO)*, J&T Express dapat memperoleh rute pengiriman yang optimal dengan mengoptimalkan jalur yang dilalui oleh kurir dan meminimalkan waktu dan biaya pengiriman. Selain itu, metode *Ant Colony Optimization (ACO)* juga dapat mempertimbangkan faktor-faktor yang tidak terduga, seperti kondisi lalu lintas yang berubah-ubah, dan menyesuaikan rute pengiriman dengan cepat dan akurat.

Dalam hal ini, optimasi berbasis web juga dapat membantu J&T Express dalam melakukan analisis dan pemilihan rute pengiriman dengan lebih cepat dan akurat, serta memberikan informasi yang lebih lengkap dan terperinci tentang setiap rute yang tersedia.

Dalam penggunaan optimasi berbasis web, J&T Express dapat memanfaatkan data historis dan data real-time untuk memperoleh informasi yang lebih lengkap tentang kondisi lalu lintas, waktu tempuh, jarak, dan biaya pada setiap rute pengiriman. Dengan demikian, J&T Express dapat memilih rute pengiriman yang paling efisien dan efektif untuk setiap pengiriman paket, berdasarkan kriteria-kriteria yang telah ditentukan. Dalam hal ini, metode *Ant Colony Optimization (ACO)* dapat diintegrasikan dengan sistem optimasi berbasis web untuk membantu J&T Express dalam memperoleh rute pengiriman yang optimal dengan cepat dan akurat.

Pemilihan pendekatan berbasis web dalam optimasi ini dilakukan untuk meningkatkan keterjangkauan dan kemudahan aksesibilitas. Dengan mengadopsi solusi berbasis web, informasi mengenai rute distribusi paket dapat diakses secara real-time dan efisien oleh berbagai pihak terkait, termasuk petugas di lapangan, manajemen, dan pelanggan. Hal ini diharapkan dapat memberikan transparansi, pengelolaan yang lebih baik, serta responsibilitas yang lebih cepat terhadap perubahan-perubahan dalam kebutuhan distribusi paket, seiring pertumbuhan pesat industri e-commerce.

1.2 Rumusan Masalah

Rute distribusi yang tidak efisien menyebabkan kendala pada pelayanan dan tingginya biaya operasional yang menjadi faktor kerugian bagi jasa pengiriman logistik, sehingga dengan memanfaatkan analisis Metode Ant Colony Optimization dalam menentukan rute distribusi yang efektif, diharapkan dapat membantu meminimalisir kerugian dan meningkatkan pelayanan pada Jasa Pengiriman Logistik J&T Express.

1.3 Batasan Masalah

Dalam melakukan penelitian ini, peneliti membatasi ruang masalah yang akan diteliti.

Batasan-batasan masalah yang digunakan adalah :

1. Rancangan Optimasi berbasis web dengan metode *Ant Colony Optimization* ini hanya dirancang untuk pihak J&T Express cabang Tuasan kota Medan dalam penentuan efesiensi rute kurir distribusi paket.
2. Metode yang digunakan dalam optimasi rute menggunakan *Ant Colony Optimization* yang terintegrasi berbasis web
3. Data yang digunakan diperoleh dari J&T Express cabang Tuasan kota Medan.
4. Bahasa pemrograman yang digunakan yaitu PHP, Javascript, dan MySQL.

Adapun kriteria lokasi yang akan dijadikan sample penelitian sebagai berikut :

1. Lokasi titik yang akan dioptimasi adalah lokasi pengantaran sesuai batas wilayah J&T Express cabang Tuasan Kota Medan.
2. Lokasi berdasarkan Data yang diperoleh dari J&T Express cabang Tuasan kota Medan hanya berupa lokasi pengantaran, data dan alamat pelanggan asli tidak di cantumkan sebagai ketentuan privasi.
3. Data yang diperoleh merupakan data pelanggan yang menggunakan jasa J&T Express cabang Tuasan kota Medan.
4. Optimasi dengan ACO serta iterasi hanya menggunakan data lokasi yang diperoleh.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengimplementasikan metode *Ant Colony Optimization* dalam optimasi penentuan rute pada kurir J&T express cabang Tuasan kota Medan.
2. Menganalisis potensi metode *Ant Colony Optimization* dalam optimasi rute distribusikurir J&T Express cabang Tuasan kota Medan.
3. Meningkatkan efesiensi pelayanan kurir J&T express cabang Tuasan kota Medan dalam penentuan rute distribusi.
4. Meminimalisir kerugian operasional serta meningkatkan pelayanan J&T Express cabang Tuasan kota Medan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang diperoleh dari penelitian ini antara lain :

1. Memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem operasional yang efisien dalam optimasi rute kurir distribusi paket online shop pada jasa kurir J&T Express cabang Tuasan kota Medan.
2. Menambah wawasan dan pengetahuan peneliti tentang metode *Ant Colony Optimization* dan optimasi rute distribusi J&T Express cabang Tuasan kota Medan.
3. Memberikan solusi yang efisien dan efektif untuk menentukan rute distribusi paket online shop pada jasa kurir J&T Express cabang Tuasan kota Medan.
4. Sebagai bahan referensi peneliti lain dalam menganalisis potensi metode *ACO*.

1.6 Metodologi Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam eksplorasi adalah sebagai berikut:

1.6.1 Studi Penulisan

Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan data dan mempelajari hipotesis tentang pemeriksaan yang dilakukan dari berbagai sumber seperti buku, catatan harian, dan prosedur. Data yang berhubungan dengan pemeriksaan dapat berupa hipotesis tentang Sistem Optimasi, permasalahan rute terpendek, Perhitungan iterasi jarak dan implementasi Algoritma *Ant Colony Optimization*.

1.6.2 Perolehan Data dan Pemeriksaan Informasi Kinerja Distribusi

Pada tahap ini dilakukan pemeriksaan terhadap informasi yang diperoleh, kemudian dilakukan pemeriksaan informasi mengenai kinerja distribusi baik dari segi prosedur serta penjadwalan , serta meninjau Kualitas distribusi serta pelayanan, menganalisis Penggunaan sumber daya dalam aktivitas kinerja distribusi yang dilakukan pihak J&T Express cabang Tuasan kota Medan.

1.6.3 Eksekusi

Pada tahap ini aplikasi akan diselesaikan dalam bentuk kode program sesuai dengan data diperoleh serta Algoritma ACO yang akan digunakan.

1.6.4 Pengujian

Pada tahap ini, pengujian akan dilakukan dengan melakukan optimasi menggunakan Program yang telah dirancang, memperoleh hasil, lalu melakukan perbandingan perhitungan manual.

1.7 Dokumentasi dan Perencanaan Laporan

Pada tahap ini pencipta akan membuat dokumentasi sebagai laporan eksplorasi yang akan menjelaskan konsekuensi dari pengujian yang telah dilakukan.

1.8 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan proposal ini terdiri dari lima bagian mendasar sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bagian ini merangkum segala sesuatu tentang dasar dari permasalahan yang akan diteliti. Hal-hal yang dirangkum dalam bagian ini meliputi definisi masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, target penelitian, kepentingan penelitian, teknik penelitian, dan kerangka pemikiran.

BAB 2 LANDASAN TEORI

Tahap ini dilakukan Hipotesis dalam Implementasi Algoritma ACO terhadap rute distribusi yang akan dilakukan optimasi, menganalisis, serta merancang hipotesis oleh peneliti.

BAB 3 ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM

Memperoleh data dan pemeriksaan informasi prosedur. Hal ini sesuai dengan batasan definisi dan rencana masalah dalam tinjauan.

BAB 4 IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN SISTEM

Implementasi Algoritma ACO terhadap sistem, serta pengujian Algoritma terhadap optimasi yang akan dilakukan dengan pengujian serta eksekusi sistem yang telah dirancang.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Setiap bagian memberikan kesimpulan dan sinopsis penelitian . serta saran dan ide ide untuk penelitian di masa depan nantinya.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Sistem transportasi Ekspedisi

Sistem transportasi ekspedisi menganggap bahwa ada empat faktor yang sangat penting dalam kegiatan pengangkutan, yaitu :

1. Biaya

Biaya transportasi adalah pembayaran yang harus dikeluarkan untuk mengganti layanan distribusi barang.

2. Kecepatan

Kecepatan merujuk pada waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pengangkutan dari tempat asal barang ke tujuan yang diinginkan.

3. Pelayanan

Pelayanan adalah layanan yang diberikan oleh perusahaan ekspedisi kepada barang yang didistribusikan selama proses pengangkutan.

4. Konsistensi

Konsistensi dalam pelayanan sangat penting dalam bidang transportasi, menunjukkan kinerja yang teratur dalam hal waktu dan layanan.

2.2 Optimasi

Optimasi adalah suatu proses yang bertujuan untuk mencapai hasil atau solusi yang paling baik. Untuk mencapai hasil yang optimal, langkah-langkah dilakukan secara sistematis dengan memilih nilai variabel integer atau riil yang dapat memberikan solusi terbaik, seperti yang dijelaskan oleh Wardy (2007). Sementara itu, Buana (2016) menjelaskan bahwa optimasi adalah upaya sistematis untuk memilih elemen terbaik dari sekumpulan elemen yang tersedia. Dengan kata lain, optimasi adalah proses untuk mencari nilai terbaik.

2.3 Macam macam permasalahan optimasi

Masalah terkait optimisasi dalam kehidupan sehari-hari sangatlah rumit. Nilai optimal yang dicapai dalam optimisasi dapat berupa berbagai macam, seperti panjang, waktu, jarak, dan lain-lain. Di antara persoalan-persoalan optimisasi tersebut termasuk:

1. Menemukan jalur terpendek antara dua lokasi yang berbeda.
2. Menghitung jumlah pekerja yang diberikan untuk proses produksi biaya pekerjaan sekaligus menghasilkan produksi tetap optimal.
3. Mengatur rute kendaraan umum agar mencakup semua lokasi yang diinginkan.
4. Merencanakan jalur jaringan kabel telepon sedemikian rupa sehingga biaya pemasangan tidak berlebihan dan efisien.

2.4 Graf

2.4.1 Defenisi Graf

Graf G didefinisikan sebagai pasangan himpunan (V,E) , yang dapat ditulis sebagai $G = (V,E)$. Di sini, V adalah himpunan tak kosong dari simpul-simpul (vertices atau node), dan E adalah himpunan sisi (edges atau arcs) yang menghubungkan sepasang simpul (Munir, R., 2004).

Simpul dalam graf bisa diberi label huruf seperti a, b, c, d, \dots , atau bilangan bulat $1, 2, 3, \dots$, atau kombinasi keduanya. Sementara itu, sisi yang menghubungkan simpul u dan v dapat dinyatakan sebagai (u,v) atau disimbolkan sebagai e_1, e_2, e_3, \dots , dengan $1, 2, 3$ sebagai indeks. Jika e adalah sisi yang menghubungkan simpul u dan v , maka e dapat ditulis sebagai $e = (u,v)$.

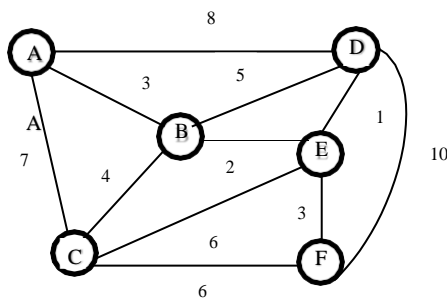
Dalam aplikasinya, setiap simpul dalam graf dapat mewakili objek kehidupan seperti titik-titik dalam jaringan pesan atau komunikasi, lokasi penempatan kerja, titik-titik kota, jalur-jalur transportasi, dan lain-lain. Sementara sisi-sisi graf mewakili bobot jarak, waktu, biaya, atau kendala-kendala lainnya. Busur (arcs) dalam graf menunjukkan hubungan atau relasi antara sepasang simpul.

2.4.2 Jenis Graf

Berdasarkan notasi arah sisi hingga bobot, maka graf secara umum dibedakan atas empat (Poetra dan Fajrul H., 2010) yaitu :

1. Graf notasi tidak terarah dan berbobot

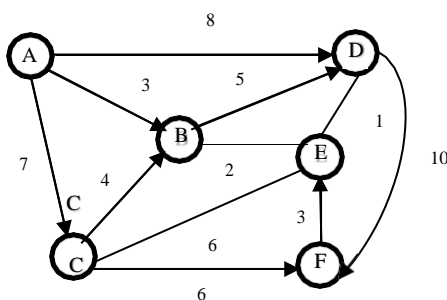
Graf yang tiap sisiannya tidak mengikuti arah tetapi memiliki nilai pada setiap sisi. Penyusunan simpul yang terhubung tidak diurutkan, artinya pasangan simpul (u,v) sama dengan (v,u) . Ilustrasi dalam Gambar 2.1 menampilkan graf yang tidak memiliki arah dan memiliki bobot.



Gambar 2.1 Graf notasi tidak terarah dan berbobot.

2. Graf notasi terarah dan berbobot

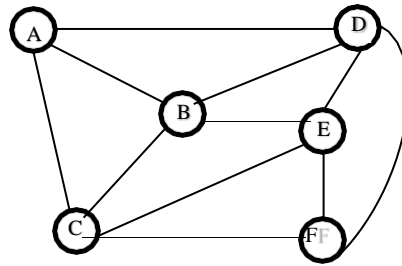
Graf yang setiap sisinya memiliki arah tertentu disebut sebagai graf berarah. Umumnya, sisi-sisi berarah ini disebut sebagai busur. Dalam graf berarah, pasangan (u,v) dan (v,u) mewakili dua busur yang berbeda, berarti (u,v) tidak sama dengan (v,u) . Dengan demikian, untuk busur (u,v) , simpul u disebut sebagai simpul asal dan simpul v disebut sebagai simpul terminal atau simpul tujuan. Gambar 2.2 menggambarkan contoh graf berarah yang memiliki bobot pada sisinya.



Gambar 2.2 Graf notasi terarah dan berbobot.

3. Graf notasi tidak terarah dan tidak berbobot

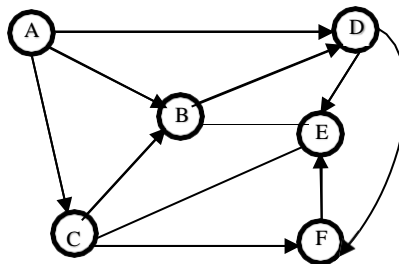
Graf yang tidak memiliki arah pada setiap sisinya dan tidak memiliki bobot disebut sebagai graf tak berarah dan tak berbobot. Ilustrasi ini ditampilkan dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Graf notasi tidak terarah dan tidak berbobot.

4. Graf notasi berarah dan tidak berbobot

Graf yang setiap sisinya mempunyai arah tetapi tidak mempunyai bobot apapun. Gambar 2.4 menunjukkan graf berarah dan tidak berbobot.



Gambar 2.4 Graf notasi berarah dan tidak berbobot

2.4.3 Representasi Graf

Terdapat beberapa cara mempresentasikan graf, tiga di antaranya yang sering digunakan adalah matriks ketetanggaan, matriks bersisian dan senarai ketetanggaan (Romelta, E., 2009).

1. Matriks Ketetanggaan

Misalkan $G = (V, E)$ adalah suatu graf dengan n simpul, di mana $n \geq 1$. Matriks ketetanggaan dari graf G adalah matriks berukuran $n \times n$. Jika matriks ini dilambangkan sebagai $A = [a_{ij}]$, maka a_{ij} bernilai 1 jika simpul i dan j saling berdekatan atau terhubung, dan sebaliknya, a_{ij} bernilai 0 jika simpul i dan j tidak berdekatan atau tidak terhubung. Matriks ketetanggaan hanya terdiri dari angka 0 dan 1. Selain menggunakan angka 0 dan 1, elemen matriks juga dapat diwakili oleh nilai false (mewakili 0) dan true (mewakili 1). Namun, matriks ketetanggaan nol-satu tidak dapat digunakan untuk menggambarkan graf yang memiliki sisi ganda (graf ganda).

2. Matriks berisian

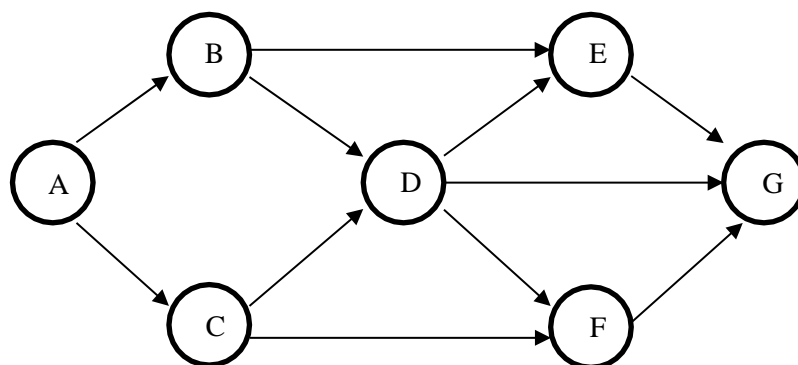
Matriks adjasensi menyatakan keterhubungan antara simpul dan sisi. Jika kita memiliki graf $G = (V, E)$ dengan n simpul dan m sisi, matriks adjasensi G akan memiliki ukuran $n \times m$. Jika matriks ini dinotasikan sebagai $A = [\alpha_{ij}]$, maka α_{ij} bernilai 1 jika simpul i terhubung dengan sisi j , dan sebaliknya, α_{ij} bernilai 0 jika simpul i tidak terhubung dengan sisi j . Matriks adjasensi berguna untuk merepresentasikan graf yang mengandung sisi ganda atau sisi gelang. Derajat setiap simpul dapat dihitung dengan menjumlahkan semua elemen pada baris i (kecuali untuk graf yang mengandung gelang atau looping). Jumlah total elemen dalam matriks adjasensi adalah $n \times m$.

3. Senarai ketetanggaan

Dalam implementasinya pada komputer, matriks ketetanggaan membutuhkan penggunaan ruang memori yang besar. Ini disebabkan oleh banyaknya elemen nol dalam matriks, yang tidak perlu disimpan dalam komputer. Untuk mengatasi masalah ini, solusi yang lebih efisien adalah menggunakan daftar ketetanggaan. Daftar ketetanggaan ini mengurutkan simpul-simpul yang berdekatan dengan setiap simpul dalam graf, dan dianggap sebagai pendekatan yang lebih baik dalam hal penghematan ruang memori (Budayasa, I.K., 2007).

2.5 Permasalahan rute terpendek

Permasalahan rute terpendek berkaitan dengan menentukan jalur terpendek antara titik awal dan titik akhir dalam sebuah jaringan. Tujuannya adalah untuk menemukan jalur dengan jarak terdekat antara sumber dan tujuan. Gambar 2.5 menunjukkan graf ABCDEFG yang berarah dan tidak memiliki bobot pada sisinya.



Gambar 2.5 Graf dari ABCDEFG

Pada gambar 2.5 , jika kita mulai pada kota A dan menuju Kota G. Lalu jika menuju kota G, ada pilihan beberapa rute tersedia :

$$\begin{aligned}
 &A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow G \\
 &A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow F \rightarrow G \\
 &A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow G \\
 &A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow F \rightarrow G \\
 &A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow G \\
 &A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow F \rightarrow G \\
 &A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow G \\
 &A \rightarrow B \rightarrow E \rightarrow G \\
 &A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow G \\
 &A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow F \rightarrow G \\
 &A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow G \\
 &A \rightarrow C \rightarrow F \rightarrow G
 \end{aligned}$$

Berdasarkan data tersebut, dihitung rute terpendek dengan cara mencari jarak antara rute-rute diatas. Apabila jarak antar rute belum atau tidak diketahui, jarak dihitung melalui koordinat kota tersebut, kemudian menghitung jarak terpendek yang bisa dilalui.

2.6 Penyelesaian Masalah Optimisasi

Biasanya, penyelesaian masalah pencarian rute terpendek dapat dilakukan melalui dua pendekatan, yakni metode konvensional dan metode heuristik. Metode konvensional melibatkan perhitungan matematika biasa, sementara metode heuristik menggunakan pendekatan sistematis.

1. Metode Konvensional

Metode konvensional merujuk pada pendekatan yang mengandalkan perhitungan matematika yang eksak. Beberapa teknik konvensional yang sering digunakan dalam pencarian rute terpendek meliputi algoritma Dijkstra, algoritma Floyd-Warshall, dan algoritma Bellman-Ford (Mutakhiroh, I., Saptono, F., Hasanah, N., dan Wiryadinata, R., 2007).

2. Metode Heuristik

Heuristik adalah pendekatan yang menggunakan sistem pendekatan dalam proses pencarian untuk optimasi. Ada beberapa algoritma yang termasuk dalam metode heuristik yang sering digunakan dalam masalah optimasi, seperti Algoritma Genetika, Ant Colony Optimization, logika Fuzzy, jaringan syaraf tiruan, Tabu Search, Simulated Annealing, dan sebagainya (Mutakhiroh, I., Saptono, F., Hasanah, N., dan Wiryadinata, R., 2007).

2.7 Travelling Salesman Problem (TSP)

TSP (Traveling Salesman Problem) adalah masalah yang melibatkan mengunjungi semua rute yang ada sebanyak n tepat sekali, kemudian kembali ke lokasi awal. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, rute didefinisikan sebagai jarak atau arah yang harus diikuti, ditempuh, atau dilalui. TSP merupakan salah satu masalah kombinatorial yang sering dihadapi.

Permasalahan TSP direpresentasi dalam bentuk graf untuk memodelkan permasalahan yang nantinya diselesaikan.

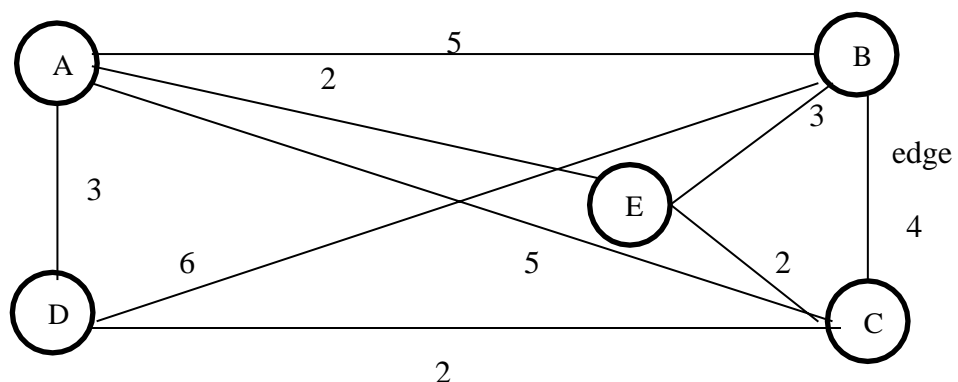
Tujuan utama dari TSP adalah mencari jalur Hamiltonian circuit dengan panjang minimal dari sebuah graf. Hamiltonian circuit adalah jalur terpendek yang melewati setiap simpul tepat sekali

TSP dapat dijelaskan sebagai permasalahan dalam menemukan tur tertutup dengan jarak minimal di antara sejumlah n kota, di mana setiap kota hanya dikunjungi sekali.

TSP direpresentasikan menggunakan sebuah graf lengkap dan berbobot $G = (V, E)$, di mana V adalah himpunan simpul yang mewakili titik-titik, dan E adalah himpunan sisi. Setiap sisi $\in E$ memiliki nilai (jarak) d_{rs} yang menunjukkan jarak dari kota r ke kota s , dengan $(r, s) \in V$. Dalam TSP simetris, jarak dari kota r ke titik s sama dengan jarak dari titik s ke titik r , sehingga d_{rs} untuk setiap sisi $(r, s) \in E$ memiliki nilai yang sama.

Misalkan pada n buah titik maka graph memiliki $\frac{n!}{((n-2)!2!)}$ buah *edge*, dengan rumus kombinasi, dan juga memiliki $\frac{(n-1)!}{2}$ buah tur yang mungkin.

Dalam sebuah graf, TSP digambarkan seperti gambar 2.6 dibawah ini :

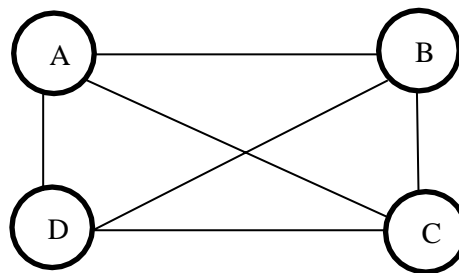


Gambar 2.6 ilustrasi masalah TSP

Contoh kasusnya adalah sebagai berikut: "Seorang pedagang diberikan beberapa kota beserta jarak antara kota-kota tersebut. Tugasnya adalah menentukan sirkuit terpendek yang harus dilaluinya, dimulai dari satu kota asal, menyinggahi setiap kota tepat sekali, dan kembali ke kota asal."

Jika kita memandang contoh kasus tersebut dalam konteks graf, maka dapat diinterpretasikan sebagai bagaimana menemukan sirkuit Hamilton dengan bobot minimum dalam graf tersebut.

diketahui, bahwa dalam mencari jumlah sirkuit Hamilton di dalam graf lengkap dengan n vertek adalah : $(n - 1)!/2$.



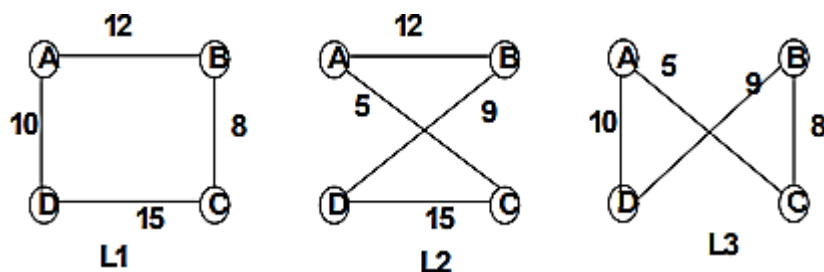
Gambar 2.7 Graf ABCD

Pada gambar 8.6.2 diatas, graph memiliki $\frac{(4-1)!}{2} = 3$ sirkuit Hamilton, yaitu :

$L1 = (A,B,C,D,A)$ atau $(A,B,D,C,A) \Rightarrow \text{panjang} = 10 + 12 + 8 + 15 = 45$

$L2 = (A,C,D,B,A)$ atau $(A,B,D,C,A) \Rightarrow \text{panjang} = 12 + 5 + 9 + 15 = 41$

$L3 = (A,C,B,D,A)$ atau $(A,D,B,C,A) \Rightarrow \text{panjang} = 10 + 5 + 9 + 8 = 32$



Gambar 2.8 Sirkuit Hamilton

Dalam gambar 8.6.3 di atas, dapat diamati bahwa sirkuit Hamilton terpendek adalah $L3 = (A, C, B, D, A)$ atau (A, D, B, C, A) dengan panjang sirkuit adalah $10 + 5 + 9 + 8 = 32$. Jika jumlah verteknya $n = 20$, maka akan ada sekitar $(19!)/2$ sirkuit Hamilton, atau sekitar 6×10^{16} penyelesaian.

Pada kehidupan keseharian, kasus TSP ini dapat dimplementasikan untuk menyelesaikan kasus lain, diantaranya yaitu :

1. Tukang Pos mengambil surat dari kotak pos yang tersebar di n lokasi di berbagai sudut kota.
2. Lengan robot memasangkan n mur pada beberapa peralatan mesin dalam sebuah jalur perakitan.
3. Mobil pengangkut sampah mengumpulkan sampah dari tempat pembuangan sampah yang terletak di n lokasi di berbagai sudut kota.
4. Petugas Bank melakukan pengisian uang pada sejumlah mesin ATM di n lokasi.
5. Dan sebagainya.

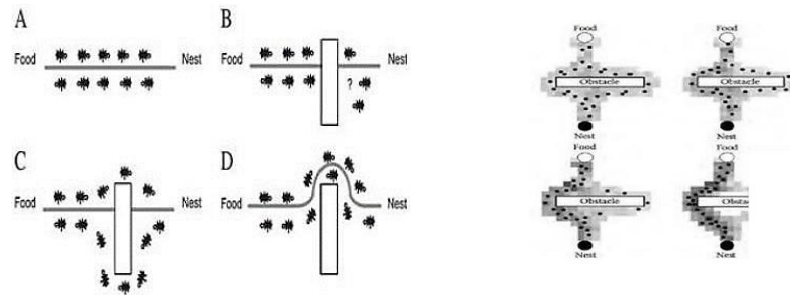
2.8 *Ant Colony Optimization (ACO)*

Algoritma Ant Colony Optimization (ACO) merupakan bagian dari kelompok Swarm Intelligence, yang merupakan salah satu paradigma pengembangan yang digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi. Paradigma ini terinspirasi dari perilaku kumpulan atau kawanan serangga.

Moyson dan Manderick memperkenalkan Algoritma Ant Colony Optimization (ACO), yang kemudian dikembangkan secara luas oleh Marco Dorigo. ACO adalah algoritma probabilitas yang terinspirasi dari perilaku semut dalam mencari sumber makanan di koloni semut. (W. Nugraha, 2020).

Dalam pandangan Dorigo dan Gambar della (Leksono A., 2009), Ant Colony Optimization (ACO) mengadopsi perilaku koloni semut, yang juga dikenal sebagai sistem semut. Koloni semut merupakan suatu sistem terdistribusi di mana meskipun setiap semut individu sederhana, mereka mampu menjalankan organisasi sosial tingkat tinggi. Sebagai hasilnya, koloni semut mampu menyelesaikan tugas yang kompleks yang jauh melampaui kemampuan individual dari setiap semut.

Perilaku koloni semut telah menginspirasi berbagai algoritma, termasuk perilaku dalam pencarian makanan, pembagian tugas, dan transportasi yang kooperatif. Dalam setiap perilaku ini, semut berkoordinasi melalui stigmergy, sebuah bentuk komunikasi tidak langsung yang melibatkan perubahan lingkungan. Sebagai contoh, saat semut mencari makanan, mereka melepaskan senyawa kimia di tanah yang meningkatkan kemungkinan semut lain untuk mengikuti jalur yang sama. Senyawa kimia ini, yang dikenal sebagai feromon, adalah cara komunikasi penting bagi semut.



Gambar 2.9 Konsentrasi Jalur *Pheromone*

2.8.1 Element Algoritma *Ant colony optimization*

Pada algoritma Ant Colony Optimization (ACO), terdapat beberapa elemen penting yang digunakan untuk mengoptimalkan masalah. Berikut adalah beberapa elemen kunci dalam ACO :

1. Semut (*ants*)

Semut merupakan entitas yang digunakan dalam ACO. Setiap semut bergerak di sepanjang jalur yang mungkin dalam masalah yang sedang dihadapi. Setiap semut memiliki kemampuan untuk melepaskan feromon, substansi kimia yang digunakan untuk berkomunikasi dengan semut lainnya.

2. Graf (*graph*)

Graf merepresentasikan ruang masalah yang ingin dioptimalkan. Graf terdiri dari simpul dan tepi yang menghubungkan simpul-simpul tersebut. Setiap tepi pada graf memiliki nilai feromon yang mencerminkan kualitas jalur yang terkait.

3. Tepi feromon (*pheromone trails*)

Tepi feromon adalah jejak feromon yang ditinggalkan oleh semut ketika mereka bergerak di sepanjang jalur tertentu. Nilai feromon pada tepi ini meningkat atau menurun berdasarkan kualitas solusi yang dicapai oleh semut yang melewati jalur tersebut.

4. Jarak (*distance*)

Jarak menggambarkan panjang atau biaya perjalanan antara dua simpul dalam graf. Jarak ini dapat disesuaikan dengan jenis masalah yang ingin dipecahkan dalam ACO.

5. Fungsi Heuristik (*Heuristic Function*)

Fungsi heuristik digunakan untuk mengukur potensi kualitas jalur berdasarkan faktor-faktor seperti jarak, waktu, biaya, atau kriteria lainnya. Fungsi ini membantu semut dalam memilih jalur yang lebih menguntungkan.

6. Parameter *Ant Colony Optimization*

Terdapat macam-macam parameter yang dimana perlu ditentukan dalam ACO, seperti tingkat penguapan feromon, kekuatan pengaruh feromon dan heuristik, jumlah semut yang digunakan, dan sebagainya. Parameter-parameter ini dapat mempengaruhi performa dan konvergensi algoritma.

2.8.2 Formulasi Algoritma *Ant Colony Optimization*

Berikut adalah formula algoritma ACO :

1. Inisialisasi parameter-parameter (seperti jumlah kota, tetapan siklus semut, jumlah siklus maksimum, intensitas jejak semut, kontrol visibilitas, penguapan jejak semut, jumlah semut, dan intensitas jejak semut antar kota).
2. Penyusunan rute kunjungan

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{k' \in allowed_k} [\tau_{ik'}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ik'}(t)]^\beta}, & \text{jika } j \in allowed_k \\ 0 & , \text{untuk } j \text{ lainnya} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan (1) :

$p_{ij}^k(t)$ = Peluang semut ke-k untuk mengunjungi titik j dari titik i pada iterasi ke-t

$\tau_{ij}(t)$ = Nilai dari jumlah feromon dari titik i hingga titik j dalam iterasi ke-t

α = ketetapan pengendali intensitas pada jejak feromon semut

$\eta_{ij}(t)$ = Nilai visibilitas pada titik i hingga titik j dalam iterasi ke-t

β = Tetapan pengendali visibilitas

3. Perhitungan panjang dari tiap semut

4. Cek pada kondisi berhenti, jika belum mencapai kondisi berhenti :

- a. Hitung dari matriks perubahan intensitas feromon pada tiap semut, misal jalur (i, j) atau (j, i) terdapat dalam memori

$$\Delta r_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{Cost_k}, & \text{untuk } (i, j) \in \text{Kota awal dan Kota akhir memori} \\ 0, & \text{untuk } (i, j) \text{ lainnya} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan (2) :

Δr_{ij}^k = Perubahan dari intensitas feromon semut ke-k pada titik i ke titik j

Q = tetapan pada siklus semut

$Cost_k$ = Total jarak diperlukan oleh semut ke-k

- b. Hitung matriks perubahan intensitas feromon global untuk setiap semut

$$\Delta r_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta r_{ij}^k \quad \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan (3) :

Δr_{ij} = Perubahan pada intensitas feromon global

Δr_{ij}^k = Perubahan pada intensitas feromon di semut ke-k pada titik i ke titik j

- c. Perhitungan update feromon

$$r_{ij}(t+1) = (1 - \rho) \cdot r_{ij}(t) + \Delta r_{ij} \quad \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan (4) :

$r_{ij}(t+1)$ = pheromon pada titik i hingga titik j pada iterasi ke-(t + 1)

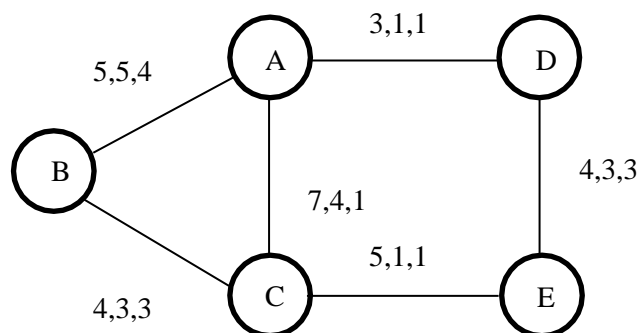
ρ = Tetapan nilai penguapan pada jejak feromon semut

$r_{ij}(t)$ = Feromon pada titik i hingga titik j dalam iterasi ke-t

- d. kosongkan kembali tabel jalur kunjungan dalam memori setiap semut
e. perulangan langkah 2 hingga mencapai siklus semut maksimum.

2.8.3 Contoh perhitungan *Ant Colony Optimization*

jika dimiliki sebuah graf G yang berbobot dengan contoh lima node dan enam edges seperti Gambar 2.10



Gambar 2.10 Graph G (berbobot)

Dari graf G yang disajikan di atas, akan dilakukan pencarian jalur terbaik dari node A ke node E. Berikut adalah analisis dan langkah-langkah perhitungan jalur terbaik dari node A ke node E menggunakan ACO:

inisialisasi nilai Parameter *Ant Colony Optimization* :

$$\tau_{ij} = 0,01$$

$$q_0 = 0,1$$

$$\alpha = 0,1$$

$$\beta = 1$$

$$m = 4$$

$$\rho = 0,5$$

$$N_{c_{\max}} = 1$$

$$W = \{ 0,5 \ 0,2 \ 0,2 \ 0,45 \}$$

Ada ketentuan dalam menetapkan nilai parameter dalam algoritma semut, yaitu nilai α dan β harus lebih besar atau sama dengan 0, sementara ρ harus berada di antara 0 dan 1. Dari graf yang diberikan, didapatkan matriks ketetanggaan untuk jarak, kepadatan, tikungan, dan kepadatan antar node. (d_{ij}). Contoh Table 1 matriks nilai pada jarak (d_{ij}).

Tabel 2.1 Matrik Nilai dari d_{ij} (jarak).

	A	B	C	D	E
A	0	5	7	3	0
B	5	0	4	0	0
C	7	4	0	0	5
D	3	0	0	0	4
E	0	0	5	4	0

1. hitung visibilitas antar titik langkah awal yaitu melakukan normalisasi Tabel dengan persamaan (1).

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}} \\ x_{ij} \end{array} \right. \quad (\text{persamaan normalisasi table})$$

yaitu r_{ij} adalah rating kinerja ternormalisasi pada alternatif A_i dalam atribut C_j , $i=1,2,\dots,m$ dan $j=1,2,\dots,n$. x_{ij} adalah rating kinerja alternatif ke i pada atribut ke j .

Contoh dari normalisasi tabel posibilitas node a ke node lainnya :

$$\begin{array}{l} A \text{ ke } B = 3/5 \ 5/5 \ 4/4 \ 1/5 \\ A \text{ ke } C = 3/7 \ 4/5 \ 1/4 \ 5/5 \\ A \text{ ke } D = 3/3 \ 1/5 \ 1/4 \ 1/5 \ 1 \end{array} = \begin{array}{l} 0,6 \ 1 \ 1 \ 0,2 \\ 0,43 \ 0,8 \ 0,8 \ 0,25 \\ 0,2 \ 0,25 \ 0,2 \end{array}$$

Langkah selanjutnya cari nilai preferensi kepada setiap atribut (V_j) dengan persamaan (2).

$$v_i = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij}$$

(Persamaan Nilai Preferensi)

w : bobot nilai yang diberi, nilai V_i lebih besar menunjukkan bahwa alternatif A_i lebih terpilih.

Contoh kalkulasi:

$$A \text{ ke } B = (0,15 \times 0,8) + (0,2 \times 1) + (0,2 \times 1) + (0,45 \times 0,2) = 0,58$$

$$A \text{ ke } C = (0,15 \times 0,43) + (0,2 \times 0,8) + (0,2 \times 0,25) + (0,45 \times 1) = 0,73$$

$$A \text{ ke } D = (0,15 \times 1) + (0,2 \times 0,2) + (0,2 \times 0,25) + (0,45 \times 0,2) = 0,33$$

Hasil keseluruhan visibilitas antar node bisa dilihat dalam Tabel 2.2

Tabel 2.2 Visibilitas (η_{ij})

	A	B	C	D	E
A	0	5	7	3	0
B	5	0	4	0	0
C	7	4	0	0	5
D	3	0	0	0	4
E	0	0	5	4	0

Siklus I, pada semut 1 :

- Probabilitas pada node A hingga node tujuan :

Nilai bilangan yang akan dibangkitkan (q), $q=0,565$; $q \geq q_0$ maka probabilitas akan dihitung dengan cara menggunakan persamaan (3) misalkan $q < q_0$ dan menggunakan persamaan (4) misal $q \geq q_0$.

$$s = \begin{cases} \underset{u \in J_k(r)}{\text{Arg max}} \left\{ [\tau(r,u)] \cdot [\eta(r,u)]^\beta \right\} & \text{jika } q < q_0 (\text{Exploitasi}) \\ S & \text{jika } q \geq q_0 (\text{Eksplorasi}) \end{cases}$$

(Persamaan node)

$\tau(r,u)$: Jumlah dari feromone dalam sisi dari node r hingga node u.

$\eta(r,u)$: Panjang edges pada node r hingga node u

β : Parameter dari perbandingan jumlah feromone relatif dalam jarak
(merupakan parameter yang telah ditentukan sebelumnya)

$J_k^{(r)}$: Himpunan node yang akan dikunjungi oleh semut

U : node yang berada pada $J_k^{(r)}$

q : Bilangan secara random

q_0 : Parameter perbandingan dari eksploitasi pada eksplorasi

s : node selanjutnya yang dipilih didasarkan persamaan (4).

Eksploitasi : semut memilih node paling pendek serta feromone tinggi

Eksplorasi : semut mengeksplorasi dari node yang belum dikunjungi.

$$P_{k(r,s)} = \begin{cases} \frac{[\tau(r,s)] [\eta(r,s)]^\beta}{\sum_{u \in J_k(r)} [\tau(r,u)] [\eta(r,u)]^\beta} & \text{Jika } s \in J_k(r) \\ 0 & \text{Lainnya} \end{cases}$$

(iterasi node r)

$P_{k(r,s)}$: kemungkinan semut k memilih berada di node r memilih node s untuk tujuan berikutnya.

$\tau(r,s)$: jumlah pheromone dalam sisi dari node r hingga node s.

$\eta(r,s)$: panjang edges dalam node r hingga node s.

- β : parameter yang akan menentukan besar dari pengaruh jarak terhadap jumlah feromone.
- $J_k(r)$: himpunan berisi node yang dikunjungi oleh semut.
- $u,$: node yang berada pada $J_k(r)$

visibility measure, $\eta(r,s)$. dihitung dengan persamaan

$$\sum [\tau(r,u)] [\eta(r,u)]^\beta = (0,01 * 0) + (0,01 * 0,58) + (0,01 * 0,73) + (0,01 * 0,33) + (0,01 * 0) = 0,0164$$

Hitung kemungkinan dari titik node A ke setiap node
Node A = 0

$$\text{Node B} = (0,01) (0,58)^1 / 0,0164 = 0,0058 / 0,0164 = 0,354$$

$$\text{Node C} = (0,01)(0,73)^1 / 0,0164 = 0,0073 / 0,0164 = 0,445$$

$$\text{Node D} = (0,01)(0,33)^1 / 0,0164 = 0,0033 / 0,0164 = 0,201$$

$$\text{Node E} = 0$$

- Probabilitas nilai Kumulatif : 0 0,354 0799 1 1
- Sebuah Bilangan random yang dibangkit $r = 0,825$
- Memeriksa fase $q_{k-1} < r < q_k$, Pilih dari node D
- Isi dari daftar kota = A D
- Melakukan pembaharuan feromone lokal dengan persamaan (5).

$$r(r,s) = (1 - \rho) \cdot r(r,s) + \rho \cdot r_0$$

Dimana :

ρ = ketetapan nilai penguapan pheromone. Nilai ini bermanfaat supaya tidak terjadi penumpukan feromone secara tidak terbatas mengingat pada jumlah feromone akan terus bertambah iterasi.

$\tau_0 = (\eta \cdot L_m)^{-1}$ dimana L_m menyatakan jarak antara dari node r hingga s, η adalah jumlah node

contoh kalkulasi :

$$\tau(A, D) = (1 - 0,05) \cdot (0,01) + (0,066)$$

$$\tau(A, D) = 0,0755$$

Contoh keseluruhan hasil penyusunan jalur oleh semut seperti pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Hasil pencarian pada siklus pertama.

Semut ke	Rute	Panjang rute	Lubang	Tikungan	Kepadatan
1	A D E	7	4	4	2
2	A B C E	14	13	8	11
3	A C B	-	-	-	-
4	A C E	12	9	2	10

3. Proses pengurutan dengan menggunakan nilai bobot yang diberikan menggunakan persamaan (1) dan normalisasi Tabel serta persamaan (2) untuk menghitung nilai pada preferensi. Contoh :

$$W = [0,15 \ 0,20 \ 0,20 \ 0,44]$$

$$V1 = (0,15)(1) + (0,2)(0,308) + (0,2)(0,5) + (0,45)(0,182) = 0,3935$$

$$V2 = (0,15)(0,5) + (0,2)(1) + (0,2)(1) + (0,45)(1) = 0,925$$

$$V3 = (0,15)(0,583) + (0,2)(0,692) + (0,2)(0,25) + (0,45)(0,909) = 0,685$$

Nilai terbesar yaitu V3 sehingga jalur rute terbaik adalah rute yang dibangun semut 2 lalu rute alternatif adalah rute yang telah dibangun oleh semut 3 pada Jalur A B C E.

4. Lakukan pembaruan feromone global dengan persamaan (6).

$$\tau(r,s) = (1 - \alpha) \cdot \tau(r,s) + \alpha \cdot \Delta \tau(r,s)$$

yaitu :

$$\Delta \tau(r,s) = \begin{cases} (L_{gb})^{-1} & \text{Jika } (r,s) \in \text{rute terbaik} \\ 0 & \text{Jika tidak} \end{cases}$$

Rute terbaik adalah A B C E hingga jumlah feromone:

$$\tau(r,s) = (1 - \alpha) \cdot \tau(r,s) + \alpha \cdot \Delta \tau(r,s)$$

$$\tau(A B) = (1 - 0,1)(0,0755) + (0,1)(0,58)$$

$$\tau(r,s) = 0,12595$$

$$\tau(B C) = (1 - 0,1)(0,1835) + (0,1)(0,87)$$

$$\tau(r,s) = 0,1035$$

$$\tau(C E) = (1 - 0,1)(0,1934) + (0,1)(0,836)$$

$$\tau(r,s) = 0,256$$

Tabel 2,4 Intensitas feromone tiap node setelah diperbaharui pada pembaharuan global

	A	B	C	D	E
A	0,009	0,312595	0,1396	0,06795	0,009
B	0,12595	0,009	0,454	0,009	0,009
C	0,1396	0,1035	0,009	0,009	0,256
D	0,06795	0,009	0,009	0,009	0,1935
E	0,009	0,009	0,258	0,1935	0,009

BAB III

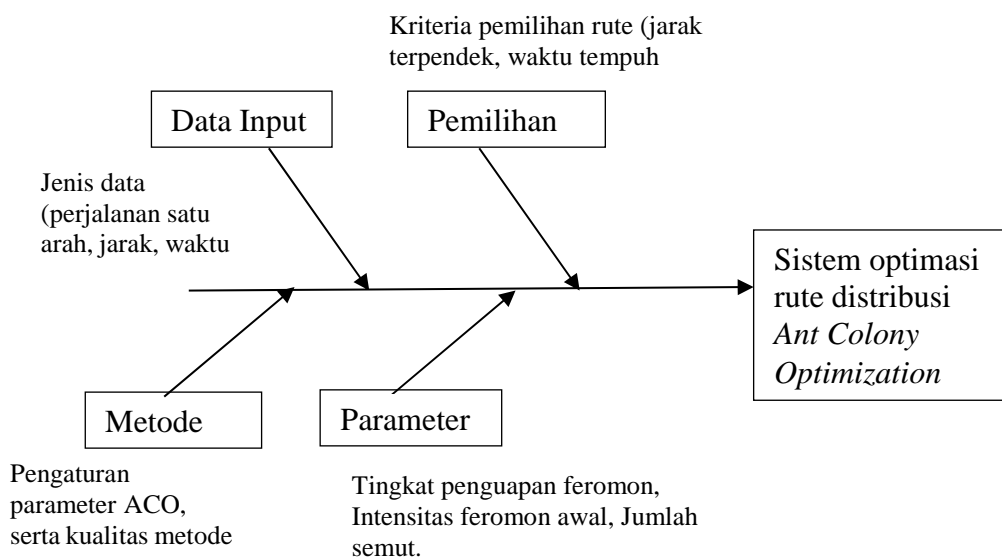
ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM

3,1 Analisis Sistem

Analisis system yang dibangun dalam penelitian ini memberikan ide dan masalah untuk dipecahkan dengan tujuan memberikan solusi masalah dengan merancang dan membentuk system secara bertahap dan menggunakan komponen-komponen dalam struktur yang teratur. Tahap analisis meliputi analisis masalah, arsitektur umum, analisis kebutuhan, dan analisis proses sistem.

Analisis Masalah

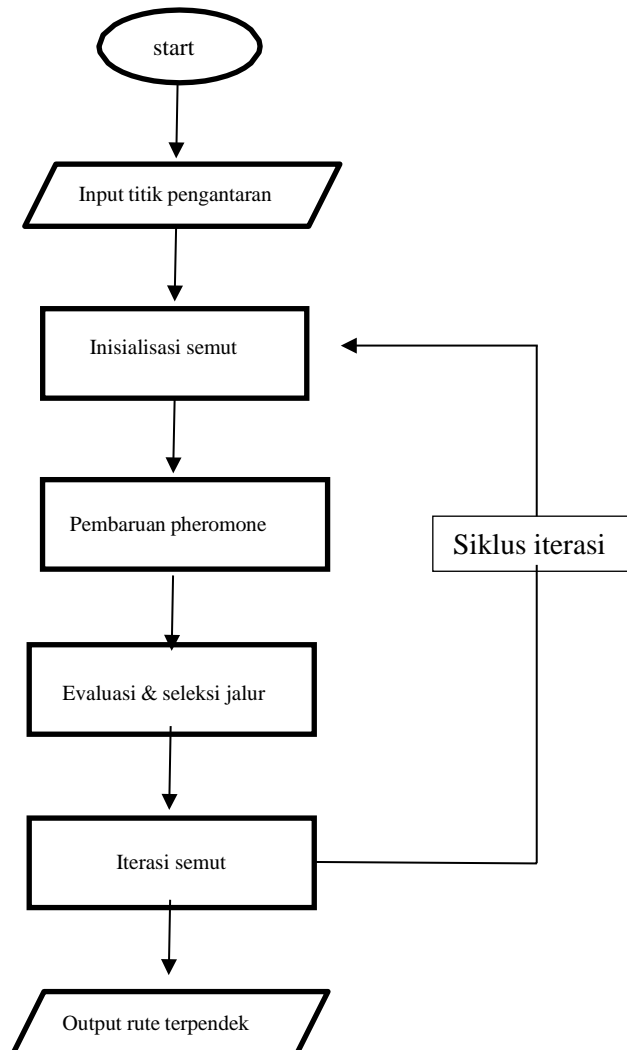
Penilaian Analisis Masalah untuk menentukan rute terpendek adalah hal yang cukup krusial dikarenakan untuk penentuan rute distribusi terpendek harus sesuai dengan jarak dan waktu pengantaran. Untuk itu dibutuhkan suatu sistem yang dapat mendukung para kurir dalam menentukan rute terpendek dengan *Ant Colony Optimization* yang dapat dilihat pada diagram ishikawa pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Ishikawa Sistem

3.2 Arsitektur Umum Sistem

Arsitektur Umum secara keseluruhan adalah deskripsi secara umum tentang bagaimana sebuah sistem berfungsi dan karakteristik yang memungkinkannya untuk memenuhi kebutuhan masalah yang diberikan. Studi ini menyoroti arsitektur umum seperti gambar 3.2.



Gambar 3.2. Arsitektur Umum Sistem

Penjelasan proses rancangan sistem optimasi penentuan rute distribusi dengan metode *Ant Colony Optimization*.

1. Data titik pengantaran

Pada penelitian ini yang pertama kali dilakukan adalah memasukkan data distribusi harian oleh admin yang nantinya akan diinput kedalam system berupa titik alamat pengantaran.

2. Menampilkan titik pengantaran

Tahap ini akan menampilkan data titik pengantaran yang telah diinput agar muncul di peta yang nantinya akan dioptimasi oleh system.

3. Pembobotan jarak tiap titik

Pada tahap ini dilakukan pembobotan nilai jarak yang nantinya akan di iterasi oleh *ACO* pada saat melakukan optimasi agar menampilkan nilai pheromone sehingga rute dapat diseleksi.

4. Siklus optimasi dengan *ACO*

Tahap selanjutnya adalah perhitungan jarak yang dilalui serta optimasi rute dengan *Ant Colony Optimization* sehingga memunculkan hasil berupa nilai rute teroptimasi dengan kriteria jarak terpendek yang dilalui dari titik terminal point menuju semua titik pengantaran yang telah diinput.

3.3 Analisis Kebutuhan

Pemeriksaan prasyarat adalah cara yang paling umum untuk menyiapkan bagian-bagian yang diharapkan untuk membangun sebuah kerangka kerja. Penyelidikan ini dapat diisolasi menjadi dua macam, khususnya:

1. Kebutuhan yang berguna untuk kerangka kerja

Kebutuhan yang berguna untuk kerangka kerja adalah sebagai berikut:

- a. Kerangka kerja memiliki aturan parameter titik yang menjadi fokus.
- b. Kerangka kerja ini memberikan penilaian yang obyektif terhadap setiap evaluasi Pengukuran.

2. Kebutuhan non-fungsional sistem

Persyaratan non-fungsional system tersedia dalam bentuk antar muka yang ramah pengguna (*user*).

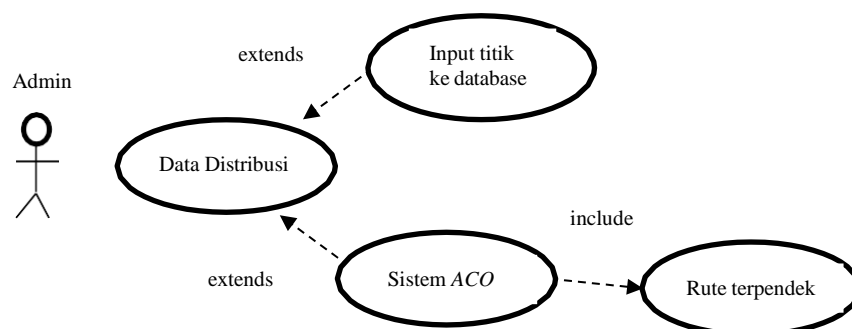
3.4 Analisis Proses

Studi ini menggunakan *Ant Colony Optimization* dan perhitungan rute efisien untuk menyarankan rute terpendek dalam kegiatan distribusi. Setelah membandingkan tiap jarak titik pengantaran dan penggunaan sumber daya dalam aktifitas distribusi sampai hasil optimasi didapat, pemeriksaan bobot optimasi dilakukan dan hasilnya akhirnya diseleksi dengan cara evaluasi tiap siklus penentuan rute. Hal utama yang harus dilakukan oleh admin adalah memberikan informasi atau data tentang rute distribusi harian seperti alamat, dan jarak titik pengantaran,. Setelah semua kebutuhan terpenuhi, kerangka kerja akan melakukan optimasi. Hasilnya kemudian akan ditampilkan pada aplikasi.

3.5 Pemodelan Sistem

3.5.1 Use Case Diagram

Use Case Diagram adalah kerangka kerja yang dapat diakses deskripsi administrasi yang direncanakan untuk klien sebagai semacam pengujian yang dilakukan oleh penghibur. Untuk melihat garis besar kasus penggunaan, lihat Gambar 3.3.

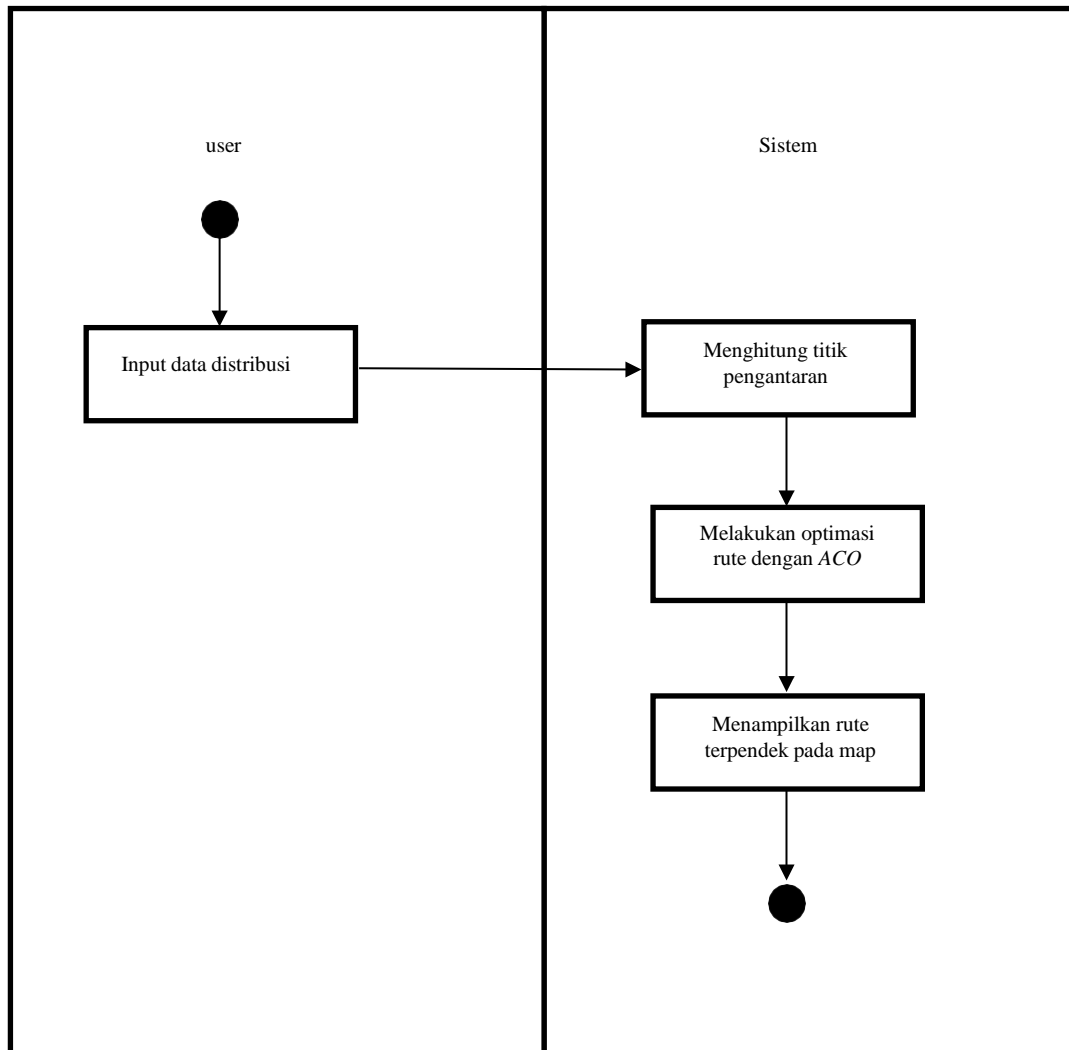


Gambar 3.3. Use Case Diagram Pada Sistem

Penggunaan akan memiliki tiga kasus menu, seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.3, yang mengolah data yang diperoleh oleh user, sehingga memiliki 2 faktor utama dalam penggunaan system. Yaitu pengolahan data distribusi yang bertujuan menempatkan sekaligus menginput titik distribusi untuk diolah, lalu melakukan proses optimasi system dengan *Ant Colony* sehingga sistem mampu memilah hasil berupa rute terpendek yang telah dieleminasi sesuai dengan banyaknya siklus yang terjadi, sehingga memiliki dan menampilkan output berupa jarak terpendek untuk dilalui oleh kurir.

3.5.2 Activity Diagram

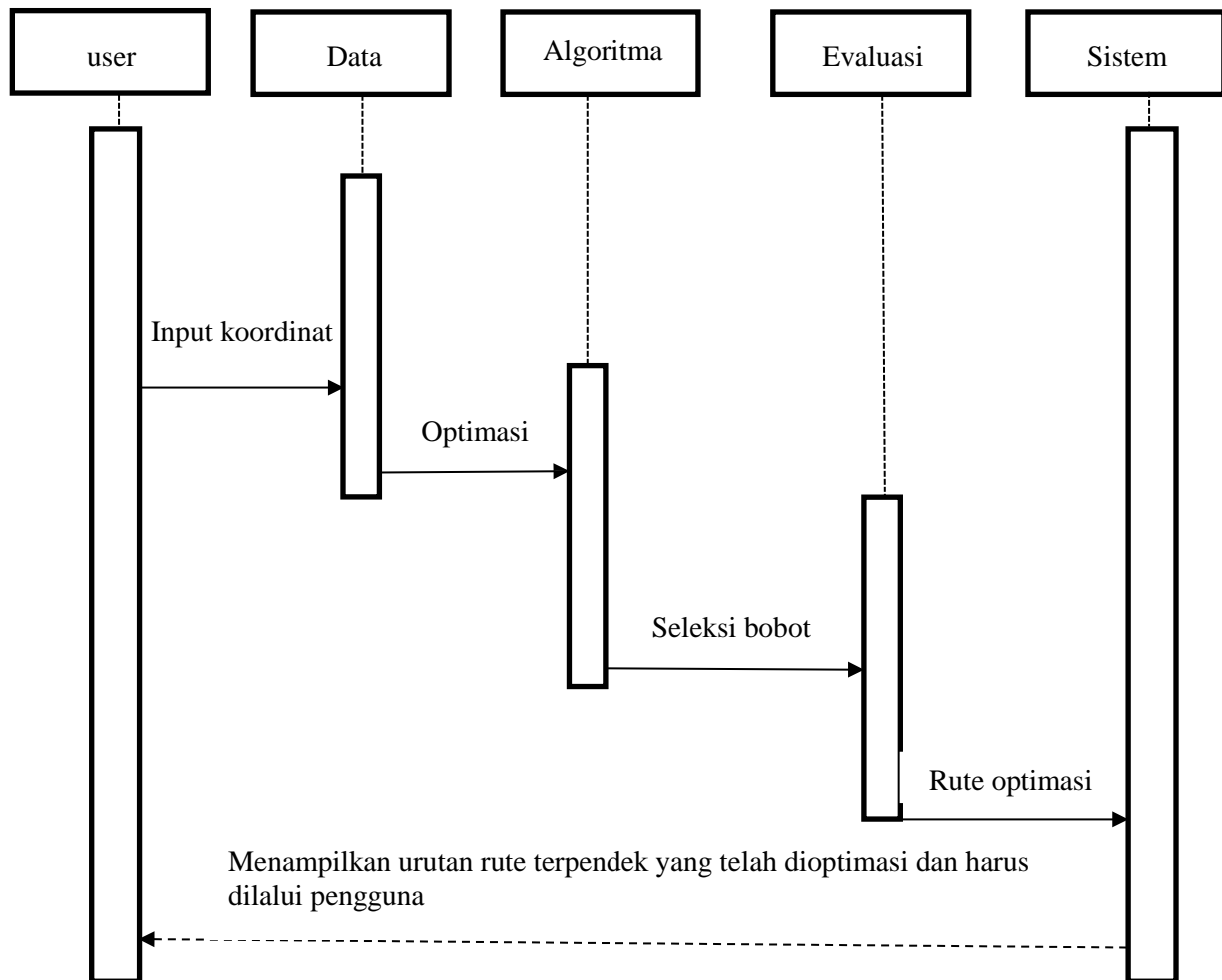
Activity Diagram dalam ulasan ini, user dan kerangka kerja merupakan subjek mendasar dari tindakan kerja sama yang sangat terkait. Garis besar gerakan ini juga menunjukkan tingkat penggunaan kerangka kerja sejak awal sejauh mungkin., lihat Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Activity Diagram Pada Sistem

3.5.3 Sequence Diagram

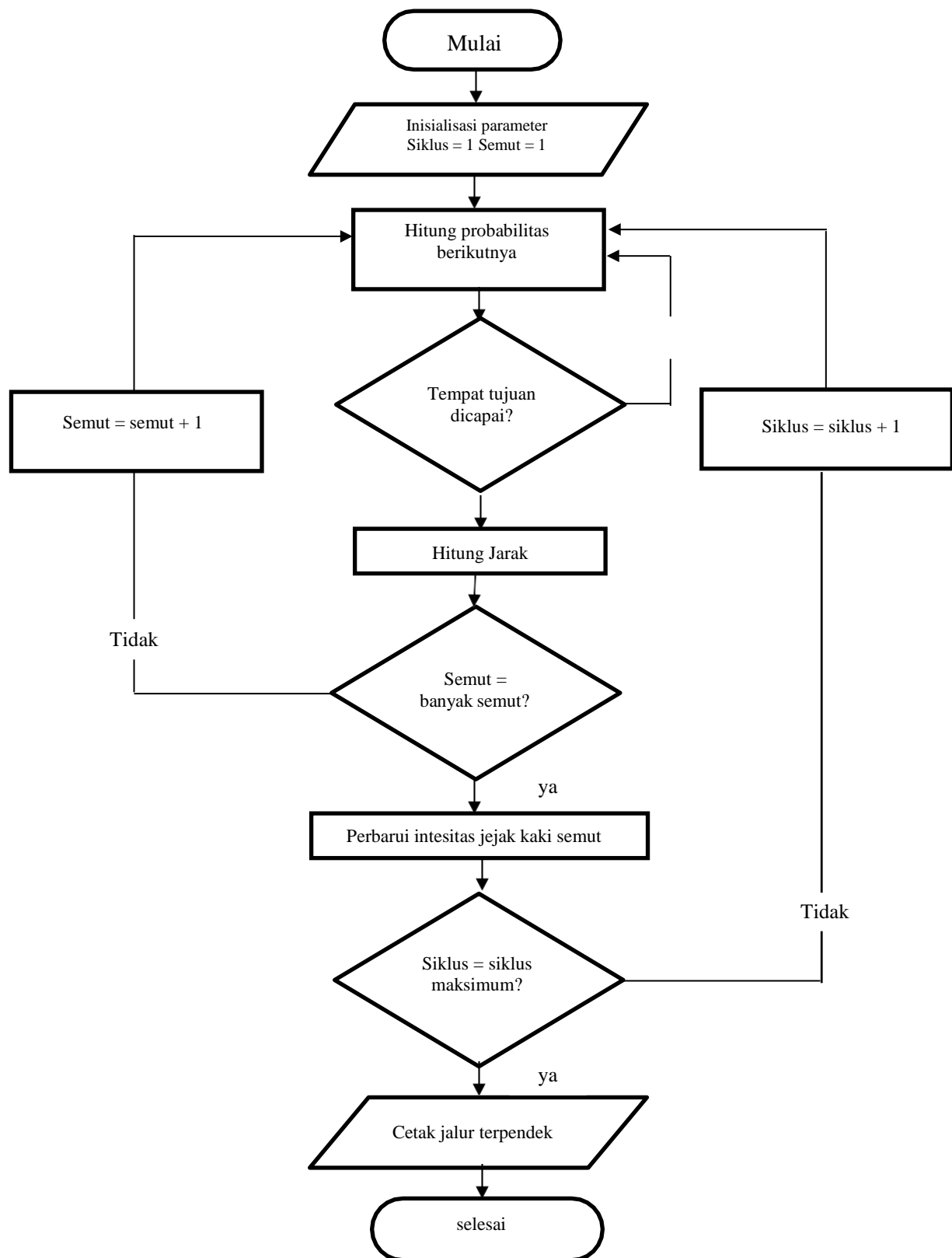
Sequence diagram dalam desain grafik yang sensitif terhadap waktu, hal ini ditampilkan sebagai hubungan antara bagian-bagian kerangka kerja. Kolaborasi bagian kerangka kerja juga digambarkan dalam bagan urutan untuk menciptakan kelonggaran berikutnya yang akan terlihat pada Gambar 3.5 di bawah ini.



Gambar 3.5. Sequence Diagram Pada Sistem

3.6 Flowchart

Flowchart adalah gambar yang berisi simbol grafis tertentu yang merincialiran proses dan hubungan di antara mereka. Flowchart biasanya digunakan terutama sebagai bantuan untuk komunikasi dan untuk dokumentasi. Berikut penjelasan *Flowchart* yang dapat dilihat pada gambar 3.6.



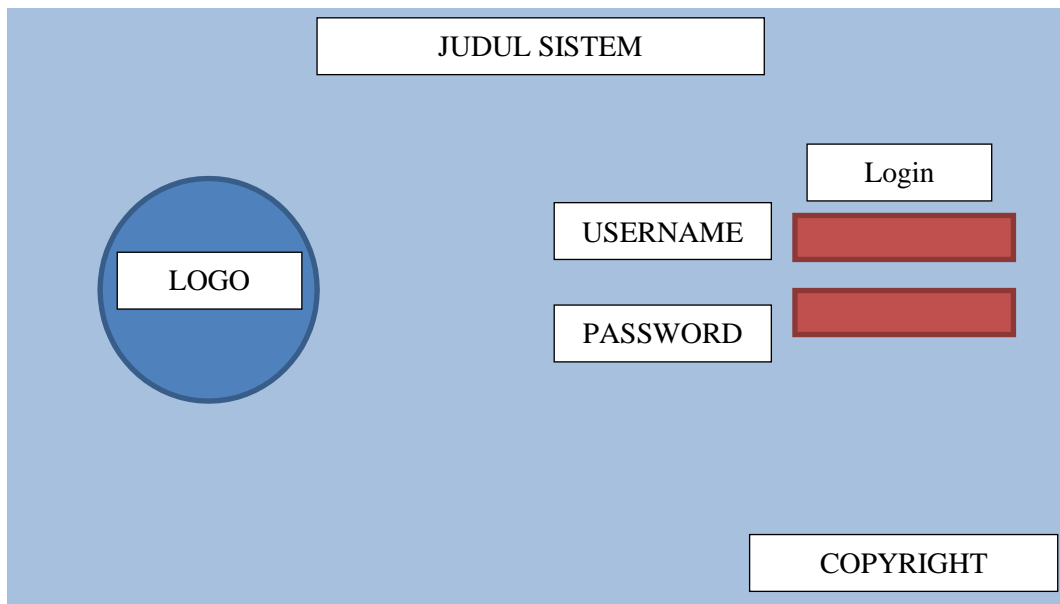
Gambar 3.6. Flowchart Sistem

3.7 Perancangan Antar Muka (*Interface*)

Perancangan antar muka adalah perancangan tampilan suatu sistem agar pengguna dapat dengan mudah berinteraksi untuk menjalankan fungsi-fungsi sistem. Terdapat empat buah halaman yang akan ditampilkan yaitu Halaman Login, Halaman Utama, Halaman optimasi, Halaman Pengaturan.

3.8 Rancangan Halaman Login

Rancangan terdiri dari login form yang dapat diakses, berisi username box serta password yang diisi oleh admin, lihat Gambar 3.7.

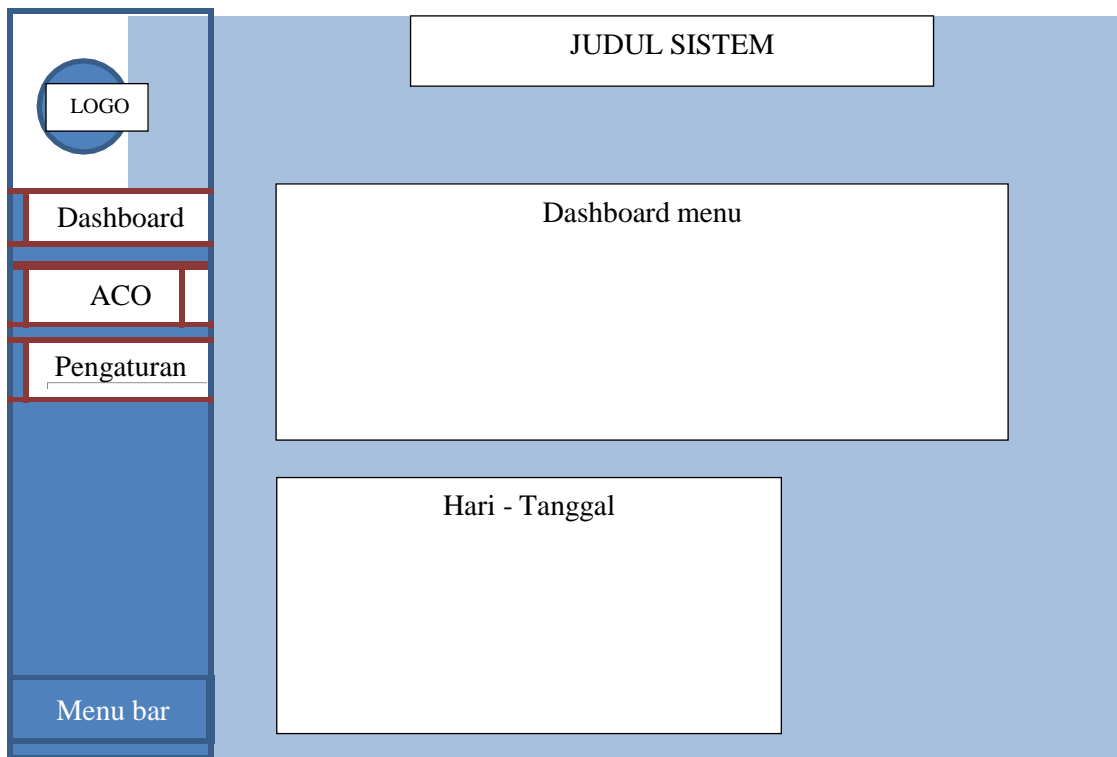


The diagram illustrates the layout of a login page. It features a light blue background. At the top center is a white rectangular box labeled "JUDUL SISTEM". On the left side, there is a blue circle containing a white rectangular box labeled "LOGO". To the right of the logo, there are two stacked white rectangular boxes labeled "USERNAME" and "PASSWORD". To the right of these boxes are two corresponding red rectangular input fields. Above the input fields is a white rectangular box labeled "Login". At the bottom right corner, there is a white rectangular box labeled "COPYRIGHT".

Gambar 3.7. Rancangan Halaman Login

3.9 Rancangan Halaman Dashboard

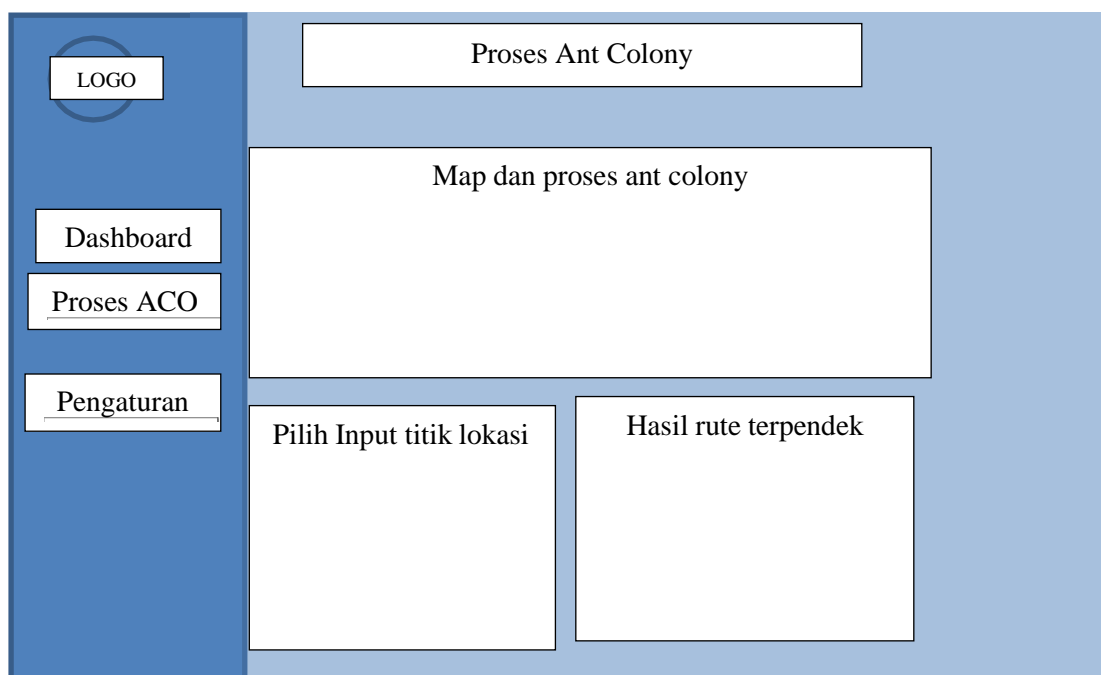
Halaman dashboard adalah mencoba memantau data distribusi yang telah diinput oleh admin. Konsekuensi dari tahap ini dapat dilihat pada Gambar3.7.



Gambar 3.8. Rancangan Halaman Dashboard

3.10 Rancangan Halaman Proses ACO

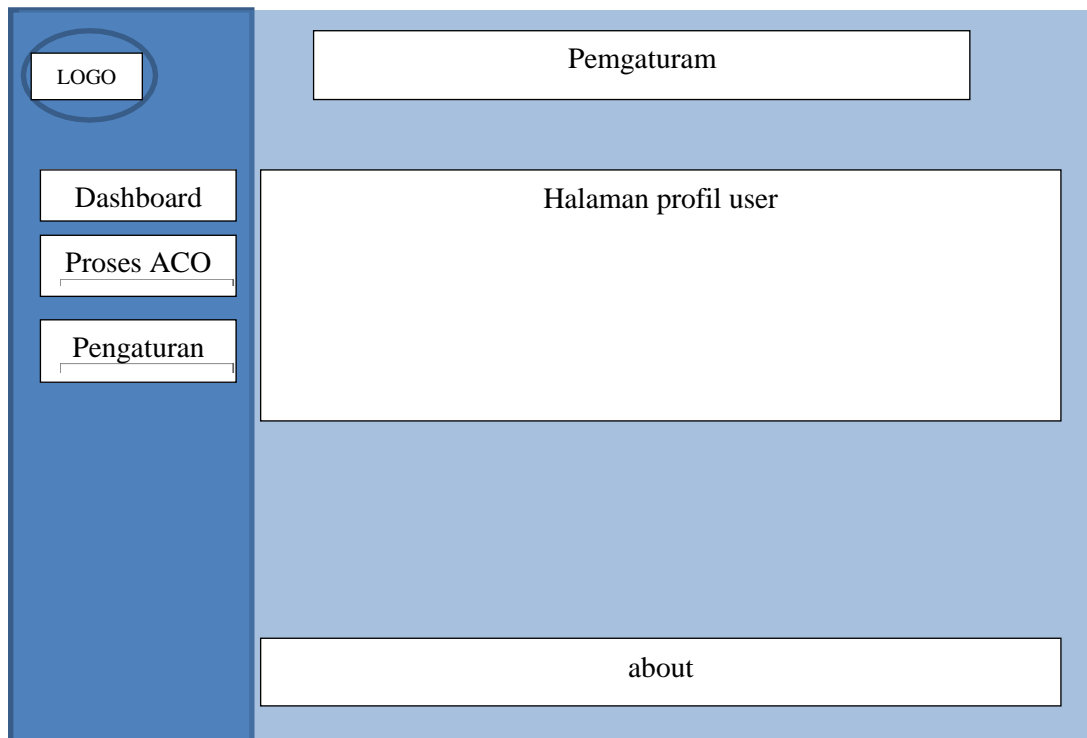
Halaman Hasil adalah tabel kerangka kerja yang digunakan untuk menunjukkan konsekuensi dari algoritma *Ant Colony Optimization* dalam melakukan proses optimasi yang ditunjukkan pada peta rute distribusi. Konsekuensi dari tahap Eksekusi dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.9. Rancangan Halaman Proses ACO

3.11 Rancangan Halaman Pengaturan

Halaman Pengaturan adalah sebuah kerangka kerja yang digunakan untuk mencakup halaman profile user dan tanda-tanda peringatan yang terkait dengan pembuatan aplikasi ini. Konsekuensi dari tahap Eksekusi dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.10. Rancangan Halaman Tentang Program

3.12 Rancangan Database

Rancangan database dalam pembangunan sistem ini yaitu memiliki dua tabel, yaitu tabel menu input titik koordinat beserta titik, serta tabel user login. Table menu titik koordinat berisikan variable berupa titik koordinat, graph, label titik, terminal point. Untuk table user login berisikan id user, level user, username, password dan email user tersebut.

BAB IV

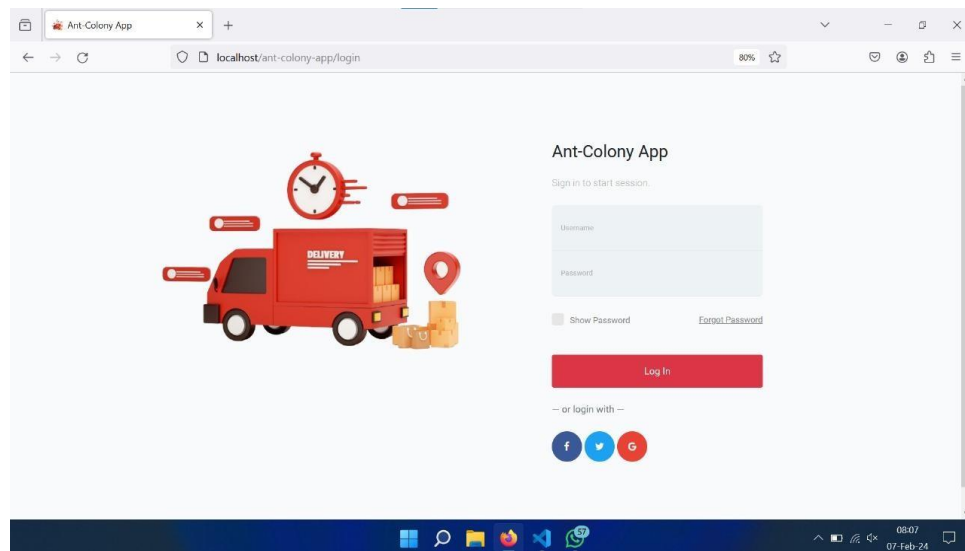
IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN SISTEM

4.1 Implementasi Perancangan Antar Muka

Pada penerapan perancangan antar muka digunakan Bahasa *PHP*, *MySQL* dan *Code Igniter*, dengan bantuan software *notepad++* serta *XAMPP*. Adapun penerapan dari perancangan antar muka yang telah dipaparkan dan dianalisis pada system adalah sebagai berikut:

4.2 Halaman Login

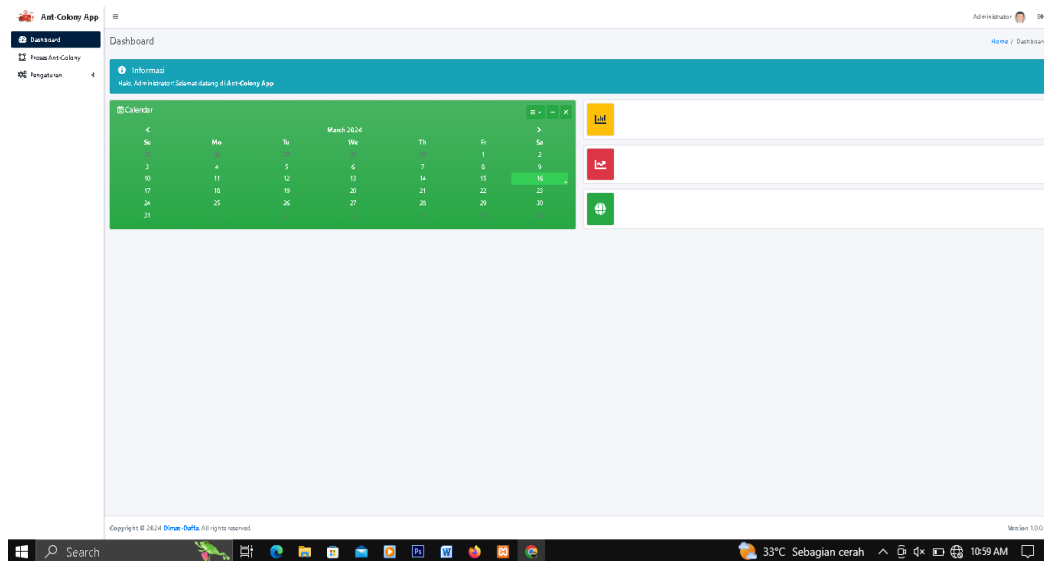
Halaman utama adalah halaman yang pertama sekali muncul ketika pengguna menjalankan system berisikan menu login form admin, menu pemilihan lupa password, menu akses sosial media seperti yang ditampilkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Halaman Login

4.3 Halaman Dashboard

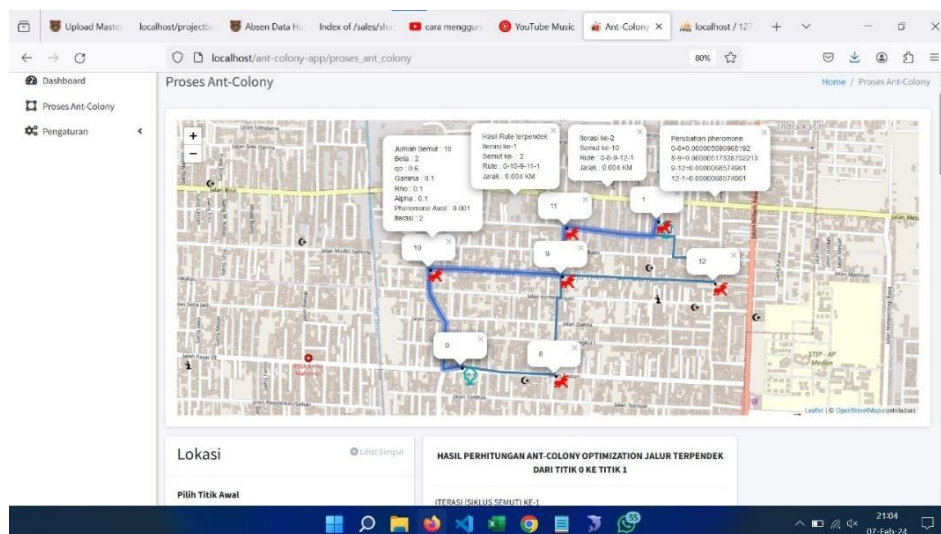
Halaman dashboard adalah halaman yang berisi data-data distribusi yang telah diinput untuk ditampilkan sebagai informasi distribusi harian. Selain itu, terdapat sebuah menu hari dan tanggal untuk membantu memudahkan memberikan informasi atau memberikan pengingat aktifitas distribusi pada halaman ini. Selanjutnya, Untuk melihat tahap eksekusi, lihat Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Halaman Dashboard

4.3 Halaman Proses ACO

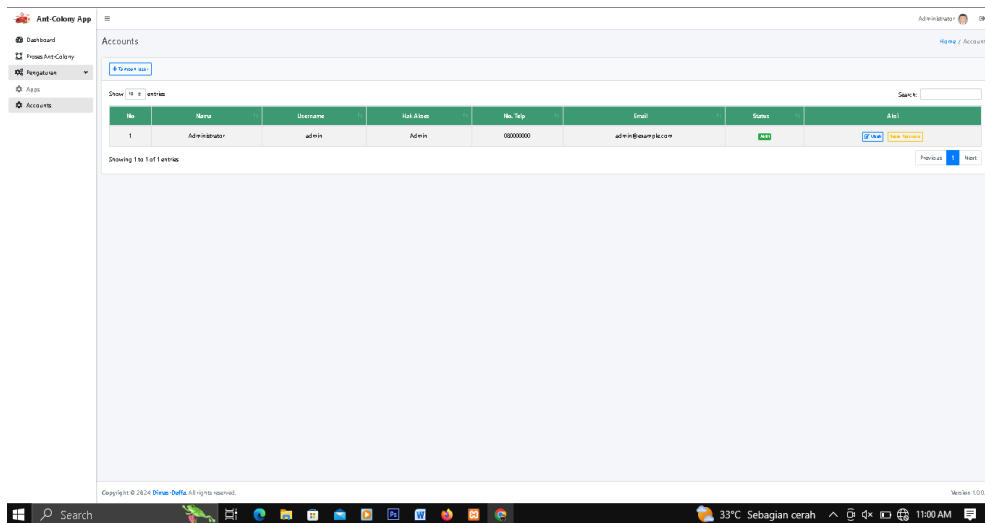
Halaman proses *Ant Colony Optimization* adalah menu atau fungsi utama yang berisi proses Algoritma optimasi tentang rute titik alamat distribusi dan penentuan rute terpendek. Anda dapat melihat hasilnya dengan melihat Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Halaman Hasil

4.4 Halaman Pengaturan

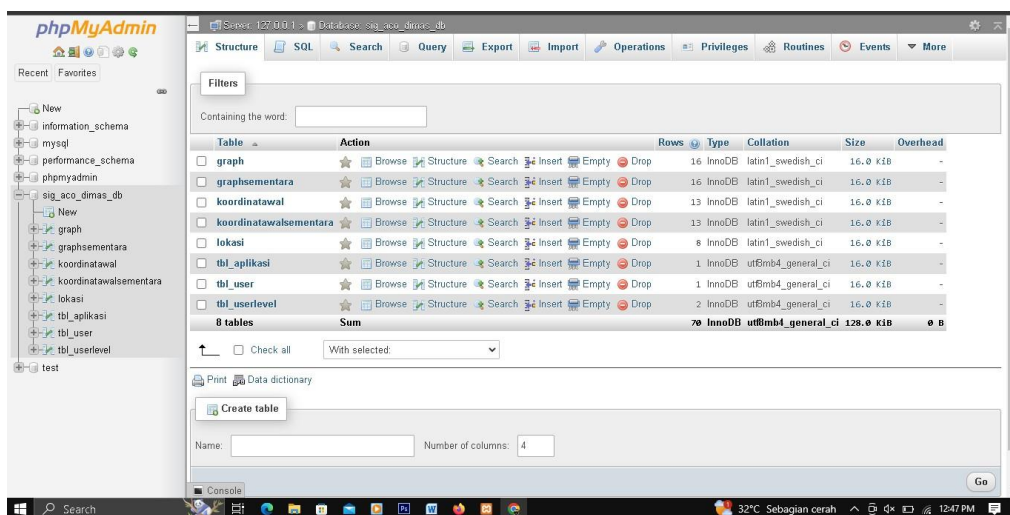
Halaman Tentang Program adalah kumpulan data yang berisi data pada backend kerangka kerja yang dibuat dan diverifikasi untuk proposal properti manusia. Anda dapat melihat hasilnya dengan melihat Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Halaman Pengaturan

4.5 Database

Rancangan database berupa data yang telah diinput yaitu titik koordinat serta user login. Anda dapat melihat rancangan dengan melihat Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Database sistem

4.6 Pengujian Sistem

Sistem yang sedang dibuat menggunakan *Ant Colony Optimization* dan perhitungan rute terpendek.

Objektif pengujian sistem penentuan rute terpendek menggunakan ant colony optimization (ACO) dapat bervariasi tergantung pada kebutuhan spesifik proyek dan konteksnya. Namun, beberapa objektif umum yang dapat diidentifikasi termasuk :

1. Meningkatkan Efisiensi Rute

Mengukur kemampuan sistem dalam menemukan rute terpendek antara titik-titik yang ditentukan dalam jaringan transportasi atau distribusi. Pengujian ini mencakup perbandingan antara rute yang dihasilkan oleh ACO dengan metode lain atau rute optimal yang diketahui.

2. Eksplorasi Parameter

Memeriksa bagaimana parameter tertentu dalam algoritma ACO (seperti tingkat penguapan feromon, intensitas feromon awal, jumlah semut, dll.) memengaruhi kinerja sistem. Ini bisa melibatkan uji coba dengan variasi parameter untuk menentukan konfigurasi terbaik.

3. Stabilitas dan Konvergensi

Menguji stabilitas algoritma *ACO* dan kemampuannya untuk mencapai solusi konvergen secara konsisten. Hal ini termasuk mengamati perilaku algoritma saat diterapkan pada berbagai kasus uji yang berbeda.

4. Pengaruh Ukuran Jaringan

Mengukur kinerja sistem saat skala masalah diperbesar, misalnya, dengan meningkatkan jumlah titik dalam jaringan. Ini membantu menentukan apakah algoritma *ACO* tetap efektif ketika dihadapkan dengan masalah yang lebih kompleks.

5. Analisis Sensitivitas

Menilai sensitivitas algoritma terhadap perubahan topologi jaringan, batasan fisik, atau kondisi lingkungan lainnya. Ini dapat membantu dalam mengidentifikasi batasan dan kelemahan dari pendekatan *ACO*.

6. Kompleksitas Waktu dan Ruang

Mengukur waktu eksekusi dan kebutuhan memori dari algoritma *ACO*, terutama saat diberikan masalah dengan ukuran yang berbeda-beda.

7. Perbandingan dengan Metode Lain

Melakukan perbandingan kinerja *ACO* dengan metode optimasi lainnya, seperti algoritma genetika, algoritma pencarian tabu, atau metode heuristik lainnya.

8. Uji Kasus Nyata

Menguji sistem pada dataset kasus nyata untuk memvalidasi kinerja situasi praktis.

9. Analisis Sensitivitas Terhadap Parameter Input

Mengidentifikasi bagaimana perubahan dalam parameter masukan (seperti jarak antara titik, kebutuhan waktu, atau kendala lainnya) mempengaruhi solusi yang dihasilkan.

Dalam semua pengujian ini, penting untuk memperhatikan tujuan spesifik dari aplikasi yang digunakan dan memastikan bahwa kriteria evaluasi dan metrik yang dipilih sesuai dengan kebutuhan praktis dan teoritis dari masalah yang diselesaikan.

Sistem dan Data Distribusi

Sebelum melakukan pengujian, peneliti telah melakukan penelitian tentang system dan tata cara distribusi oleh pihak kurir J&T Express, dan memperoleh data distribusi harian yang diberikan untuk dikelola dengan system optimasi penentuan rute terpendek dengan metode *Ant Colony Optimization* agar mendapati hasil uji dari system tersebut.

Aktifitas distribusi harian dilakukan oleh kurir J&T Express secara bergantian selama 5 sampai 7 titik pengantaran, dengan batasan wilayah antar cabang yang sudah disesuaikan dengan wilayah cabang J&T Express masing-masing. Adapun perolehan data distribusi adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data titik terminal point

1. Terminal Point (J&T Express Cabang Tuasan)

Nama tempat	Titik Koordinat pada MAP
J&T Cb. Tuasan	3.616137463808759, 98.6968601602144

Tabel 4.2 Data titik distribusi

2. Jadwal & Rute Pengiriman

Daftar Jadwal Pengiriman	Titik Koordinat Lokasi Pengiriman
Senin Juli 2023 (7 titik Pengantaran)	3.6214490851734435, 98.70400475066816
	3.6283125751899257, 98.6989349680932
	3.5855598735756042, 98.71118231426986
	3.59864033230753, 98.74082213626598
	3.5904388656429878, 98.74695352618448
	3.589668482584662, 98.73985418179986
	3.588542342381868, 98.72235074527782

4.7 Perhitungan Graf koordinat secara manual

Sebelum dilakukan penginputan pada system optimasi *ACO* untuk diuji, peneliti melakukan perhitungan graf koordinat secara manual pada semua titik koordinat yang diperoleh dari data tersebut untuk melihat rute nilai bobot terdekat dan dilalui secara repetitif.

1. Terminal Point Titik: (3.616137463808759, 98.6968601602144)

Graf :

(3.6214490851734435, 98.70400475066816), 0.008902723980544813)

(3.6283125751899257, 98.6989349680932), 0.01235063418929317),

(3.5855598735756042, 98.71118231426986), 0.03376556117192718)

(3.59864033230753, 98.74082213626598), 0.04731601155138414)

(3.5904388656429878, 98.74695352618448), 0.0563006506347719)

(3.589668482584662, 98.73985418179986), 0.05048854185983547)

(3.588542342381868, 98.72235074527782), 0.03756674930627438).

2. Titik: (3.6214490851734435, 98.70400475066816)

Graf :

(3.616137463808759, 98.6968601602144) 0.008902723980544813)

(3.6283125751899257, 98.6989349680932), 0.008532888758430841)

(3.5855598735756042, 98.71118231426986), 0.036599903392918194)

(3.59864033230753, 98.74082213626598), 0.043310034513452625)

(3.5904388656429878, 98.74695352618448), 0.05297387123552992)

(3.589668482584662, 98.73985418179986), 0.04790812471149519)

(3.588542342381868, 98.72235074527782), 0.03767531339443103)

3. Titik: (3.6283125751899257, 98.6989349680932)

Graf :

(3.616137463808759, 98.6968601602144), 0.01235063418929317)

(3.6214490851734435, 98.70400475066816), 0.008532888758430841)

(3.5855598735756042, 98.71118231426986), 0.044472362020633247)

(3.59864033230753, 98.74082213626598), 0.05133202562929366)

(3.5904388656429878, 98.74695352618448), 0.06115717289093751)

(3.589668482584662, 98.73985418179986), 0.05628274996529007)

(3.588542342381868, 98.72235074527782), 0.046151598442167374)

4. Titik: (3.5855598735756042, 98.71118231426986)

Graf :

(3.616137463808759, 98.6968601602144), 0.03376556117192718)

(3.6214490851734435, 98.70400475066816), 0.036599903392918194)

(3.6283125751899257, 98.6989349680932), 0.044472362020633247)

(3.59864033230753, 98.74082213626598), 0.032397800058011635)

(3.5904388656429878, 98.74695352618448), 0.036102412183043164)

(3.589668482584662, 98.73985418179986), 0.028964748499630034)

(3.588542342381868, 98.72235074527782), 0.01155979979756962)

5. Titik: (3.5904388656429878, 98.74695352618448)

Graf :

(3.616137463808759, 98.6968601602144), 0.0563006506347719)

(3.6214490851734435, 98.70400475066816), 0.05297387123552992)

(3.6283125751899257, 98.6989349680932), 0.06115717289093751)

(3.5855598735756042, 98.71118231426986), 0.036102412183043164)

(3.59864033230753, 98.74082213626598), 0.010240019422949337)

(3.589668482584662, 98.73985418179986), 0.007141020987792967)

(3.588542342381868, 98.72235074527782), 0.02467577007554516)

6. Titik: (3.588542342381868, 98.72235074527782)

Graf:

(3.616137463808759, 98.6968601602144), 0.03756674930627438)

(3.6214490851734435, 98.70400475066816), 0.03767531339443103)

(3.6283125751899257, 98.6989349680932), 0.046151598442167374)

(3.5855598735756042, 98.71118231426986), 0.01155979979756962)

(3.59864033230753,98.74082213626598),0.021051405786218107)

(3.5904388656429878,98.74695352618448),0.02467577007554516)

(3.589668482584662, 98.73985418179986), 0.017539626046105625)

7. Titik : (3.589668482584662, 98.73985418179986)

Graf :

(3.616137463808759, 98.6968601602144), 0.05048854185983547)

(3.6214490851734435, 98.70400475066816), 0.04790812471149519)

(3.6283125751899257, 98.6989349680932), 0.05628274996529007)

(3.5855598735756042, 98.71118231426986), 0.028964748499630034)

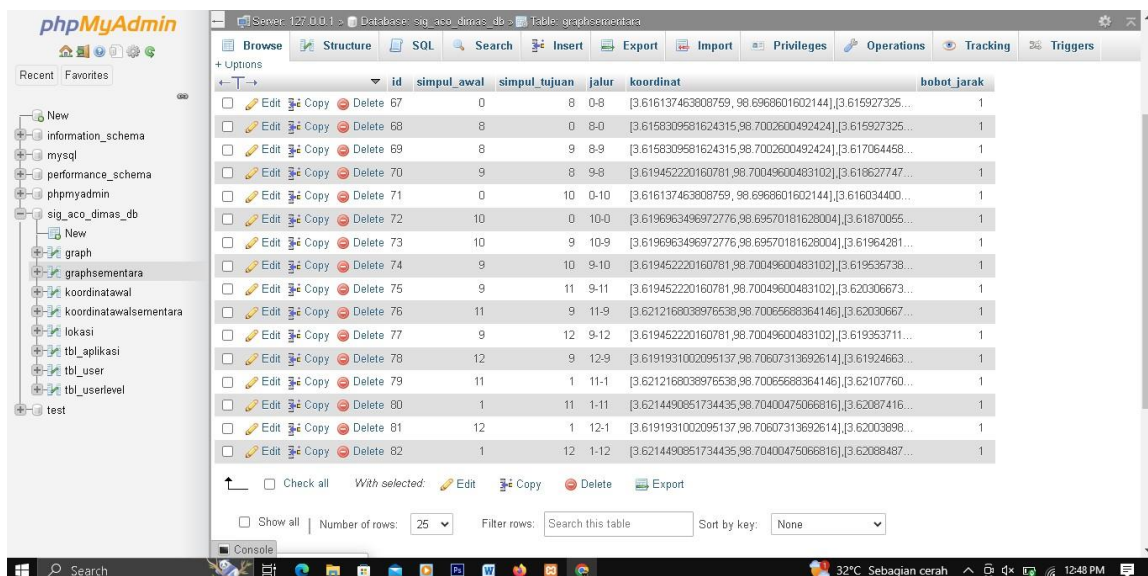
(3.59864033230753, 98.74082213626598), 0.00902391396779723)

(3.5904388656429878, 98.74695352618448), 0.007141020987792967)

(3.588542342381868, 98.72235074527782), 0.017539626046105625)

4.8 Input data pada Database

Pada tahap ini admin yang telah memperoleh data distribusi melakukan input titik koordinat alamat distribusi ke dalam database system. Berikut gambaran input data distribusi oleh admin :



Gambar 4.6 input data koordinat pada database

Berikut adalah deskripsi tabel yang akan digunakan pada database :

Tabel 4.3 Tabel Data Graph sementara

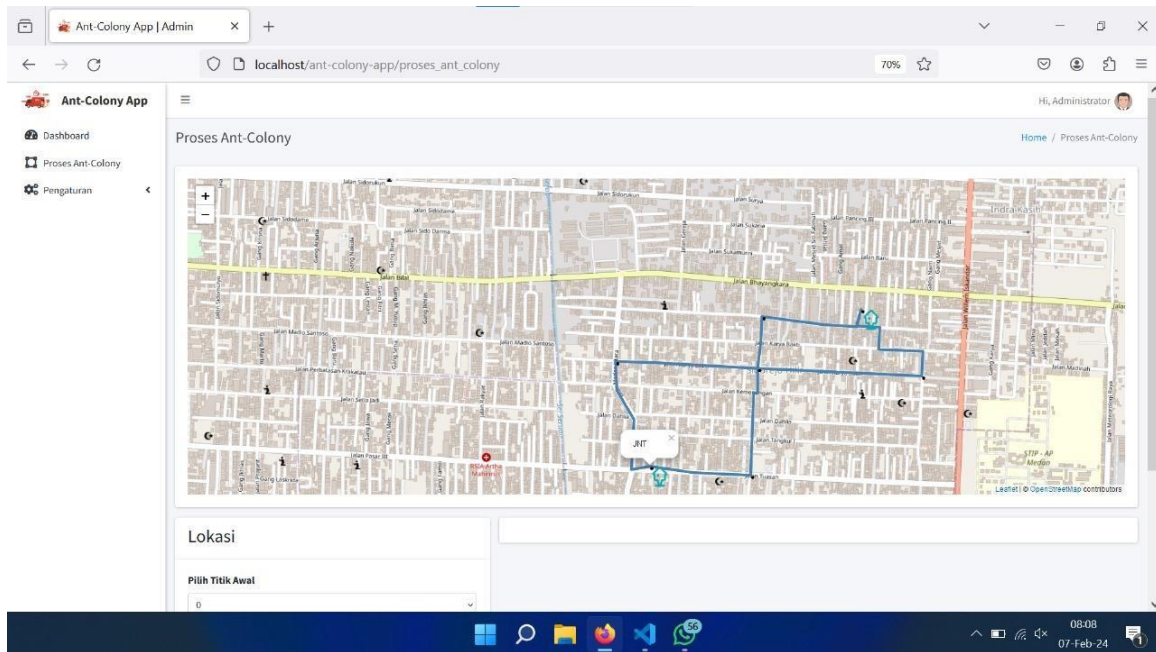
Nama Field	Tipe Data	Deskripsi
Id	Integer (11)	Berupa nilai ID
Simpul_awal	Integer (11)	Berupa label simpul titik awal
Simpul_tujuan	Integer (11)	Berupa label simpul titik tujuan
jalur	Varchar (50)	Jalur antar simpul
koordinat	text	Koordinat titik alamat
Bobot_jarak	double	Nilai bobot jarak

Tabel 4.4 Tabel user

Nama Field	Tipe Data	Deskripsi
Id	Integer (10)	Berupa nilai ID admin
nama	Varchar (45)	Berupa nama admin
No_telp	Varchar (15)	Berupa nomor telepon admin
email	Varchar (50)	Berupa nilai role admin
username	Varchar (15)	Berupa username admin
password	Varchar (225)	Berupa password admin
photo	Varchar (25)	Berupa photo admin
Id_level	Integer (4)	Berupa nilai level user
status	Enum("1","0")	Berupa status admin

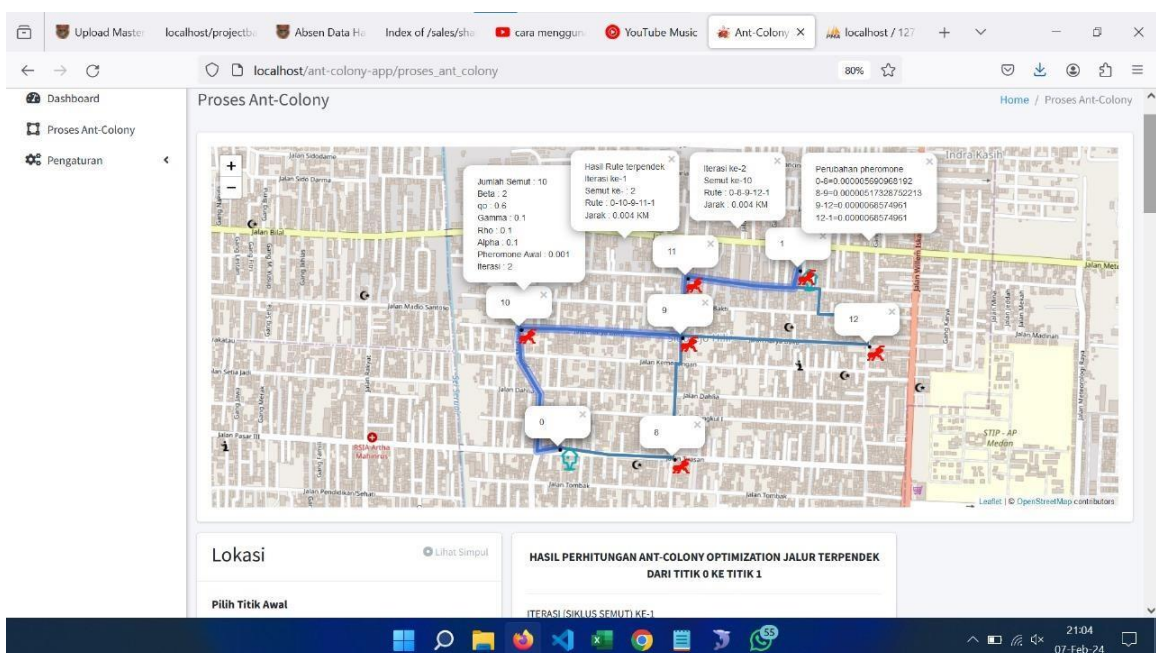
4.9 Memulai proses optimasi rute

Setelah tahap input data distribusi pada database, tahap selanjut nya adalah user bisa memulai tahap optimasi pada halaman proses *Ant Colony Optimization* yang ada pada menu system. Tahap ini user dapat melihat titik pada peta dan melihat proses optimasi yang akan menampilkan output berupa rute terpendek dan jalur yang harus dilalui pada peta. Adapun proses nya dapat dilihat sebagai berikut seperti pada gambar 4.7 :



Gambar 4.7 tampilan titik pada maps sebelum di optimasi

Pada gambar 4.7, peta menampilkan titik 0-8-9-12-1 yang telah diinput oleh admin melalui database dan telah dihubungkan satu sama lain namun belum dilakukan optimasi dengan algoritma. Pada tahap ini user harus memilih titik awal dan titik akhir pada fitur yang tertera pada menu lokasi pada bagian bawah peta. Jika user telah memilih titik tersebut, maka proses optimasi akan berjalan, dan akan menunjukkan hasil output seperti pada gambar 4.8 berikut :



Gambar 4.8 tampilan titik pada maps sesudah di optimasi

Pada tahap setelah dilakukannya optimasi pencarian rute terpendek, system menampilkan beberapa keterangan sebagai berikut :

1. Hasil rute terpendek

Iterasi ke : 1 (proses iterasi yang berlangsung).
 Semut ke : 2 (urutan semut yang menemukan jalur rute terpendek) .
 Rute : 0-10-9-11-1 (urutan label rute terpendek yang telah ditemukan) .
 Jarak : 4 Km (panjang jarak rute terpendek)

2. Perubahan Pheromone

0-8 : 0.000005690968192 (pheromone pada jalur titik 0 ke titik 8).
 8-9 : 0.00000517328752213 (pheromone pada jalur titik 8 ke titik 9).
 9-12 : 0.00000068574961 (pheromone pada jalur titik 9 ke titik 12).
 12-1 : 0.00000068574961 (pheromone pada jalur titik 12 ke titik 1).

Peneliti juga menyiapkan tabel sebagai perbandingan data yang diperoleh sebelum dan setelah proses optimasi menggunakan system, beserta keterangan rute dan jarak antar titik, berikut data yang belum teroptimasi pada tabel 4.5:

Tabel 4.5 Data titik sebelum di optimasi

Label titik Pengiriman	Titik Koordinat Lokasi Pengiriman
0	3.6214490851734435, 98.70400475066816
8	3.6283125751899257, 98.6989349680932
9	3.5855598735756042, 98.71118231426986
11	3.588542342381868, 98.72235074527782
12	3.59864033230753, 98.74082213626598
10	3.589668482584662, 98.73985418179986
1	3.5904388656429878, 98.74695352618448
Total Jarak	4.8 Km (30 Km/jam = 20 menit)

Tabel 4.6 Data titik setelah di optimasi

Label titik Pengiriman	Titik Koordinat Lokasi Pengiriman
0	3.6214490851734435, 98.70400475066816
10	3.589668482584662, 98.73985418179986
9	3.5855598735756042, 98.71118231426986
11	3.588542342381868, 98.72235074527782
1	3.5904388656429878, 98.74695352618448
8	3.6283125751899257, 98.6989349680932
12	3.59864033230753, 98.74082213626598
Total	4 Km (30 Km/jam = 14 menit)

4.10 Analisis Ant Colony Optimization

Peneliti juga melakukan analisis algoritma yang terjadi pada proses system, berikut analisis algoritma *Ant Colony Optimization* :

Iterasi semut ke -1

Semut ke-1
Rute = 0-8-9-10
Jarak = 3 KM

Semut ke-2
Rute = 0-10-9-8
Jarak = 3 KM

Semut ke-3
Rute = 0-8-9-10
Jarak = 3 KM

Semut ke-4
Rute = 0-8-9-11-1
Jarak = 4 KM

Semut ke-5
Rute = 0-8-9-12-1
Jarak = 4 KM

Semut ke-6
Rute = 0-10-9-11-1
Jarak = 04 KM

Semut ke-7
Rute = 0-8-9-12-1
Jarak = 4 KM

Semut ke-8
Rute = 0-10-9-11-1
Jarak = 4 KM

Semut ke-9
Rute = 0-10-9-8
Jarak = 3 KM

Semut ke-10
Rute = 0-10-9-8
Jarak = 3 KM

Jarak terbaik iterasi ke -1

Semut ke-4
Rute = 0-8-9-11-1
Jarak = 4 KM

Iterasi semut ke -2

Semut ke-1
Rute = 0-8-9-10
Jarak = 3 KM

Semut ke-2
Rute = 0-10-9-11-1
Jarak = 4 KM

Semut ke-3
Rute = 0-8-9-12-1
Jarak = 4 KM

Semut ke-4
Rute = 0-10-9-11-1
Jarak = 4 KM

Semut ke-5
Rute = 0-8-9-12-1
Jarak = 4 KM

Semut ke-6
Rute = 0-10-9-11-1
Jarak = 4 KM

Semut ke-7
Rute = 0-8-9-12-1

Semut ke-8
Rute = 0-10-9-8

Jarak = 4 KM

Jarak = 3 KM

Semut ke-9

Semut ke-10

Rute = 0-8-9-11-1

Rute = 0-10-9-8

Jarak = 4 KM

Jarak = 3 KM

Jarak terbaik iterasi ke – 2

Semut ke-2

Rute = 0-10-9-11-1

Jarak = 4 KM (Hasil Rute Terpendek)

Waktu = 0.009345797697703.

Menghitung Pheromone

Berikut adalah analisis serta perhitungan feromon tiap titik serta rute dari koordinat yang diperoleh :

1. Titik pertama

$$\sqrt{(3.6214490851734435-3.600287364120719)+(98.70400475066816-98.86630038035117)}$$

$$\text{Jarak} \approx \sqrt{0.0004492321211102587+0.02651230848179285}$$

$$\text{Jarak} \approx \sqrt{0.026961540602903108}$$

$$\text{Jarak} \approx 0.1642225011559577$$

$$\text{Pheromone} \approx \frac{1}{0.16422250115595776}$$

$$\text{Pheromone} \approx 6.088547527478087$$

2. Titik kedua

$$\text{Jarak} \approx 0.13460962216513318$$

$$\text{Pheromone} \approx \frac{1}{0.13460962216513318}$$

$$\text{Pheromone} \approx 6.088547527478087$$

3. Titik ketiga

$$\text{Jarak} \approx 0.15620615826645217$$

$$\text{Pheromone} \approx \frac{1}{0.1562061582664521}$$

$$\text{Pheromone} \approx 6.399999999999999$$

4. Titik Keempat

$$\text{Jarak} \approx 0.1430200686558243$$

$$\text{Pheromone} \approx \frac{1}{0.1430200686558243}$$

$$\text{Pheromone} \approx 6.993871372006489$$

5. Titik Kelima

$$\text{Jarak} \approx 0.14016321930504957$$

$$\text{Pheromone} \approx \frac{1}{0.14016321930504957}$$

$$\text{Pheromone} \approx 7.13286211024711$$

6. Titik Keenam

$$\text{Jarak} \approx 0.028865289252391597$$

$$\text{Pheromone} \approx \frac{1}{0.028865289252391597}$$

$$\text{Pheromone} \approx 34.62126599812949$$

7. Titik Ketujuh

$$\text{Jarak} \approx 0.1568220915608491$$

$$\text{Pheromone} \approx \frac{1}{0.1568220915608491}$$

$$\text{Pheromone} \approx 6.377654582668442$$

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan kajian metodologi penelitian dan dari hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan uji yang telah dipaparkan, metode *Ant Colony Optimization* dapat di terapkan dengan baik kedalam sistem dan memberikan rekomendasi rute terbaik pada kurir untuk menemukan rute terpendek.

Label titik Pengiriman	Titik Koordinat Lokasi Pengiriman
0	3.6214490851734435, 98.70400475066816
10	3.589668482584662, 98.73985418179986
9	3.5855598735756042, 98.71118231426986
11	3.588542342381868, 98.72235074527782
1	3.5904388656429878, 98.74695352618448
8	3.6283125751899257, 98.6989349680932
12	3.59864033230753, 98.74082213626598
Total	4 Km (30 Km/jam = 14 menit)

Tabel 5.1 Hasil yang teroptimasi system

2. Selain memberikan informasi mengenai rute terbaik, system juga dinilai mampu meminimalisir penggunaan sumber daya yang diperlukan dalam kegiatan distribusi paket J&T serta meningkatkan pelayanan.
3. Software memiliki perbandingan waktu yang berpengaruh pada pengelolaan output karena hardware yang digunakan user dengan spesifikasi yang berbeda, namun dengan indicator waktu yang singkat, tetap tergolong efisien.

os	Processor	RAM	waktu
Windows 10	Core i3 gen 5	6gb	64.sec
Windows 10	Core i3 gen 9	16gb	25.sec

Tabel 5.2 perbandingan waktu pemrosesan output

5.2 Saran

Saran yang diharapkan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan system dengan platform android agar mempermudah pengguna dalam menggunakan optimasi rute sesuai yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Brucato, C. (2013). The Travelling Salesman Problem. Pittsburgh: University of Pittsburgh.
- Budayasa, I.K., 2007, Teori Graf dan Aplikasinya, Surabaya, Unesa University Press 2007.
- Dorigo, M., dan Socha K. (2007), An Introduction to Ant Colony Optimization, Tech.Rep/IRIDIA/2006-010, Université Libre de Bruxelles, Belgium.
- H. Huang, G Tan, L Jiang (2022), Robot Path Planning Using Improved Ant Colony Algorithm in the Environment of Internet of Things - Journal of Robotics, 2022.
- J.E. Bell et al. Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem Advanced Engineering Informatics (2004).
- JR Batmetan, A Santoso (2017) A multiple-objective ant colony algorithm for optimizing disaster relief logistics Advanced Science Letters, 2017.
- Kang B, Wang X, Liu F (2014) Path planning of searching robot based on improved and ant colony algorithm. J Jilin Univ Eng Technol Ed 44(04):1062–1068.
- Mutakhiroh, I., Saptono, F., Hasanah, N., dan Wiryadinata, R., (2007). Pemanfaatan Metode Heuristik Dalam Pencarian Jalur Terpendek Dengan Algoritma Semut dan Algoritma Genetik. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi. ISSN: 1907-5022. Yogyakarta.
- Pakpaha, F.S., (2015), Aplikasi Wisata Sumut Memanfaatkan Fasilitas Google Map Pada Smartphone Berbasis Android, Universitas Sumatra Utara, Medan, 2015.
- Prawidiya, Augridita, Pramono, Bambang (2017), Travelling Salesman Problem (TSP) untuk menentukan rute terpendek bagi kurir kota kendari menggunakan algoritma herusitik Universitas Halu Oleo, Kendari, 2017.
- Romelta, E., (2009), Metode Pencarian Lintasan Terpendek dalam Graf, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2009.
- Sinaga (2019), "Optimalisasi Rute Pengiriman Paket Pada Perusahaan Ekspedisi Dengan Penerapan Algoritma Genetika," Repositori USU, Medan, 2019.

Siyamtining Tyas, Yuliani, Prijodiprodjo (2013), Aplikasi Pencarian rute terbaik dengan Metode Ant Colony Optimization Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2013.

Tenda, E. (2014). Ant Colony Metaheuristic Optimization for Shortest Path Problem Solution in Real Road Network. 74-83.