

Rancang Bangun Aplikasi Pengiriman Barang Dengan Rute Terpendek Menggunakan Metode *Ant Colony Optimization* Pada PT Saka Mitra Usaha

Yohanes Krisantoro Adjie ¹⁾ Julianto Lemantara ²⁾ Agus Dwi Churniawan ³⁾

Program Studi/Jurusan Sistem Informasi
Universitas Dinamika

Jl. Raya Kedung Baruk 98 Surabaya, 60298

Email : 1)adjieyohanes22@gmail.com, 2)julianto@dinamika.ac.id, 3)agusdwi@dinamika.ac.id

Abstract: *PT Saka Mitra Usaha is a snacks intermediary towards small shop delivered by a motorist. The motorist doesn't have any clear guidelines regarding closest delivery route, which makes it possible that the route followed is not the closest one and more time will be wasted during travel made. The solution proposed is to make an android based application that gives a closest route recommendation to solve this problem, which is a Traveling Salesman Problem, where a courier needs to deliver items with the closest route as possible. The method chosen is Ant Colony Optimization, mainly the Ant System variant. Ant System is chosen because it has a lot of variables that can be modified in order to reach closest route, and also because the number of shop used is only 15 shops. The test results for 15 shops shown that the closest route available is 40.343 kilometers, reached using 8 ants and a combination of $a = 1.5$, $\beta = 1$, $\rho = 0.9$ or $a = 2$, $\beta = 1.5$, and $\rho = 0.5-0.9$. The application also gives the closest route recommendation and navigation helper in order to give the best route possible and shorten travel time.*

Keywords: *Traveling Salesman Problem, Ant Colony Optimization, Ant System.*

PT Saka Mitra Usaha adalah sebuah perusahaan swasta nasional yang terletak di Jalan Jemur Andayani XV No 20 Surabaya. PT Saka Mitra Usaha bergerak di bidang jasa *Outsourcing* Manajemen Sumber Daya Manusia, menjalin kerjasama dengan beberapa perusahaan besar dalam bidang makanan ringan berupa makanan dan minuman sebagai *Event Organizer* dalam proses mengenalkan produk-produk baru. Selain itu, PT Saka Mitra Usaha juga menjadi perantara dalam proses penjualan dan pengiriman produk makanan ringan kepada toko-toko kecil yang dilakukan oleh motoris

Motoris merupakan aktor utama dalam proses pengiriman barang. Di PT Saka Mitra Usaha terdapat 20 orang motoris yang siap melakukan pengiriman barang. Sesuai namanya, motoris bergerak melakukan pengiriman dengan mengendarai motor yang dibekali dengan tas pengiriman di sebelah kiri dan kanan motornya. Ruang lingkup kerja motoris ditentukan berdasarkan kota, yaitu Kota Surabaya dan Sidoarjo. Dari ruang lingkup tersebut, tiap-tiap motoris akan ditugaskan secara spesifik berdasarkan daerahnya, seperti Surabaya Utara, Surabaya Timur, ataupun Sidoarjo Barat. Motoris ditugaskan untuk melakukan pengiriman ke kurang lebih 15 toko setiap harinya.

Proses pengiriman barang pada PT Saka Mitra Usaha diawali dari pengambilan barang terlebih dahulu ke perusahaan. Setelah itu, motoris akan mulai bergerak membawa barang yang telah diambil ke toko-toko mitra. Motoris akan melakukan pengiriman ke semua toko mitra terlebih dahulu sebelum akhirnya kembali lagi ke perusahaan. Perjalanan ke toko mitra dilakukan oleh motoris berdasarkan kebiasaan motoris dalam melakukan pengiriman.

Terdapat permasalahan yang muncul dalam proses pengiriman barang, yaitu pada efisiensi perjalanan menuju toko-toko mitra, karena perjalanan dilakukan berdasarkan kebiasaan. Motoris tidak memiliki pedoman pasti mengenai rute terdekat yang harus dilalui saat berangkat hingga kembali ke perusahaan, memungkinkan rute yang dilalui bukanlah rute terdekat, sehingga perjalanan menjadi tidak efisien dan motoris membutuhkan waktu yang lebih banyak.

Pencarian rute terdekat dilakukan menggunakan metode *Ant Colony Optimization* (ACO), sebuah metode metaheuristik yang menirukan sikap koloni semut dalam menentukan rute terdekat antara makanan dan sarangnya (Dorigo & Stutzle, 2004). Dalam perjalanan dari sarang menuju sumber makanan

hingga kembali lagi ke sarang mereka, semut akan meninggalkan feromon, dan semut-semut lain akan melalui rute dengan feromon terbanyak, dimana rute dengan feromon terbanyak ini juga menjadi rute terpendek. Metode ACO dipilih dan digunakan pada rancang bangun aplikasi ini untuk menyelesaikan permasalahan *traveling salesman problem*, terutama untuk menemukan rute terpendek.

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan diatas, muncul sebuah kebutuhan sebuah sistem atau aplikasi yang dapat mengatasi masalah tersebut, sehingga dibuatlah Rancang Bangun Aplikasi Pengiriman Barang Dengan Rute Terpendek Menggunakan Metode Ant Colony Optimization Pada PT Saka Mitra Usaha.

METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam pembuatan aplikasi pencarian rute terpendek menggunakan model *waterfall* serta menggunakan metode *Ant Colony Optimization*. Berikut ini merupakan tahapan pada model *waterfall* menurut (Pressman, 2010) dan *Ant Colony Optimization*.

A. Communication

Tahapan *communication* terdapat dua tahapan yaitu *project initiation* dan *requirement gathering*.

1. Project Initiation

Pada *Project initiation*, dilakukan pengumpulan data dan informasi terlebih dahulu, yang akan dikerjakan melalui beberapa tahapan, yaitu wawancara, observasi, studi literatur, analisis proses bisnis, hingga identifikasi permasalahan. Wawancara dan observasi dilakukan untuk mendapatkan informasi secara jelas terkait kondisi permasalahan yang dihadapi.

Setelah wawancara dan observasi telah dilakukan, maka studi literatur dilakukan untuk membantu penyelesaian kondisi permasalahan saat ini. Dari hasil studi literatur, didapatkan bahwa metode *Ant Colony Optimization* merupakan metode yang tepat untuk menyelesaikan permasalahan yang ada.

Hasil wawancara, observasi, dan studi literatur akan digunakan untuk menyusun analisis proses bisnis dan identifikasi permasalahan. Analisis proses bisnis akan memberikan gambaran terkait proses bisnis yang sedang berlangsung saat ini, sedangkan

identifikasi masalah akan memberikan gambaran secara jelas terkait permasalahan yang ada. Hasil identifikasi permasalahan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Identifikasi Masalah

Permasalahan	Solusi
Tidak adanya pedoman resmi rute terdekat dari toko ke toko.	Memberikan rekomendasi rute keberangkatan hingga kembali menggunakan <i>Ant Colony Optimization</i>

Sumber: Adjie, 2021

2. Requirement Gathering

Requirement gathering digunakan untuk melakukan identifikasi pengguna, identifikasi data, analisis kebutuhan pengguna, analisis kebutuhan fungsional dan non fungsional, serta diagram IPO. Identifikasi pengguna digunakan untuk menentukan target atau sasaran pengguna aplikasi, yaitu motoris sebagai aktor utama pengiriman barang dan bagian keuangan sebagai aktor pengelola data-data yang digunakan. Pada identifikasi data digunakan dua data utama, yaitu data motoris dan data toko, dimana keduanya meliputi keseluruhan identitas motoris dan toko. Analisis kebutuhan pengguna digunakan untuk mengetahui fungsi atas kebutuhan data yang akan digunakan oleh pengguna terhadap aplikasi, untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Analisis Kebutuhan Pengguna

Kebutuhan Fungsi	Kebutuhan Data	Kebutuhan Informasi
Mengelola data master	<ul style="list-style-type: none"> Data Motoris Data Toko 	<ul style="list-style-type: none"> Informasi motoris Informasi toko
Memberikan penugasan toko dengan motoris	<ul style="list-style-type: none"> Data Motoris Data Toko 	<ul style="list-style-type: none"> Informasi ID motoris Informasi identitas toko
Melakukan pencarian rute terdekat	<ul style="list-style-type: none"> Data Motoris Data Toko 	<ul style="list-style-type: none"> Informasi ID motoris Informasi identitas toko Informasi titik koordinat toko

Sumber: Adjie, 2021

Analisis kebutuhan fungsional berkaitan dengan fungsi-fungsi yang berjalan pada aplikasi yang dirancang, sedangkan analisis kebutuhan non fungsional berhubungan dengan kinerja sistem secara umum, terutama terkait dengan standar dari berjalannya sistem. Diagram IPO berisi tentang informasi terkait seluruh data yang digunakan.

B. Planning

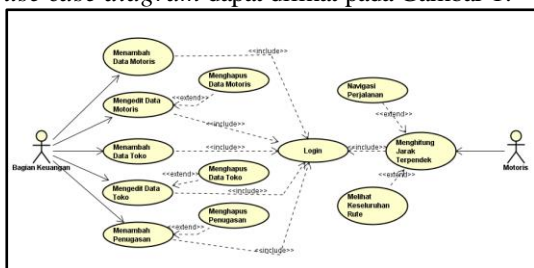
Proses *planning* atau perencanaan dilakukan untuk mengatur perencanaan pengerjaan aplikasi dimulai dari awal hingga akhir agar berjalan sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan. Bentuk dari tahapan *planning* adalah tabel penjadwalan terkait perancangan aplikasi.

C. Modeling

Tahapan utama dalam *modeling* adalah desain dan analisis, yang digunakan untuk merancang bentuk awal aplikasi yang akan dibuat. Bentuk awal yang dimaksud meliputi penggambaran alur sistem dan data dalam bentuk *use case diagram*, *activity diagram*, *sequence diagram*, *class diagram*, struktur tabel, hingga penggambaran awal bentuk desain *interface* aplikasi.

1. Use Case Diagram

Use case diagram digunakan untuk menjelaskan interaksi atau hubungan antara aktor dengan sistem yang akan dibuat. Bentuk *use case diagram* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Use Case Diagram (Adjie, 2021)

2. Activity Diagram

Activity diagram digunakan untuk menggambarkan *workflow* yang ada pada organisasi, menunjukkan keterkaitan sistem dengan manusia, serta memberikan kejelasan terhadap *use case diagram*. *Activity diagram* yang dibuat adalah *login*, pengelolaan toko, pengelolaan motoris, pengelolaan penugasan,

penghitungan rute terpendek, navigasi perjalanan, serta lihat keseluruhan rute.

3. Sequence Diagram

Sequence diagram digunakan untuk menggambarkan objek dan pesan yang terdapat didalam *use case diagram*. *Sequence diagram* yang dihasilkan adalah *login*, pengelolaan toko, pengelolaan motoris, pengelolaan penugasan, penghitungan rute terpendek, navigasi perjalanan, serta lihat keseluruhan rute.

4. Class Diagram

Class diagram merupakan sebuah diagram yang menggambarkan struktur dan penjelasan objek, paket, serta hubungan satu dengan yang lain. Pada *class diagram* terdapat aktor motoris dan keuangan, entitas tabel master motoris, master toko, dan master penugasan, serta *boundary* halaman utama, form, dan *control*.

5. Struktur Tabel

Struktur tabel menjelaskan bentuk tabel termasuk tipe data hingga karakteristik dari data-data tersebut. Tiga tabel utama yang dibentuk adalah tabel motoris, tabel toko, dan tabel penugasan.

6. Desain Rancangan Layar

Desain rancangan layar menggambarkan bentuk tampilan sistem yang nantinya akan dibuat. Desain rancangan layar yang dibuat adalah *login*, pengelolaan toko, pengelolaan motoris, pengelolaan penugasan, penghitungan rute terpendek, navigasi perjalanan, serta lihat keseluruhan rute.

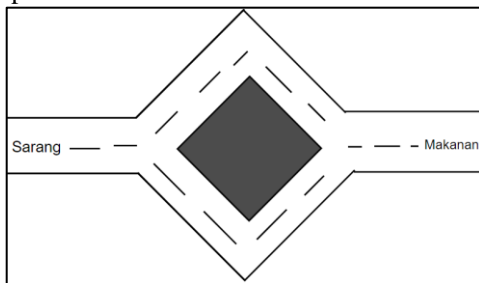
D. Ant Colony Optimization

Ant Colony Optimization (ACO) merupakan sebuah algoritma yang meniru cara bekerja koloni semut, yaitu dalam menemukan rute antara sarang dengan makanannya. Dalam pembuatan judul ini, variasi dari ACO yang digunakan oleh penulis merupakan variasi pertama yang ada dari sekian banyak variasi ACO yang lain, yaitu *Ant System*. Varian *Ant System* bukanlah sebuah varian yang kompetitif dalam penghitungan *Traveling Salesman Problem*, tetapi tetap digunakan oleh penulis karena:

1. Memiliki banyak kombinasi variabel yang mudah untuk diubah, sehingga dapat ditentukan sesuai kebutuhan sehingga dapat memenuhi jarak minimal.

2. Jumlah toko destinasi yang tidak terlalu banyak. *Ant System* dapat menunjukkan hasil yang optimal untuk destinasi hingga 75 kota. (Dorigo & Stutzle, 2010).

Dalam perjalanan hingga kembali ke sarangnya, para semut akan mengunjungi tiap node dan meninggalkan feromon yang nantinya akan diikuti oleh semut-semut lain. Semut cenderung mengikuti jalan dengan jumlah feromon terbanyak, dimana jarak dengan jumlah feromon terbanyak tersebut adalah jarak terpendek.



Gambar 2. Use Case Diagram (Adjie, 2021)

Secara matematis, rumus ACO dapat dituliskan sebagai berikut (Katiyar, Ibraheem, & Ansari, 2015):

$$P_{ij} = \frac{[\tau_{ij}]^a [\eta_{ij}]^\beta}{\sum \tau_{ij} [\tau_{ij}]^a [\eta_{ij}]^\beta} \quad (1)$$

Dimana P_{ij} merupakan probabilitas terpilihnya jalur i menuju j , τ_{ij} merupakan jejak feromon pada jalur i menuju j , dan η merupakan invers ($1 / d_{ij}$) dari jarak yang dilalui antar node. a dan β merupakan variabel yang digunakan untuk mempengaruhi beban relatif dari feromon dan visibilitas. Pergerakan semut akan mempengaruhi perjalanan terhadap feromon, yaitu mengubah jejak feromon yang ditinggalkan selama perjalanan melalui evaporasi feromon, yang akan dituliskan sebagai berikut (Katiyar, Ibraheem, & Ansari, 2015):

$$\tau_{ij} = (1 - \rho)\tau_{ij} + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad \text{dimana} \quad (2)$$

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k} & \text{apabila } (i, j) \text{ dilalui semut} \\ 0 & \text{jika tidak} \end{cases}$$

dimana nilai ρ merupakan konstanta evaporasi, $\Delta\tau_{ij}^k$ adalah nilai perubahan jejak feromon pada titik i, j oleh semut k , Q adalah banyak feromon

yang ditinggalkan oleh semut, dan L_k merupakan jarak tempuh yang dilalui oleh Semut k .

Dalam proses pencarian rute terdekat ini, diawali dengan penentuan lokasi *node* (lokasi toko) berdasarkan titik koordinat lokasinya berupa garis lintang dan garis bujur. Setelah itu akan dilakukan penghitungan jarak antar *node* (*edge*) akan dilakukan menggunakan Haversine Formula.

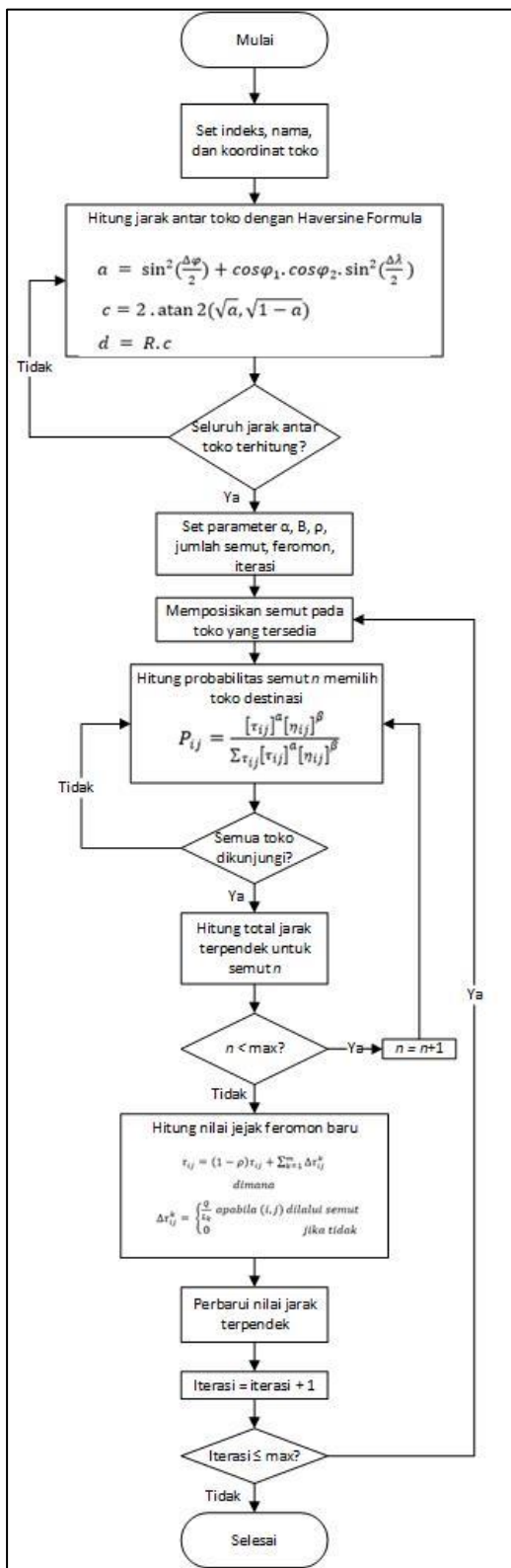
Haversine Formula merupakan sebuah metode yang digunakan untuk mengukur jarak kedua titik pada permukaan bumi berdasarkan garis bujur dan garis lintang kedua titik (Hartanto, Furqan, Siahaan, & Fitriani, 2017). Haversine Formula dapat digambarkan sebagai berikut:

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) + \cos\phi_1 \cdot \cos\phi_2 \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right) \quad (3)$$

$$c = 2 \cdot \text{atan}2(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}) \quad (4)$$

$$d = R \cdot c \quad (5)$$

Keseluruhan proses dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses penghitungan jarak terpendek (Adjie, 2021)

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pencarian Rute Terpendek

Pada penulisan judul ini, digunakan sebanyak 15 titik lokasi toko sebagai acuan penghitungan rute terpendek dengan jumlah alpha, beta, dan evaporasi yang telah ditentukan terlebih dahulu.

1. Penjelasan Metode

Terdapat variabel penentu yang digunakan dalam metode Ant Colony Optimization, diantaranya adalah alpha, beta, banyak jejak, evaporasi (rho), jumlah semut, dan jumlah iterasi. Keseluruhan variabel dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Variabel Penentu

Nama Variabel	Nilai
Alpha	0, 0.5, 1, 1.5, 2
Beta	0, 0.5, 1, 1.5, 2, 3
Evaporasi (rho)	0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 0.9, 1
Jumlah semut	2, 4, 8, 12, 15
Jejak feromon	1
Jumlah feromon	100
Jumlah iterasi	100

Sumber: Adjie, 2021

Dalam pengujian ini digunakan iterasi penghitungan sebanyak 100 kali tiap kombinasinya.

2. Penghitungan Rute

Penghitungan rute terpendek diawali dengan menentukan toko-toko yang akan digunakan sebagai destinasi. Dalam pengujian metode Ant Colony Optimization ini digunakan sebanyak 15 titik toko. Nama dan lokasi titik koordinat toko dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Toko

Index	Nama Toko	Koordinat
	PT SAKA	-7.32817275728516,
	MITRA	112.73605094320968
	S USAHA	
	WARUNG	-7.376543149805799,
0	LAMPUNG	112.75735536328628
	WARUNG	-7.402408188965115,
1	RAISA	112.74898174029943
	WARUNG	-7.3758506350550945,
2	BANG	112.75765525937005
	WETAN	
	WARUNG	-7.384334527230434,
3	ANTI	112.76001969381953
	GALAU	
	WARUNG	-7.394728831913482,
4	86	112.78188026374295

Index	Nama Toko	Koordinat
5	WARUNG	-7.345327259739333,
	EKA	112.70118556540757
6	WARUNG	-7.400015497999656,
	LESTY	112.72507015430347
7	WARUNG	-7.354837115583754,
	ALI	112.73286644800386
8	WARUNG	-7.3713664805385894,
	KOPI	112.73175595125169
9	WARUNG	-7.3712015001496685,
	REOG	112.73178716936599
10	WARUNG	-7.3717601921809965,
	OYI	112.72851987202225
11	WARUNG	-7.36872456211297,
	46	112.73746937773382
12	WARUNG	-7.355982816881518,
	JOKO	112.72045435780366
13	WARUNG	-7.454714526106538,
	LESUH	112.73728108740649
14	WARUNG	-7.387518112527293,
	KITA	112.72824824904995

Sumber: Adjie, 2021

Setelah didapat titik koordinat tiap toko, maka langkah selanjutnya adalah menghitung jarak antar toko menggunakan metode Haversine Formula. Sebagai contoh, akan dihitung jarak untuk Toko 0 ke Toko 1. Menggunakan Haversine Formula, maka langkah pertama adalah mencari nilai a melalui pencarian $\Delta\varphi$ dan $\Delta\lambda$, yang secara berurutan menandakan selisih dari garis lintang dan garis bujur. Selisih derajat lintang dan bujur yang telah dihitung akan diubah terlebih dahulu kedalam satuan radian melalui perkalian dengan $\frac{\pi}{180}$.

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_0 = -4.51430094 \times 10^4 \text{ rad}$$

$$\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_0 = -1.46147291 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

Setelah penghitungan selisih lintang dan bujur telah dilakukan, maka dapat dilanjutkan untuk menghitung nilai $\sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right)$ dan $\sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)$, serta menghitung nilai $\cos\varphi_0$ dan $\cos\varphi_1$. Nilai $\sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right)$ dan $\sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)$ secara berurutan adalah $5.09472816 \times 10^{-8} \text{ rad}$ dan $5.33975766 \times 10^{-9} \text{ rad}$, sedangkan $\cos\varphi_0$ dan $\cos\varphi_1$ adalah $-0.1287449654 \text{ rad}$ dan 0.9916657481 rad . Setelah nilai $\sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right)$, $\sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)$, $\cos\varphi_0$, dan $\cos\varphi_1$ telah ditemukan, maka penghitungan nilai a dapat dilakukan dengan mengacu pada Rumus 3.

$$a = 5.09472816 \times 10^{-8} + (-0.1287449654 \text{ rad}) \times 0.9916657481 \times 5.33975766 \times 10^{-9}$$

$$a = 5.61987118 \times 10^{-8}$$

Nilai a yang ditemukan dapat langsung digunakan untuk mencari nilai c dengan mengacu pada Rumus 4.

$$c = 2 \cdot \text{atan} 2(\sqrt{5.61987118 \times 10^{-8}}, \sqrt{1 - 5.61987118 \times 10^{-8}})$$

$$c = 4.741253547267502 \times 10^{-4}$$

Setelah hasil c diperoleh, maka jarak antar titik toko (d) dapat langsung dikalikan dengan radius bumi sebesar 6371 kilometer, sesuai dengan Rumus 5.

$$d = 6371 \times 4.741253547267502 \times 10^{-4}$$

$$d = 3.021 \text{ km}$$

Setelah jarak antar toko telah didapat, maka penghitungan rute terpendek dapat langsung dimulai. Kombinasi uji coba variabel yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 5. Tabel 5. Kombinasi variabel ujicoba

Nama Variabel	Nilai
Alpha	0.5
Beta	0.5
Evaporasi (rho)	0.01
Jumlah semut	15
Jejak Feromon	1
Jumlah Feromon	100
Jumlah iterasi	100

Sumber: Adjie, 2021

Penggunaan jumlah semut sebanyak 15 dipilih dalam uji coba penghitungan karena pemilihan titik awal toko secara acak tidak mungkin dilakukan tanpa bantuan sistem, sehingga memungkinkan setiap *node* untuk menjadi titik awal perjalanan setiap semut. Titik awal setiap semut dapat dilihat pada Tabel 6. Tabel 6. Titik Awal Semut Uji Coba

Semut	Index Toko	Nama Toko
Semut 1	0	WARUNG LAMPUNG
Semut 2	1	WARUNG RAISA
Semut 3	2	WARUNG BANG WETAN
Semut 4	3	WARUNG ANTI GALAU
Semut 5	4	WARUNG 86
Semut 6	5	WARUNG EKA
Semut 7	6	WARUNG LESTY
Semut 8	7	WARUNG ALI
Semut 9	8	WARUNG KOPI TIKUS
Semut 10	9	WARUNG REOG
Semut 11	10	WARUNG OYI ALOHA
Semut 12	11	WARUNG 46

Semut 13	12	WARUNG JOKO
Semut 14	13	WARUNG LESUH
Semut 15	14	WARUNG KITA

Sumber: Adjie, 2021

Untuk pengujian ini, semut yang digunakan adalah Semut 1 dengan titik awal Toko 0 (WARUNG LAMPUNG). Semut 1 akan menghitung probabilitas kemungkinan setiap toko yang memungkinkan untuk dikunjungi Untuk menghitung probabilitas Semut 1 memilih Toko 1 sebagai destinasi dapat dilakukan melalui Rumus 1.

$$P_{01} = \frac{[1]^{0.5} [0.331]^{0.5}}{10.719} = 0.054$$

Dari keseluruhan pengujian pertama, didapatkan bahwa toko dengan probabilitas terbesar untuk dipilih adalah Toko 2 dengan probabilitas 0.322, dengan jarak 0.084 kilometer. Penghitungan akan terus dilakukan hingga seluruh toko telah dipilih kedalam rute. Apabila seluruh toko telah terpilih, maka penambahan penghitungan jarak akan dilakukan dengan titik awal dan akhir PT Saka Mitra Usaha. Keseluruhan rute optimal dapat dilihat di Tabel 7.

Tabel 7. Rute Optimal Seluruh Semut pada Iterasi Pertama

Semut	Urutan Rute	Jarak (Km)
Semut 1	S-0-2-3-1-6-14-10-8-9-11-7-12-5-4-13-S	68.888
Semut 2	S-1-3-0-2-11-9-8-10-14-6-12-7-5-4-13-S	67.352
Semut 3	S-2-0-3-1-6-14-10-8-9-11-7-12-5-4-13-S	60.824
Semut 4	S-3-0-2-11-9-8-10-14-6-1-4-7-12-5-13-S	64.484
Semut 5	S-4-3-0-2-11-9-8-10-14-6-1-7-12-5-13-S	65.619
Semut 6	S-5-12-7-11-9-8-10-14-6-1-3-0-2-4-13-S	52.164
Semut 7	S-6-14-10-8-9-11-7-12-5-2-0-3-1-4-13-S	58.536
Semut 8	S-7-12-10-8-9-11-14-6-1-3-0-2-4-13-5-S	49.642
Semut 9	S-8-9-10-11-7-12-5-14-6-1-3-0-2-4-13-S	54.437
Semut 10	S-9-8-10-11-7-12-5-14-6-1-3-0-2-4-13-S	54.23
Semut 11	S-10-8-9-11-7-12-5-14-6-1-3-0-2-4-13-S	54.572
Semut 12	S-11-9-8-10-14-6-1-3-0-2-4-7-12-5-13-S	60.142
Semut 13	S-12-7-11-9-8-10-14-6-1-3-0-2-4-13-5-S	50.829

Semut	Urutan Rute	Jarak (Km)
Semut 14	S-13-1-3-0-2-11-9-8-10-14-6-12-7-5-4-S	66.722
Semut 15	S-14-6-1-3-0-2-11-9-8-10-7-12-5-4-13-S	59.551

Sumber: Adjie, 2021

Setelah seluruh rute telah ditemukan, maka langkah berikutnya adalah memperbarui nilai jejak feromon berdasarkan variabel evaporasi feromon beserta jumlah rute dari toko awal hingga toko yang dilewati. Berdasarkan data yang didapat pada Tabel 4.7, diketahui bahwa rute untuk Toko 4 menuju Toko 3 hanya dilalui sekali yaitu dalam perjalanan Semut 5. Penghitungan jejak feromon Toko 4 ke Toko 3 dapat dilakukan dengan mengacu pada Rumus 2.

$$(1 - 0.01) \times 1 + \frac{100}{35.119} = 3.84$$

Hasil keseluruhan hitungan yang didapat berdasarkan kombinasi tiap variabel adalah sebanyak 780 penghitungan. Hasil penghitungan jarak terpendek yang didapat adalah sebesar 40.343 kilometer pada rute [S, 2, 0, 3, 4, 13, 1, 6, 14, 10, 8, 9, 11, 7, 12, 5, S]. Detail kombinasi variabel yang digunakan adalah dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Detail Kombinasi

Banyak Semut	Alpha	Beta	Evaporasi
8	1.5	1.0	0.9
8	2.0	1.5	0.5
8	2.0	1.5	0.9

Sumber: Adjie, 2021

3. Perbandingan Pengujian Manual

Sebagai perbandingan, penulis mencoba untuk melakukan pencarian rute terpendek tanpa menggunakan aplikasi yang dirancang. Uji coba ini dilakukan dengan memanfaatkan aplikasi Google Maps. Hasil pengecekan secara manual dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Pengujian Manual dengan Google Maps

Rute	Jarak (Km)
PT SAKA MITRA USAHA menuju WARUNG ALI	4.4
WARUNG ALI menuju WARUNG REOG	2.7
WARUNG REOG menuju WARUNG KOPI TIKUS	0.019
WARUNG KOPI TIKUS menuju WARUNG OYI ALOHA	0.65
WARUNG OYI ALOHA menuju	1.6

Rute	Jarak (Km)
WARUNG 46	
WARUNG 46 menuju WARUNG KITA	3.1
WARUNG KITA menuju WARUNG LESTY	2.2
WARUNG LESTY menuju WARUNG RAISA	3.5
WARUNG RAISA menuju WARUNG ANTI GALAU	3.8
WARUNG ANTI GALAU menuju WARUNG LAMPUNG	1.5
WARUNG LAMPUNG menuju WARUNG BANG WETAN	0.084
WARUNG BANG WETAN menuju WARUNG 86	5.5
WARUNG 86 menuju WARUNG JOKO	11.1
WARUNG JOKO menuju WARUNG EKA	4.3
WARUNG EKA menuju WARUNG LESUH	13.4
WARUNG LESUH menuju PT SAKA MITRA USAHA	16.8
Total Jarak	74.653

Sumber: Adjie, 2021

Dari hasil pengujian secara manual yang dilakukan, didapatkan bahwa total keseluruhan jarak adalah 74.653 kilometer. Untuk melakukan perbandingan dengan tepat, dilakukan pengujian yang sama menggunakan Google Maps dengan rute yang telah ditentukan pada aplikasi yang telah dirancang. Hasil penghitungan ini dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Pengujian hasil aplikasi pada Google Maps

Rute	Jarak (Km)
PT SAKA MITRA USAHA menuju WARUNG BANG WETAN	9.6
WARUNG BANG WETAN menuju WARUNG LAMPUNG	0.65
WARUNG LAMPUNG menuju WARUNG ANTI GALAU	2
WARUNG ANTI GALAU menuju WARUNG 86	3.5
WARUNG 86 menuju WARUNG LESUH	11.5
WARUNG LESUH menuju WARUNG RAISA	7.8
WARUNG RAISA menuju WARUNG LESTY	3.7

Rute	Jarak (Km)
WARUNG LESTY menuju WARUNG KITA	2.4
WARUNG KITA menuju WARUNG OYI ALOHA	3.1
WARUNG OYI ALOHA menuju WARUNG KOPI TIKUS	0.65
WARUNG KOPI TIKUS menuju WARUNG REOG	0.019
WARUNG REOG menuju WARUNG 46	0.9
WARUNG 46 menuju WARUNG ALI	5.5
WARUNG ALI menuju WARUNG JOKO	5
WARUNG JOKO menuju WARUNG EKA	4.3
WARUNG EKA menuju PT SAKA MITRA USAHA	6.6
Total Jarak	67.219

Sumber: Adjie, 2021

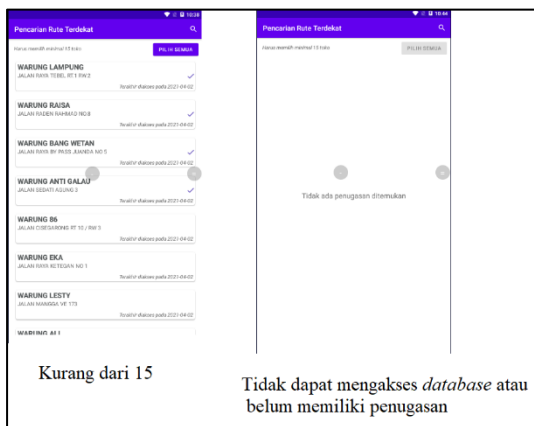
Melalui perbandingan hasil pengujian secara manual dengan menggunakan aplikasi yang telah dirancang, dapat dilihat bahwa aplikasi mampu memberikan rekomendasi jarak yang lebih pendek yaitu sejauh 67.219 kilometer, 7.434 kilometer lebih pendek daripada penghitungan manual.

B. Hasil Implementasi

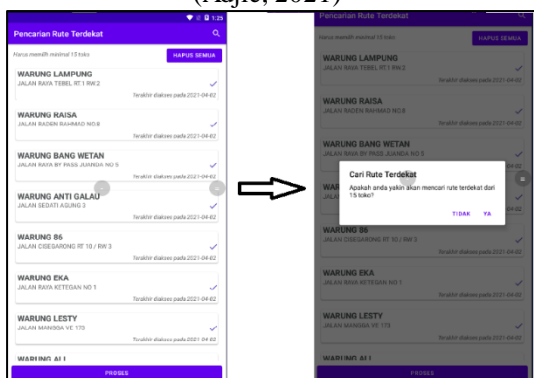
Implementasi meliputi login, pengelolaan data master, atur penugasan, pilih toko tujuan, penghitungan jarak terdekat, dan navigasi. Untuk implementasi pilih toko tujuan, penghitungan jarak terdekat, dan navigasi dapat dilihat pada Gambar 3 hingga Gambar 6.

1. Pilih Toko Tujuan

Implementasi pilih toko tujuan menampilkan daftar toko penugasan yang tersedia beserta tiga tombol, yaitu pilih semua, pencarian, dan proses. Tombol pilih semua akan berubah menjadi hapus semua apabila ingin menghapus toko yang dipilih, dan tombol proses hanya akan muncul setelah 15 toko terpilih. Dialog konfirmasi akan muncul setelah motoris memilih tombol proses.



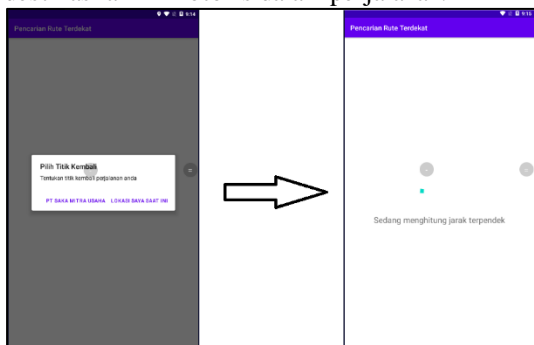
Gambar 4. Implementasi saat terjadi kesalahan (Adjie, 2021)



Gambar 5. Implementasi pilih toko tujuan (Adjie, 2021)

2. Hitung Rute Terpendek

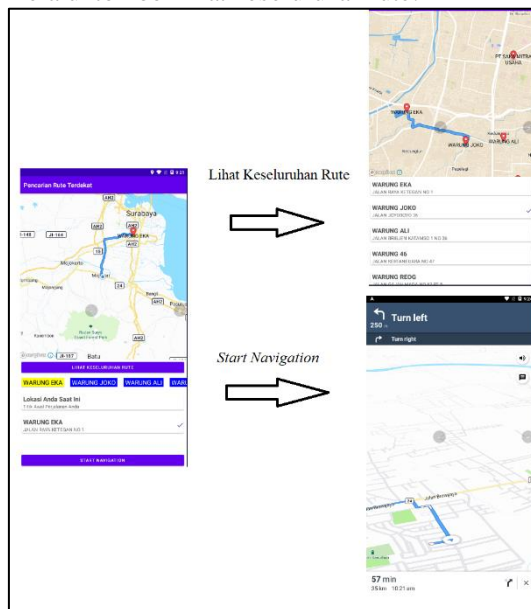
Pada penghitungan rute terpendek akan muncul dialog konfirmasi terhadap pilihan destinasi akhir motoris, akan kembali ke perusahaan atau kembali ke posisinya saat ini. Hasil konfirmasi tersebut akan mempengaruhi destinasi akhir motoris dalam perjalanan.



Gambar 6. Implementasi halaman hitung rute terpendek (Adjie, 2021)

3. Navigasi

Halaman navigasi akan memberikan tampilan peta beserta daftar toko destinasi secara berurutan. Tombol *start navigation* akan menyala biru ketika motoris memilih nama toko berikutnya yang akan dituju, serta menampilkan rute pada peta. Apabila motoris ingin melihat keseluruhan rute, motoris bisa mengaksesnya melalui tombol lihat keseluruhan rute.



Gambar 7. Implementasi halaman navigasi konfirmasi pilih toko tujuan (Adjie, 2021)

C. Hasil Testing Implementasi

Berdasarkan hasil *testing*, dapat dibuktikan bahwa:

1. Aplikasi dapat membantu motoris dalam melakukan pencarian rute terpendek. Setelah melakukan pengujian secara aplikasi dan manual, hasil pengujian menunjukkan bahwa hasil penghitungan dengan aplikasi lebih optimal dengan selisih 7.434 kilometer.
2. Aplikasi juga mampu memberikan integrasi hasil pencarian rute terpendek dengan navigasi perjalanan, sehingga motoris tidak perlu memasukkan satu per satu toko destinasi seperti pada Google Maps dan dapat langsung memulai perjalanan.

SIMPULAN

Kesimpulan yang didapat pada pembuatan aplikasi pencarian rute terpendek adalah sebagai berikut:

1. Aplikasi ini dapat memberikan rekomendasi rute terpendek, sehingga mampu

- mempersingkat waktu perjalanan, dibuktikan dengan hasil penghitungan jarak terpendek didapat sebesar 40.343 kilometer secara radius. Kombinasi optimal yang digunakan adalah $\alpha=1.5$, $\beta=1$, $\rho=0.9$ atau $\alpha=2$, $\beta=1.5$, dan $\rho=0.5-0.9$.
2. Hasil pembuktian penghitungan jarak secara radius juga memberikan penghitungan jarak yang lebih pendek apabila dibandingkan dengan penghitungan manual, terbukti bahwa ditemukan jarak sebenarnya sejauh , 67.219 kilometer dengan jarak jalan melalui Google Maps, sedangkan hasil penghitungan manual didapat 74.653 kilometer.
 3. Aplikasi ini dapat memberikan bantuan integrasi hasil pencarian rute terpendek dengan navigasi untuk membantu motoris dalam melakukan perjalanan menuju tiap-tiap toko yang telah dipilih, sehingga motoris tidak perlu mencari satu per satu destinasi tujuan seperti dengan Google Maps.
 4. Aplikasi ini juga membantu bagian administrasi dalam mengelola data motoris, data toko, dan data penugasan.

RUJUKAN

- Dorigo, M., & Stutzle, T. (2004). *Ant Colony Optimization*. Cambridge: MIT Press.
- Dorigo, M., & Stutzle, T. (2010). Ant Colony Optimization: Overview and Recent Advances. In J.-Y. P. Michel Gendreau, *Handbook of Metaheuristics* (p. 648). Boston: Springer.
- Hartanto, S., Furqan, M., Siahaan, A., & Fitriani, W. (2017). Haversine Method in Looking for the Nearest Masjid. *International Journal of Engineering Research*, 3(8), 187-195.
- Katiyar, S., Ibraheem, N., & Ansari, A. Q. (2015). Ant Colony Optimization: A Tutorial Review. *National Conference on Advances in Power and Control*. Faridabad.
- Pressman, R. S. (2010). *Software Engineering: A Practitioners Approach 7th Edition*. New York: McGraw-Hill.