

**PENERAPAN ALGORITMA *ANT COLONY*
PADA PENDISTRIBUSIAN BARANG**

SKRIPSI

**OLEH
SISILIA FIRDA LAILA AKHADAH
NIM. 200601110060**



**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

**PENERAPAN ALGORITMA *ANT COLONY*
PADA PENDISTRIBUSIAN BARANG**

SKRIPSI

**Diajukan Kepada
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)**

**Oleh
Sisilia Firda Laila Akhadah
NIM. 200601110060**

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

**PENERAPAN ALGORITMA *ANT COLONY*
PADA PENDISTRIBUSIAN BARANG**

SKRIPSI

Oleh
Sisilia Firda Laila Akhadah
NIM. 200601110060

Telah Disetujui Untuk Diuji
Malang, 5 Juni 2025

Dosen Pembimbing I



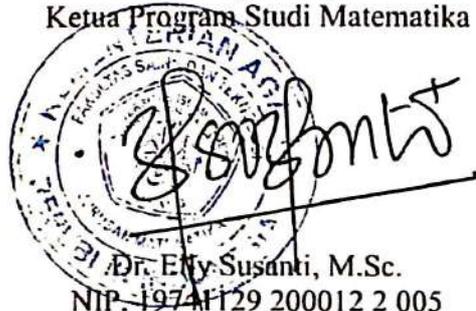
Juhari, M.Si.
NIPPPK. 19840209 202321 1 010

Dosen Pembimbing II



Ach. Nashiehuddin, M.A.
NIP. 19730705 200003 1 002

Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika



Dr. Ety Susanti, M.Sc.
NIP. 19741129 200012 2 005

**PENERAPAN ALGORITMA *ANT COLONY*
PADA PENDISTRIBUSIAN BARANG**

SKRIPSI

Oleh
Sisilia Firda Laila Akhadah
NIM. 200601110060

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)

Tanggal 12 Juni 2025

Ketua Penguji : Dr. Elly Susanti, M.Sc.



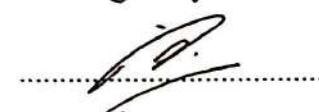
Anggota Penguji 1 : Mohammad Nafie Jauhari, M.Si.



Anggota Penguji 2 : Juhari, M.Si.



Anggota Penguji 3 : Ach. Nashichuddin, M.A.



Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika



Dr. Elly Susanti, M.Sc.
NIP. 19741129 200012 2 005

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Sisilia Firda Laila Akhadah

NIM : 200601110060

Program Studi : Matematika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul skripsi : Penerapan Algoritma Ant Colony pada Pendistribusian Barang

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini merupakan hasil karya sendiri, bukan pengambilan tulisan atau pemikiran orang lain yang saya akui sebagai pemikiran saya, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar rujukan di halaman terakhir. Apabila di kemudian hari terbukti skripsi ini adalah hasil jiplakan atau tiruan, maka saya bersedia menerima sanksi yang berlaku atas perbuatan tersebut.

Malang, 12 Juni 2025



Sisilia Firda Laila Akhadah

NIM. 200601110060

MOTO

“Nikmati prosesnya walaupun pelan. Jangan pernah merasa tertinggal”

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Dengan mengucapkan syukur kepada Allah Swt. yang telah memberikan jalan dan kemudahan dalam setiap hal khususnya dalam menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini penulis persembahkan kepada:

Orang tua penulis, ayah Yasin dan ibu Siti Masrifah yang senantiasa mendoakan dan memberi dukungan kepada penulis terhadap setiap langkahnya.

Kepada Kakak-kakak penulis, Syifa'un Q. Adhim dan Ade Syifa serta adik penulis, Mujibatul Alia yang selalu memberikan doa, dukungan, dan motivasi kepada penulis selama ini.

Tak lupa pula kepada suami penulis, Muhammad Haidar Al Ghifari yang telah menemani dan memberikan banyak motivasi kepada penulis sehingga dapat melangkah sejauh ini dan kepada anak tercinta penulis, Wardah Aulia Az-Zahra yang telah menemani serta kehadirannya memberikan semangat dan kehangatan dalam kehidupan penulis. Untuk anak ke-2 penulis, Nayla Salma Az-Zahra yang lahir satu hari setelah penulis sidang skripsi, terimakasih sudah menemani dan sama-sama kuat sampai sejauh ini.

Kepada Sisilia Firda Laila Akhadah, yang telah banyak memberikan waktu, pikiran, tenaga, dan keiklasan untuk menyelesaikan skripsi ini hingga tuntas ditengah-tengah kepadatan waktunya saat hamil dan menjaga anak tercinta.

Apresiasi untuknya karena masih bisa menyelesaikan skripsi ini dikeadaannya yang merasa tertinggal dengan yang lainnya.

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji bagi Allah Swt. yang telah melimpahkan rahmat, nikmat, dan karunianya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “Penerapan Algoritma *Ant Colony* pada Pendistribusian Barang”. Shalawat dan salam tidak lupa senantiasa kita panjatkan kepada baginda Nabi Agung Muhammad Saw. yang telah membawa kita dari zaman *jahiliyyah* ke zaman yang terang benderang yakni *addinul Islam*. Penulisan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana pada Program Studi Matematika di Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Dalam menyusun skripsi ini tidak lepas bimbingan dan arahan baik secara langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak. Untuk itu ucapan terima kasih penulis sampaikan terutama kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A., selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
2. Ibu Prof. Dr. Sri Harini, M.Si., selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
3. Ibu Dr. Elly Susanti, M.Sc., selaku ketua Program Studi Matematika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim dan selaku ketua penguji yang telah memberikan saran, nasihat, dan dukungan kepada penulis.
4. Bapak Juhari, M.Si., selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, nasihat, dukungan, serta perbaikan dalam penyusunan skripsi.
5. Bapak Ach. Nashichuddin, M.A., selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, dukungan, serta perbaikan dalam penyusunan skripsi.
6. Bapak Mohammad Nafie Jauhari, M.Si., selaku dosen penguji 1 dan wali dosen yang senantiasa memberikan dukungan, saran, dan perbaikan dalam penyusunan skripsi.
7. Seluruh dosen Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.

8. Teristimewa untuk kedua orang tua, Ayah Yasin dan Ibu Siti Masrifah, kedua kakak penulis yaitu Adhim dan Ade, dan juga adik penulis Lia, yang senantiasa memberikan nasihat, doa, serta dukungan kepada penulis baik secara moril maupun materiil sehingga penulis dapat menyelesaikan perkuliahan dan skripsi ini.
9. Teristimewa pula untuk suami penulis, Haidar dan anak penulis tercinta, Zahra dan Nayla. Yang sudah menemani dan selalu memberi semangat serta motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Serta seluruh keluarga yang selalu memberikan nasihat, bantuan, dan dukungan kepada penulis.
10. Seluruh mahasiswa angkatan 2020 yang selalu memberikan semangat dan dukungan selama perkuliahan dan dalam penyusunan skripsi ini.
11. Serta semua pihak yang selalu mendukung dan memberikan semangat kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.

Semoga segala bentuk bantuan dan kebaikan yang diberikan mendapat balasan yang setimpal dari Allah SWT. Penulis memohon maaf apabila terdapat kesalahan dalam proses penulisan. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca.

Malang, 12 Juni 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTO	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi
ABSTRACT	xvii
مستخلص البحث.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah	5
1.6 Definisi Istilah	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	8
2.1 Graf.....	8
2.2 Definisi Optimasi.....	10
2.2.1 Macam-Macam Permasalahan Optimasi	11
2.2.2 Permasalahan Lintasan Terpendek	14
2.3 Distribusi	16
2.4 Travelling Salesman Problem (TSP).....	19
2.5 Algoritma Ant Colony	24
2.6 Anjuran Hidup Hemat dalam Ajaran Islam.....	31
2.7 Kajian Topik dengan Teori Pendukung.....	33
BAB III METODE PENELITIAN	36
3.1 Jenis Penelitian	36
3.2 Data dan Sumber Data	36
3.3 Tahapan Penelitian	37
BAB IV PEMBAHASAN.....	40
4.1 Implementasi Algoritma Ant Colony dalam Mencari Rute Terpendek	40
4.1.1 Deskripsi Data dan Olah Data	40
4.1.2 Inisialisasi Nilai Parameter.....	43
4.1.3 Perhitungan Rute Terpendek	44
4.1.3.1 Perhitungan Rute Terpendek Kendaraan 1	44

4.1.3.2 Perhitungan Rute Terpendek Kendaraan 2	62
4.1.3.3 Perhitungan Rute Terpendek Kendaraan 3	65
4.1.3.4 Perhitungan Rute Terpendek Kendaraan 4	68
4.1.3.5 Perhitungan Rute Terpendek Kendaraan 5	70
4.1.3.6 Perhitungan Nilai Efektifitas.....	73
4.2 Pengaruh α dan β terhadap Performa Algoritma Ant Colony	75
4.3 Implementasi Algoritma Ant Colony dalam Pandangan Islam.....	76
BAB V PENUTUP.....	78
5.1 Kesimpulan.....	78
5.2 Saran	79
DAFTAR PUSTAKA	80
LAMPIRAN.....	82
RIWAYAT HIDUP	87

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data Nama & Lokasi Pengiriman Barang.....	40
Tabel 4.2	Klasifikasi Data Berdasarkan Jarak & Kendaraan.....	42
Tabel 4.3	Data Jarak antar Titik Kendaraan.....	44
Tabel 4.4	Visibilitas antar Titik	46
Tabel 4.5	Visibilitas Semut ke-1 antara Titik V1 ke Titik Lainnya.....	47
Tabel 4.6	Probabilitas Semut ke-1 antara Titik V1 ke Titik Lainnya	48
Tabel 4.7	Visibilitas Semut ke-1 antara Titik V2 ke Titik Lainnya.....	48
Tabel 4.8	Probabilitas Semut ke-1 antara Titik V2 ke Titik Lainnya	49
Tabel 4.9	Visibilitas Semut ke-1 antara Titik V3 ke Titik Lainnya.....	49
Tabel 4.10	Probabilitas Semut ke-1 antara Titik V3 ke Titik Lainnya	50
Tabel 4.11	Visibilitas Semut ke-2 antara Titik V2 ke Titik Lainnya.....	50
Tabel 4.12	Probabilitas Semut ke-2 antara Titik V2 ke Titik Lainnya	51
Tabel 4.13	Visibilitas Semut ke-2 antara Titik V4 ke Titik Lainnya.....	51
Tabel 4.14	Probabilitas Semut ke-2 antara Titik V4 ke Titik Lainnya	52
Tabel 4.15	Visibilitas Semut ke-2 antara Titik V1 ke Titik Lainnya.....	52
Tabel 4.16	Probabilitas Semut ke-2 antara Titik V1 ke Titik Lainnya	53
Tabel 4.17	Visibilitas Terakhir Semut ke-2	53
Tabel 4.18	Visibilitas Semut ke-3 antara Titik V3 ke Titik Lainnya.....	54
Tabel 4.19	Probabilitas Semut ke-3 antara Titik V3 ke Titik Lainnya	54
Tabel 4.20	Visibilitas Semut ke-3 antara Titik V2 ke Titik Lainnya.....	55
Tabel 4.21	Probabilitas Semut ke-2 antara Titik V1 ke Titik Lainnya	55
Tabel 4.22	Visibilitas Semut ke-3 antara Titik V1 ke Titik Lainnya.....	56
Tabel 4.23	Probabilitas Semut ke-2 antara Titik V1 ke Titik Lainnya	56
Tabel 4.24	Visibilitas Terakhir Semut ke-3	56
Tabel 4.25	Visibilitas Semut ke-4 antara Titik V4 ke Titik Lainnya.....	57
Tabel 4.26	Probabilitas Semut ke-4 antara Titik V4 ke Titik Lainnya	58
Tabel 4.27	Visibilitas Semut ke-4 antara Titik V1 ke Titik Lainnya.....	58
Tabel 4.28	Probabilitas Semut ke-4 antara Titik V1 ke Titik Lainnya	59
Tabel 4.29	Visibilitas Semut ke-4 antara Titik V3 ke Titik Lainnya.....	59
Tabel 4.30	Probabilitas Semut ke-4 antara Titik V3 ke Titik Lainnya	60
Tabel 4.31	Visibilitas Terakhir Semut ke-4	60
Tabel 4.32	Hasil Perhitungan	60
Tabel 4.33	Nilai Jarak Tempuh Masing-masing Titik Kendaraan 2.....	63
Tabel 4.34	Nilai Jarak Tempuh Masing-masing Titik Kendaraan 3.....	66
Tabel 4.35	Nilai Jarak Tempuh Masing-masing Titik Kendaraan 4.....	68
Tabel 4.36	Nilai Jarak Tempuh Masing-masing Titik Kendaraan 5.....	71
Tabel 4.37	Hasil Uji Coba Parameter α dan β	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 G_1 Graf Sederhana, G_2 Graf tidak Sederhana	9
Gambar 2.2 Graf tak Berarah dan Graf Berarah	10
Gambar 2.3 Gambar Rute Titik ABCDEFG	15
Gambar 2.4 Ilustrasi Permasalahan TSP	21
Gambar 2.5 Gambar Rute Titik ABCD	22
Gambar 2.6 Ilustrasi Rute yang dibentuk Koloni Semut	28

DAFTAR SIMBOL

$V(G)$: Himpunan titik pada graf
$E(G)$: Himpunan sisi pada graf
V_n	: Titik ke- n
τ_{ij}	: Jumlah feromon pada sisi i, j
τ_0	: Jumlah feromon pada kondisi awal
η_{ij}	: Visibilitas antar titik
α	: Parameter pengontrol pengaruh feromon atau τ_{ij}
β	: Parameter pengontrol pengaruh nilai visibilitas atau η_{ij}
ρ	: Tingkat feromon
Δt	: Perubahan feromon
C^k	: Panjang Rute
k	: Semut ke-
NC	: Banyaknya Iterasi
C_{greedy}	: Hasil perhitungan algoritma greedy

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Lokasi Tujuan Pendistribusian Barang Bangunan	82
Lampiran 2. Source Code.....	84

ABSTRAK

Akhadah, Sisilia Firda Laila. 2025. **Penerapan Algoritma Ant Colony pada Pendistribusian Barang**. Skripsi. Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Juhari, M.Si. (II) Ach. Nashichuddin, M.A.

Kata Kunci: Algoritma *Ant Colony*, Distribusi Barang, Rute Terpendek, Parameter α dan β .

Ant Colony Optimization (ACO) merupakan algoritma untuk menyelesaikan permasalahan optimasi yang terinspirasi dari perilaku koloni semut dalam mencari sumber makanan. Masalah yang diangkat pada penelitian ini adalah bagaimana implementasi Algoritma Ant Colony dalam menentukan rute terpendek pada pendistribusian barang serta menganalisis pengaruh parameter α (intensitas jejak feromon) dan β (nilai heuristik) terhadap efektivitas pencarian rute. Metode yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan pendekatan simulasi pada beberapa kendaraan pengiriman barang bangunan di Malang Raya. Pengujian dilakukan dengan menggunakan 33 lokasi pengiriman barang yang kemudian dibagi menjadi 5 sesuai dengan pembagian wilayah tujuan pengiriman barang. Rute terpendek yang dihasilkan dikatakan lebih efektif jika dibandingkan dengan rute dengan bantuan google maps saja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan algoritma ACO mampu memangkas jarak tempuh secara signifikan dengan rata-rata efektivitas mencapai 16,26% dari lima kendaraan yang diuji. Parameter yang ditetapkan pada awal uji coba adalah $\alpha = 1$, $\beta = 2$, dan $\rho = 0,5$. Pada Pengujian parameter menunjukkan bahwa nilai β yang lebih tinggi ($\beta \geq 5$) memberikan pengaruh signifikan dalam pencarian rute terpendek, sedangkan variasi nilai α dapat disesuaikan tanpa mempengaruhi hasil secara signifikan. Dengan demikian, hasil dalam penelitian ini menunjukkan bahwa algoritma ACO dinilai efektif dalam optimalisasi rute distribusi barang, terutama dengan kombinasi parameter yang tepat. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai penerapan algoritma Ant Colony dalam menentukan rute terpendek.

ABSTRACT

Akhadah, Sisilia Firda Laila. 2025. **Implementation of the Ant Colony Algorithm in Goods Distribution**. Thesis. Mathematics Study Program, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Negeri Maula Malik Ibrahim Malang. Advisors: (I) Juhari, M.Si. (II) Ach. Nashichuddin, M.A.

Keywords: Ant Colony Algorithm, Goods Distribution, Shortest Route, Parameters α and β .

Ant Colony Optimization (ACO) is an algorithm used to solve optimization problems, inspired by the behavior of ant colonies in find of food sources. The main issue addressed in this study is how to implement the Ant Colony algorithm to determine the shortest route for goods distribution and to analyze the influence of the parameters α (pheromone intensity) and β (heuristic value) on the effectiveness of route search. This study used a quantitative method with a simulation approach involving several delivery vehicles for building materials in Malang Raya. The testing was conducted using 33 delivery locations, which were then divided into five delivery clusters. The shortest routes generated by the algorithm were found to be more effective when compared to routes suggested by Google Maps. The results show that the implementation of the ACO algorithm significantly reduces travel distance, with an average effectiveness of 16.26% across the five vehicles that were tested. The parameters set at the start of the trial were $\alpha = 1$, $\beta = 2$, and $\rho = 0.5$. Parameter testing indicates that higher β values ($\beta \geq 5$) significantly influence the search for the shortest route, while variation in α does not significantly affect the results. Thus, this study concludes that the ACO algorithm is effective in optimizing delivery routes, especially when employing the appropriate combination of parameters. This research is expected to provide a deeper understanding of the Ant Colony algorithm in determining the shortest route.

مستخلص البحث

احد، سيسيليا فردا ليلي. ٢٠٢٥. تطبيق خوارزمية مستعمرة النمل في توزيع البضائع. البحث العلمي ، قسم الرياضيات ، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: جوهرى، الماجستير فى العلوم. المشرف الثانى: أحمد ناصح الدين، الماجستير فى تعليم اللغة العربية.

الكلمات الأساسية: مستعمرة النمل أَلغورتيما ، توزيع البضائع ، أقصر الطريق ، التحسين ، الملعلمات و $\alpha\beta$

تمثل خوارزمية مستعمرة النمل (Ant Colony Optimization - ACO) إحدى الخوارزميات المستخدمة لحل مشكلات التحسين، وهي مستوحاة من سلوك مستعمرات النمل في البحث عن مصادر الغذاء. المشاكل التي أثرت في البحث هذا يكون كيف تطبيق خوارزمية مستعمرة النمل في يحدد طريق الأقصر في التوزيع بضائع ، وتحليل تأثير كل من معامل α (كثافة أثر الفيرومون) ومعامل β (القيمة الإرشادية) على فعالية إيجاد المسار الأساليب المستخدمة يكون طريقة كمية مع يقترب محاكاة على عدة عربة توصيل بضائع مباني في مالانج رابا. اختبار منتهي مع باستخدام 33 موقعا توصيل البضاعة بعد ذلك مشترك أن يكون 5 وفقا ل مع توزيع منطقة موضوعي توصيل البضائع . الطريق أقصر تم إنشاؤه يقال أكثر فعال لو مقارنة ب مع طريق مع يساعد فقط خرائط جوجل. أظهرت نتائج البحث أن تطبيق خوارزمية ACO قاد إلى تقليص المسافة المقطوعة بشكل ملحوظ، حيث بلغت فعالية الخوارزمية في المتوسط نسبة 16.26% من خلال اختبار خمس مركبات . الملعلمات التي تم ضبطها في $\alpha = 1, \beta = 2, \rho = 0.5$. المعاملات أن القيمة المرتفعة ل β ($\beta \geq 5$) كان لها تأثير كبير في تحديد أقصر مسار، بينما لم يكن لتغيير قيمة α تأثير ملحوظ على النتائج. وبناءً عليه، تُعدّ خوارزمية ACO فعالة في تحسين مسارات توزيع البضائع، خاصة عند استخدام التوليفة المناسبة من المعاملات. ويُرجى أن يسهم هذا البحث في تعميق الفهم لتطبيق خوارزمية مستعمرة النمل في إيجاد أقصر الطرق.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Distribusi merupakan faktor penting dalam penjualan suatu perusahaan, dikarenakan tugasnya adalah mengantarkan produk sampai ke konsumen. Dengan demikian, manajemen distribusi harus efektif karna mempengaruhi biaya distribusi (Sianturi, Rahayudi, & Widodo, 2021). Pendistribusian produk harus terorganisir dengan baik karena ketidaktepatan dalam pendistribusian dapat menyebabkan biaya distribusi tidak optimal. Untuk mendistribusikan barang tersebut, setiap perusahaan membutuhkan alat transportasi. Peralatan transportasi menjadi hal yang sangat penting agar pendistribusian dapat berlangsung secara optimal, efisien, dan efektif. Perusahaan yang menggunakan strategi pemodelan transportasi akan memperoleh keuntungan pada sektor distribusi karena memudahkan penghitungan biaya transportasi. Dengan begitu pendistribusian yang di tangani dengan baik berpengaruh pada biaya pengeluaran perusahaan tersebut.

Ant Colony Optimization atau Algoritma Koloni Semut akan diterapkan dalam menyelesaikan persoalan pencarian rute terpendek pendistribusian barang. *Ant Colony Optimization* tergolong dalam *Swarm Intelligence*, yaitu salah satu pengembangan paradigma yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan tersebut berasal dari perilaku sekumpulan atau segerombolan serangga (*swarm*). ACO sering diterapkan dalam menyelesaikan permasalahan optimasi diskrit dan persoalan kompleks dengan jumlah variabel yang banyak. Meskipun hasil yang didapatkan dengan menerapkan Algoritma ACO ini belum optimal, namun mendekati optimal.

Awalnya, algoritma koloni semut ini diterapkan dalam mencari solusi permasalahan *travelling salesman problem*. Seiring dengan perkembangan penelitian, faktanya ia sangat beragam, algoritma ini diterapkan pula pada permasalahan *vehicle routing problem* (VRP), mensimulasikan rute-rute jalan protokol, penjadwalan pekerjaan, pengoptimalan perencanaan produksi, sistem pencarian cepat, dan permasalahan kombinatorial lainnya (Karjono, Moedjiono, & Denni, 2016).

Pada penelitian ini, Algoritma *Ant Colony* akan diterapkan dalam pencarian rute terpendek pendistribusian barang. Salah satu tujuan pencarian rute terpendek adalah untuk meminimalkan biaya dan tidak boros dalam proses pendistribusian. Sifat boros merupakan perilaku yang harus dihindari. Seperti yang tercantum dalam Al-Qur'an surat Al-Isra' ayat 26-27 yang artinya (Kementrian Agama, 2022):

Dan berikanlah haknya kepada kerabat dekat, juga kepada orang miskin dan orang yang dalam perjalanan; dan janganlah kamu menghambur-hamburkan (hartamu) secara berlebihan. Sesungguhnya orang-orang yang pemboros itu adalah saudara setan dan setan itu sangat ingkar kepada Tuhannya.

Pada ayat 26, dengan tegas melarang manusia untuk bersifat boros dan menghamburkan hartanya untuk hal-hal yang tidak bermanfaat. Selanjutnya pada ayat 27, Allah mengingatkan manusia dengan menegaskan bahwa perilaku boros merupakan saudara setan dan setan itu selalu ingkar kepada Allah. Daripada menghambur-hamburkan harta, banyak orang yang masih membutuhkan bantuan. Ajaran Islam menekankan pentingnya hidup hemat, tidak berlebihan dalam membelanjakan harta, dan memastikan bahwa harta digunakan dengan cara yang baik dan benar. Hidup hemat bukan hanya soal finansial, tetapi juga merupakan bentuk ketaatan kepada Allah dan menjaga amanah yang diberikannya kepada kita.

Dalam Tafsir *Al-Azhar* dalam Rozali & Mudana (2023), Hamka menerangkan bahwa orang yang mubazir merupakan teman setan. Biasanya, kawan yang karib atau teman setia memiliki pengaruh yang besar kepada orang yang ditemaninya dan orang yang sudah berteman dengan setan akan kehilangan pedoman dan tujuan hidup. Ia sudah terbawa pengaruh yang sesat oleh setan, sehingga meninggalkan ketaatan kepada Allah dan menggantinya dengan melakukan hal-hal yang dilarang oleh Allah (Rozali & Mudana, 2023).

Menurut Sayyid Qutbh, pada Tafsir *Fi Zhilal Qur'an* dalam Rozali & Mudana (2023) beliau menafsirkan bahwasanya Al-Qur'an melarang dengan tegas orang-orang yang menghamburkan harta (mubazir). Penghamburan, menurut penjelasan Ibnu Mas'ud dan Ibnu Abbas, adalah berinfak untuk hal-hal yang tidak benar. Imam Mujahid berkata seandainya seseorang menginfakkan semua hartanya untuk kebaikan, maka orang itu tidak berbuat mubazir. Tetapi seandainya seseorang berinfak satu mud saja untuk ketidak benaran, maka orang itu sudah berbuat mubazir. Menurut Sayyid Quthb, ayat 26 dan 27 saling berkaitan dan tidak dapat dipisahkan (Rozali & Mudana, 2023).

Rute terpendek merupakan suatu permasalahan yang sangat erat hubungannya dengan teori Graf. Teori Graf adalah himpunan dari titik-titik $V(G)$ dan himpunan sisi $E(G)$ yang kemudian menghubungkan suatu titik dengan titik yang lain, atau yang disebut dengan *edge* (M Barahama, E.J.C Montolalu, & Tumilaar, 2021). Penelitian dalam teori ini sering diimplementasikan pada banyak permasalahan, beberapa contohnya adalah dalam menentukan runtutan jadwal kegiatan, perhitungan rute terpendek, penyusunan dalam penyaluran listrik, dan lainnya. Kaitan penelitian dalam teori ini dengan pendistribusian barang adalah

tentang rute terpendek dalam pendistribusian barang tersebut. Lokasi-lokasi pendistribusian barang dapat disusun menjadi titik koordinat sesuai lokasi yang di data, dan dari titik koordinat tersebut barulah bisa dibentuk menjadi suatu graf. Titik-titik tersebut dihubungkan untuk mencari solusi optimal dan akan dicari jalur terpendek untuk pendistribusian barang yang akan dituju. Ada beberapa algoritma yang dapat digunakan dalam menentukan jalur terpendek, salah satunya adalah algoritma *Ant Colony*.

Penelitian ini akan menggunakan Metode *Ant Colony Optimization* atau Algoritma koloni semut untuk mencari rute terpendek dalam pendistribusian barang dari PT. Bumi Pembangunan Pertiwi menuju toko atau gudang-gudang pengiriman. Berdasarkan penjelasan tersebut, maka penulis akan fokus menganalisa metode *Ant Colony Optimization* untuk menghasilkan rute terpendek berdasarkan parameter-parameter dan nilai jarak yang telah diberikan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana Implementasi Algoritma *Ant Colony* dalam menentukan rute terpendek pada pendistribusian barang?
2. Bagaimana pengaruh nilai parameter α dan β dalam Algoritma *Ant colony* untuk mencari rute terpendek?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui hasil implementasi Algoritma *Ant Colony* dalam menentukan rute terpendek berupa rute dan total jarak dari pendistribusian barang.

2. Untuk mengetahui pengaruh parameter α dan β dalam Algoritma *Ant Colony* untuk mencari rute terpendek.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Meningkatkan pengetahuan dan pemahaman keilmuan tentang fungsi dan konsep algoritma *Ant Colony*.
2. Mengetahui rute terpendek dari penerapan algoritma *Ant Colony* untuk mendistribusikan barang.
3. Membantu pendistribusian barang perusahaan dengan memberikan rute terpendek dalam pendistribusian.

1.5 Batasan Masalah

1. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Algoritma Koloni Semut atau *Ant Colony Optimization (ACO)*. Dari beberapa jenis variasi algoritma ACO, penelitian ini menggunakan jenis *Ant System (AS)*.
2. Titik tujuan pendistribusian merupakan toko barang-barang bangunan akan dipasarkan. Ada beberapa titik lokasi pendistribusian barang dari PT. Bumi Pembangunan Pertiwi.
3. Penelitian ini berfokus untuk menemukan rute terpendek dengan menggunakan rute kendaraan roda empat.

1.6 Definisi Istilah

1. Implementasi
 - a. Dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), implementasi berarti pelaksanaan; penerapan.

b. Implementasi yang dimaksud dalam penelitian ini adalah penerapan algoritma *ant colony* pada permasalahan pencarian rute terpendek pendistribusian barang.

2. Parameter

a. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), parameter adalah ukuran seluruh populasi dalam penelitian yang diperkirakan dari sampel.

b. Parameter adalah variabel yang rentang nilai-nilainya mengidentifikasi kumpulan kasus-kasus berbeda dalam suatu masalah. Parameter dapat digunakan sebagai acuan, keterangan, atau informasi untuk menjelaskan batas-batas atau bagian-bagian tertentu dari suatu sistem. Dalam beberapa konteks, parameter adalah nilai yang dapat diubah untuk melihat apa yang terjadi pada kinerja suatu sistem (Altman & Bland, 1999).

3. Parameter α dan β dalam Algoritma *Ant colony*

a. Parameter α merupakan tetapan pengendali intensitas jejak feromon semut.

b. Parameter β merupakan tetapan pengendali visibilitas jarak atau informasi heuristik.

4. Tabu list disebut sebagai sebuah memori yang dimiliki semut. Berisi semua titik yang dikunjunginya pada setiap iterasi. Tabulist ini mencegah semut untuk mengunjungi titik-titik yang sebelumnya telah dikunjungi selama iterasi tersebut berlangsung. Tabu list juga digunakan untuk menentukan himpunan titik yang masih harus dikunjungi pada setiap langkah dan untuk menjamin terbentuknya jalur terpendek yang mungkin.

5. Algoritma Greedy adalah algoritma yang memecahkan masalah langkah demi langkah. Algoritma greedy dapat menentukan jalur mana yang akan diambil terlebih dahulu, sehingga sampai seluruh jalur diambil pada akhir perjalanan dan menciptakan rute perjalanan terpendek (Yulia & Rozali, 2019).
6. *Traveling Salesman Problem* merupakan persoalan pencarian rute terpendek terhadap beberapa n kota, dimana kota-kota tersebut hanya sekali dikunjungi seorang salesman dan kembali ke titik awal.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Graf

Graf G adalah pasangan himpunan (V, E) yang dinotasikan dengan $V(G)$ dan $E(G)$. Di mana $V(G)$ memiliki arti himpunan yang tak kosong dan berhingga dari obyek-obyek disebut dengan titik (*vertices*), sedangkan $E(G)$ adalah himpunan yang mungkin kosong dari pasangan tidak terurut dari titik-titik yang dikenal sebagai sisi atau himpunan garis-garis (*edges*). Setiap garis memiliki satu atau dua titik-titik yang terhubung dengannya, yang disebut titik-titik ujungnya (*endpoints*) (M Barahama, E.J.C Montolalu, & Tumilaar, 2021).

Graf sering digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk jaringan komputer, jaringan sosial, representasi molekul kimia, dan optimisasi rute dalam masalah transportasi. Representasi visual dari graf biasanya berupa diagram di mana simpul digambar sebagai titik dan sisi sebagai garis yang menghubungkan titik-titik tersebut.

Macam-macam graf dibagi menjadi beberapa bagian. Berikut merupakan jenis-jenis graf berdasarkan pendekatan pengelompokan.

1. Graf berdasarkan keberadaan *loop*

Berdasarkan keberadaan loop, graf dibedakan menjadi dua jenis yakni graf sederhana dan graf tidak sederhana.

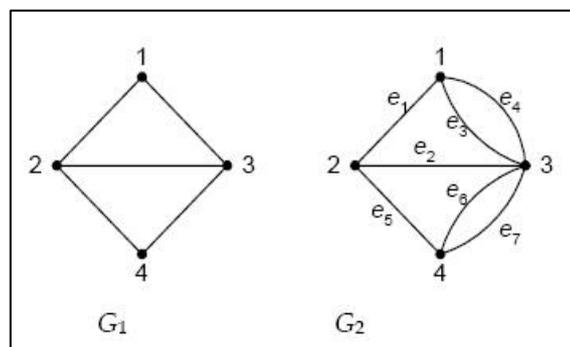
- a. Graf Sederhana (*simple graph*)

Graf sederhana G merupakan graf yang tidak memiliki sisi *edge* yang sisinya gelang maupun sisi ganda pada setiap simpul *vertex*. (M

Barahama, E.J.C Montolalu, & Tumilaar, 2021). Seperti pada Gambar 2.1.

b. Graf Tidak Sederhana (*unsimple graph*)

Graf tidak sederhana G merupakan graf yang memiliki sisi edge dengan sisinya ganda atau berbentuk gelang pada salah satu atau lebih simpul *vertex*. (M Barahama, E.J.C Montolalu, & Tumilaar, 2021). Seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 G_1 Graf Sederhana, G_2 Graf Tidak Sederhana

2. Berdasarkan arah pada sisi graf

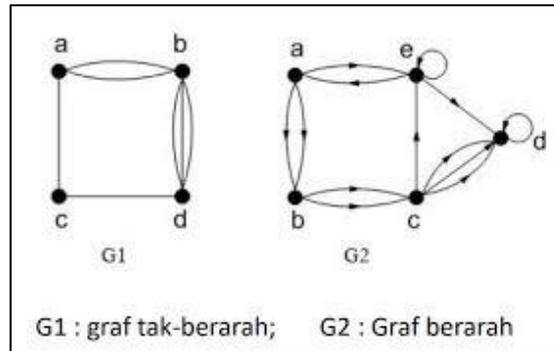
Berdasarkan arah pada sisi juga dibedakan menjadi dua macam yakni graf berarah (*directed graph* atau digraph) dan graf tidak berarah (*undirected graph*).

a. Graf Berarah (*directed graph*)

Graf yang setiap sisinya diberikan orientasi arah disebut sebagai graf berarah. Seperti pada gambar 2.2 bagian G_2 Graf berarah (Fahmi Alamsyah, 2021).

b. Graf Tidak Berarah (*undirected graph*)

Graf yang disetiap sisinya tidak mempunyai orientasi arah disebut graf tak berarah. Misalnya pada gambar 2.2 bagian G_1 (Fahmi Alamsyah, 2021).



Gambar 2.2 Contoh Graf Tidak Berarah dan Graf Berarah

2.2 Definisi Optimasi

Optimasi merupakan suatu proses yang bertujuan memaksimalkan atau meminimalkan suatu fungsi yang tergantung pada beberapa variabel. Tujuan dari optimasi adalah untuk mencari nilai variabel yang memberikan nilai fungsi yang paling optimal atau terbaik. Optimasi banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti matematika, teknik, ekonomi, dan ilmu komputer. Contoh penerapan optimasi di kehidupan sehari-hari adalah dalam perencanaan jadwal, perhitungan investasi, dan perencanaan rute terbaik dalam perjalanan. Optimasi pada dasarnya adalah istilah yang digunakan untuk menyatakan suatu himpunan masalah dalam matematika untuk menjawab pertanyaan mengenai ada tidaknya sebuah nilai optimal dalam himpunan jawaban yang ditawarkan (Munirah & Subanar, 2017).

Dari sudut pandang probabilistik, optimasi adalah mencari kombinasi peluang terbaik di antara beberapa kemungkinan solusi. Dari perspektif riset operasi, optimasi merupakan maksimalisasi atau minimalisasi fungsi objektif, fungsi yang membentuk kombinasi linier dari semua kemungkinan penggunaan sumber daya. Dari perspektif analitik kalkulus variasi, optimasi adalah mencari jumlah minimum atau integral minimum dari sejumlah alternatif lintasan (*path*) yang mungkin, yang mana integral itu dapat berarti nilai minimum yang mungkin.

Secara umum kita dapat mengembalikan gagasan optimasi kepada konsep yang abstrak dan filosofis, yaitu menempatkan optimasi kembali ke dalam perspektif percobaan mendapatkan pilihan solusi terbaik diantara banyak kemungkinan solusi yang tersedia (Munirah & Subanar, 2017).

Optimasi dapat dilakukan dengan menerapkan berbagai metode seperti metode grafik, metode numerik, dan metode heuristik. Oleh karena itu, pemilihan metode optimasi yang tepat sangat penting untuk mendapatkan hasil yang optimal. Dalam proses optimasi, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan seperti batasan, kriteria, dan kondisi optimalitas. Batasan adalah pembatasan yang diberikan pada variabel dalam proses optimasi. Kriteria adalah nilai target yang ingin dicapai dalam proses optimasi. Sedangkan, kondisi optimalitas adalah kondisi yang harus terpenuhi agar nilai optimal dapat dicapai.

Dalam kesimpulannya, optimasi adalah suatu proses penting dalam mencari nilai variabel yang memberikan hasil terbaik dalam suatu fungsi. Pemilihan metode optimasi yang tepat dan memperhatikan batasan, kriteria, dan kondisi optimalitas akan membantu mencapai hasil yang optimal dalam proses optimasi.

2.2.1 Macam-Macam Permasalahan Optimasi

Optimasi adalah cabang dari matematika terapan dan sains komputer yang berkaitan dengan mencari nilai terbaik (maksimum atau minimum) dari suatu fungsi dengan memenuhi batasan-batasan tertentu. Permasalahan mengenai optimasi ini sangat kompleks dalam kehidupan sehari-hari. Ada berbagai macam permasalahan dalam optimasi, yang dapat dikategorikan berdasarkan karakteristik tertentu. Berikut adalah beberapa macam permasalahan dalam optimasi:

1. Optimasi Linear (*Linear Optimization*)

Permasalahan: Mencari nilai maksimum atau minimum dari fungsi linear yang dibatasi oleh kendala-kendala linear.

Contoh: Program linear (*Linear Programming*, LP).

2. Optimasi Non-Linear (*Nonlinear Optimization*)

Permasalahan: Mencari nilai maksimum atau minimum dari fungsi non-linear yang dibatasi oleh kendala-kendala non-linear.

Contoh: Program non-linear (*Nonlinear Programming*, NLP).

3. Optimasi Integer (*Integer Optimization*)

Permasalahan: Optimasi dimana beberapa atau semua variabel keputusan harus berupa bilangan bulat.

Contoh: Program integer (*Integer Programming*, IP).

4. Optimasi Kombinatorial (*Combinatorial Optimization*)

Permasalahan: Mencari solusi terbaik dari sejumlah solusi yang terbatas, sering kali terkait dengan masalah pengaturan atau pemilihan.

Contoh: *Traveling Salesman Problem* (TSP), *Knapsack Problem*.

5. Optimasi Dinamis (*Dynamic Optimization*)

Permasalahan: Mencari solusi optimal untuk masalah yang berubah seiring waktu.

Contoh: *Dynamic Programming* (DP).

6. Optimasi Stokastik (*Stochastic Optimization*)

Permasalahan: Optimasi dalam kondisi ketidakpastian, di mana beberapa parameter atau fungsi tujuan bersifat stokastik (acak).

Contoh: *Stochastic Programming*, *Markov Decision Processes* (MDP).

7. Optimasi Multiobjektif (*Multi-objective Optimization*)

Permasalahan: Mengoptimalkan dua atau lebih fungsi tujuan secara simultan.

Contoh: *Pareto Optimization, Multi-objective Linear Programming.*

8. Optimasi Global (*Global Optimization*)

Permasalahan: Mencari solusi global terbaik dari suatu fungsi yang mungkin memiliki beberapa solusi lokal.

Contoh: *Genetic Algorithms (GA), Simulated Annealing (SA).*

9. Optimasi Terbatas (*Constrained Optimization*)

Permasalahan: Mencari nilai optimal dari suatu fungsi dengan adanya batasan-batasan tertentu.

Contoh: Penentuan alokasi sumber daya dengan batasan anggaran.

10. Optimasi Tak Terbatas (*Unconstrained Optimization*)

Permasalahan: Mencari nilai optimal dari suatu fungsi tanpa adanya batasan.

Contoh: Minimasi atau maksimasi fungsi diferensial.

11. Optimasi Convex (*Convex Optimization*)

Permasalahan: Optimasi dari fungsi convex, yang memiliki satu solusi global optimum.

Contoh: *Least Squares, Convex Quadratic Programming.*

12. Optimasi Diskret (*Discrete Optimization*)

Permasalahan: Optimasi di mana variabel keputusan hanya bisa mengambil nilai-nilai diskret.

Contoh: *Assignment Problem, Scheduling Problem.*

13. Optimasi Kontinu (*Continuous Optimization*)

Permasalahan: Optimasi di mana variabel keputusan bisa mengambil nilai kontinu.

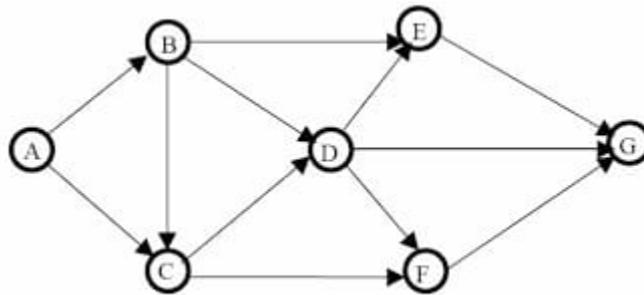
Contoh: *Continuous Linear Programming*, *Continuous Nonlinear Programming*.

Setiap kategori permasalahan optimasi memiliki metode dan algoritma khusus untuk penyelesaiannya, tergantung pada karakteristik dan kompleksitas masalah yang dihadapi.

2.2.2 Permasalahan Lintasan Terpendek

Rute terpendek adalah usaha mendapatkan nilai variabel yang dianggap dapat menghasilkan nilai yang maksimal. Rute terpendek mempunyai peran yang penting dalam penyusunan sistem. Dengan rute terpendek, seseorang dapat mencapai sesuatu yang bernilai keuntungan besar dan meminimalkan jarak. Banyak permasalahan yang berkaitan dengan pencarian rute. Berbagai pendekatan metode diberikan untuk memperoleh solusi dalam mencari rute terpendek, termasuk algoritma ACO.

Permasalahan rute terpendek merupakan permasalahan yang berhubungan dengan penentuan *edge-edge* dalam sebuah jaringan yang membentuk rute terdekat dari sumber ke tujuan. Tujuan dari persoalan rute terpendek yaitu untuk menemukan rute dengan jarak terpendek dari titik awal ke tujuan. (Ismail & Ardianto, 2020). Gambar 2.3 merupakan suatu rute titik ABCDEFG.



Gambar 2.3 Gambar Rute Titik ABCDEFG

Pada Gambar 2.3 dimisalkan rute yang di ambil yaitu dari kota A menuju Kota G. Untuk pergi ke kota G, dapat memilih beberapa rute yang diberikan sebagai berikut:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow G$$

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow F \rightarrow G$$

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow G$$

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow F \rightarrow G$$

$$A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow G$$

$$A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow F \rightarrow G$$

$$A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow G$$

$$A \rightarrow B \rightarrow E \rightarrow G$$

$$A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow G$$

$$A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow F \rightarrow G$$

$$A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow G$$

$$A \rightarrow C \rightarrow F \rightarrow G$$

Berdasarkan data persamaan diatas, rute terpendek dapat dihitung dengan mencari jarak antar rute-rute tersebut. Apabila jarak antar rute belum diketahui, jarak dapat dihitung berdasarkan koordinat kota-kota tersebut, kemudian menghitung rute terpendek yang dapat dilalui (Ismail & Ardianto, 2020).

2.3 Distribusi

Distribusi adalah kegiatan yang dilakukan oleh perusahaan untuk memastikan produk atau jasa yang dihasilkan tersedia di tempat yang tepat dan pada waktu yang tepat. Pihak yang melakukan kegiatan distribusi disebut distributor. Secara umum distribusi merupakan suatu kegiatan pemasaran yang memiliki tujuan untuk memperlancar dan mempermudah penyaluran barang atau jasa dari produsen ke konsumen sehingga pemanfaatannya sesuai dengan apa yang dibutuhkan (jenis, harga, tempat, dan waktu diperlukan). Dari beberapa pengertian distribusi, dapat diambil kesimpulan distribusi merupakan cara atau sistem penghubung atau perantara hasil kegiatan produksi (produk) kepada konsumen (Nasution & dkk, 2022).

Distribusi merupakan salah satu aspek penting dalam suatu perusahaan, karena tugasnya adalah menyampaikan produk tangan konsumen. Oleh karena itu, manajemen distribusi harus efektif karena mempengaruhi biaya distribusi. Pendistribusian produk bergantung pada kapasitas pabrik yang ada, terutama apabila perusahaan memiliki lebih dari satu pabrik dan perlu mengirimkan produk ke lebih dari satu tujuan. Setiap perusahaan akan berusaha membentuk suatu pengantaran perantara atau struktur perantara untuk mencapai tujuan perusahaan. Dalam melakukan distribusi, perusahaan harus mempertimbangkan beberapa faktor seperti lokasi pelanggan, biaya pengiriman, waktu pengiriman, dan efisiensi operasi. Distribusi yang efektif dapat membantu perusahaan untuk mengoptimalkan rantai pasokan mereka dan meningkatkan efisiensi operasi mereka. Semakin luas wilayah distribusi dan wilayah pemasaran produk maka semakin baik pula saluran distribusinya. Semakin baik strategi distribusi yang digunakan produsen terhadap

pelanggan, semakin banyak pelanggan yang dapat diperolehnya. Hal ini akan meningkatkan penjualan perusahaan.

Secara keseluruhan, distribusi adalah kegiatan penting bagi perusahaan untuk memastikan produk atau jasa mereka tersedia di tempat dan pada waktu yang tepat. Hal ini dapat meningkatkan kepuasan pelanggan, meningkatkan penjualan, mengurangi biaya, dan meningkatkan efisiensi operasi perusahaan.

Distribusi memiliki beberapa fungsi penting dalam operasi perusahaan, antara lain (Arif & Sismar, 2024):

1. **Penyebaran Produk:** Distribusi memastikan bahwa produk perusahaan dapat mencapai konsumen yang tersebar di berbagai lokasi geografis. Ini penting untuk memperluas jangkauan pasar dan meningkatkan penjualan. Salah satu contoh permasalahan dalam penyebaran produk yaitu permasalahan dalam *travelling salesman problem*.
2. **Efisiensi Operasional:** Dengan sistem distribusi yang efisien, perusahaan dapat mengurangi biaya operasional seperti biaya pengiriman dan penyimpanan. Ini bisa dilakukan melalui optimalisasi rute pengiriman dan penggunaan teknologi untuk manajemen persediaan.
3. **Pengendalian Persediaan:** Distribusi membantu dalam mengatur dan mengelola persediaan secara efektif. Dengan distribusi yang baik, perusahaan dapat memastikan ketersediaan produk di pasar tanpa mengalami kelebihan stok atau kekurangan stok.

4. Peningkatan Layanan Pelanggan: Distribusi yang efektif memungkinkan perusahaan untuk menyediakan produk kepada pelanggan dengan lebih cepat dan baik. Ini meningkatkan kepuasan pelanggan dan loyalitas mereka terhadap perusahaan.
5. Penetrasi Pasar: Dengan strategi distribusi yang tepat, perusahaan dapat memasuki pasar baru dan menjangkau segmen pelanggan yang sebelumnya belum terjangkau.
6. Pengumpulan Informasi Pasar: Saluran distribusi juga berfungsi sebagai sumber informasi yang berharga tentang preferensi dan perilaku konsumen, serta tren pasar. Informasi ini dapat digunakan untuk mengembangkan strategi pemasaran dan produk yang lebih baik.
7. Keunggulan Bersaing: Distribusi yang efisien dan efektif dapat menjadi keunggulan kompetitif bagi perusahaan. Ini memungkinkan perusahaan untuk menanggapi permintaan pasar lebih cepat dan fleksibel dibandingkan pesaing.
8. Peningkatan Citra Perusahaan: Dengan memastikan produk selalu tersedia dan didistribusikan dengan baik, perusahaan dapat membangun reputasi yang baik di mata konsumen dan mitra bisnis.

Fungsi-fungsi ini menunjukkan betapa pentingnya distribusi dalam mendukung keberhasilan operasional dan strategi perusahaan.

Distribusi tentunya juga memiliki tujuan dalam penerapannya, salah satu tujuan distribusi adalah untuk memastikan produk atau jasa yang dihasilkan oleh produsen tersedia pada tempat dan waktu yang tepat. Hal ini akan meningkatkan kepuasan pelanggan dan membantu meningkatkan penjualan. Selain itu, tujuan

distribusi juga termasuk mengurangi biaya dan meningkatkan efisiensi operasi perusahaan. Dengan memastikan bahan baku dan produk jadi tersedia pada tempat dan waktu yang tepat, perusahaan dapat mengurangi biaya pengiriman dan mempercepat proses produksi.

Distribusi menjadi kegiatan yang begitu penting dalam sistem pemasaran. Sebab jika distribusi efisien dan efektif, produk akan cepat dipasarkan lalu konsumen akan membeli dan mengkonsumsi. Semua perusahaan harus menjalankan fungsi distribusi, yang sangat penting bagi perkembangan perekonomian masyarakat karena bertanggung jawab menyediakan barang dan jasa yang dibutuhkan konsumen. Distribusi yang efektif juga dapat membantu perusahaan untuk mengoptimalkan rantai pasokan (*supply chain*) mereka. Dengan mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan produk dari produsen ke konsumen akhir, perusahaan dapat meningkatkan efisiensi operasi mereka dan mengurangi risiko kekurangan stok.

Secara keseluruhan, tujuan distribusi adalah untuk memastikan produk atau jasa tersedia di tempat yang tepat dan pada waktu yang tepat, sehingga dapat meningkatkan kepuasan pelanggan, meningkatkan penjualan, mengurangi biaya, pembangunan perekonomian masyarakat, dan meningkatkan efisiensi operasi perusahaan.

2.4 Travelling Salesman Problem (TSP)

Masalah *travelling salesman problem* (TSP) adalah salah satu contoh optimasi kombinatorial yang paling banyak dipelajari. Masalah ini mudah untuk dinyatakan tetapi sangat sulit untuk diselesaikan. Salah satu bentuk konsep optimasi yang masih terus berkembang adalah optimisasi kombinatorial. Pengoptimalan ini

mewakili permasalahan pengoptimalan yang menetapkan semua kemungkinan solusi dalam keadaan tertentu. Proses optimasi pada TSP melibatkan seorang *salesman* yang harus mengunjungi beberapa kota lalu kembali ke kota asalnya dengan jarak total perjalanan yang seminimal mungkin dan setiap kota harus dikunjungi tepat satu kali. Tujuannya yaitu untuk menentukan panjang lintasan terbaik dengan jarak total atau biaya yang paling minim (Rohman, Saiful dkk, 2020).

TSP tergolong dalam kelas masalah *NP-Hard* dan tidak dapat diselesaikan secara optimal dalam *polynomial computation time* dengan algoritma eksak. Jika diselesaikan secara eksak, waktu komputasi yang dibutuhkan akan meningkat secara eksponensial seiring dengan bertambah banyaknya permasalahan. Penyelesaian eksak untuk permasalahan dalam TSP adalah menghitung semua kemungkinan sirkuit, setelah itu memilih sirkuit terbaik dengan jarak total atau biaya yang paling minim (Rohman, Saiful dkk, 2020). Metode atau Algoritma untuk menyelesaikan masalah TSP dibagi menjadi beberapa bagian sebagai berikut: (Wiyanti, 2013)

1. Algoritma Eksak

- a. Brute Force: Mencoba semua kemungkinan sirkuit atau lintasan dan memilih yang terbaik. Waktu komputasi adalah sangat besar, sehingga tidak praktis untuk jumlah kota yang besar.
- b. Dynamic Programming: Seperti Algoritma *Held-Karp*
- c. Branch and Bound: Algoritma ini membagi permasalahan menjadi submasalah yang lebih kecil yang mengarah ke solusi dengan

pencabangan (*branching*) dan melakukan pembatasan (*bounding*) untuk mencapai solusi optimal.

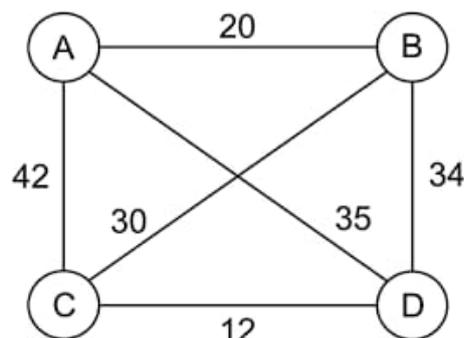
2. Algoritma Aproksimasi

- a. Algoritma Greedy: Pemilihan lintasan dimulai pada lintasan yang paling minim dan memilih kota selanjutnya yang belum dikunjungi dengan jarak paling minimum.
- b. Christofides' Algorithm: Menyediakan solusi dengan jarak total maksimal 1.5 kali jarak optimal untuk TSP simetris dengan segitiga ketidaksamaan.

3. Heuristik dan Metaheuristik

- a. Simulated Annaeling: Menggunakan metode probalistik untuk mencari solusi mendekati optimal dengan meniru proses pendinginan logam.
- b. Genetic Algorithm: Menggunakan prinsip evolusi biologis seperti seleksi, crossover, dan mutasi untuk mencari solusi.
- c. Ant Colony Optimization: Terinspirasi oleh perilaku semut dalam mencari jalan terpendek dari sarang menuju sumber makanan.

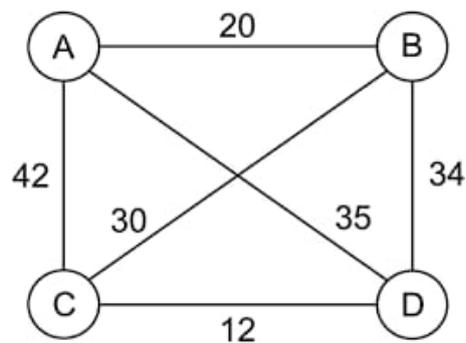
TSP termasuk dalam persoalan pencarian jarak terpendek sebuah *tour* tertutup terhadap beberapa n kota, dimana kota-kota tersebut hanya sekali dikunjungi. TSP digambarkan seperti Gambar 2.4 berikut:



Gambar 2.4 Ilustrasi Permasalahan TSP

Diberikan contoh permasalahan TSP sebagai berikut: “Diberikan sejumlah kota dan jarak antar kota. Tentukan sirkuit terpendek yang harus dilalui oleh seorang pedagang bila pedagang itu berangkat dari sebuah kota asal dan menyinggahi setiap kota tepat satu kali dan kembali lagi ke kota asal keberangkatan”.

Seperti diketahui, bahwa untuk mencari jumlah Sirkuit Hamilton di dalam graf lengkap dengan n vertek adalah $\frac{(n-1)!}{2}$, sehingga:



Gambar 2.5 Gambar Rute Titik ABCD

Pada Gambar 2.5, graf memiliki $\frac{(4-1)!}{2} = 3$ sirkuit hamilton sebagai berikut:

$$L1 = (A, B, C, D, A) = (A, D, C, B, A)$$

$$L2 = (A, C, D, B, A) = (A, B, D, C, A)$$

$$L3 = (A, C, B, D, A) = (A, D, B, C, A)$$

Maka diperoleh panjang sirkuit untuk $L1, L2, L3$ adalah:

$$L1 = 20 + 30 + 12 + 35 = 97$$

$$L2 = 42 + 12 + 34 + 20 = 108$$

$$L3 = 42 + 30 + 34 + 35 = 141$$

Sehingga sirkuit hamilton terpendek adalah $L1 = (A, B, C, D, A)$ atau (A, D, C, B, A) dengan panjang sirkuit 97. Jika jumlah *verteks* $n = 20$ maka akan terdapat $\frac{(19!)}{2}$ sirkuit hamilton atau sekitar 6×10^{16} penyelesaian.

Permasalahan *Traveling Salesman Problem* (TSP) merupakan salah satu masalah klasik dalam ilmu komputer dan optimasi yang melibatkan seorang penjual yang harus mengunjungi sejumlah kota dengan jarak tertentu dan kemudian kembali ke kota asal, dengan tujuan untuk meminimalkan total jarak atau biaya perjalanan. Berikut adalah beberapa contoh masalah yang dapat diselesaikan dengan TSP:

1. Distribusi dan Logistik
 - a. Pengiriman Barang: Sebuah perusahaan pengiriman harus mengantarkan paket ke sejumlah alamat. TSP membantu menemukan rute pengiriman paling efisien untuk menghemat waktu dan biaya bahan bakar.
 - b. Pengisian Mesin Penjual Otomatis: Rute optimal untuk pengisian ulang mesin penjual otomatis (*vending machine*) yang tersebar di berbagai lokasi.
2. Perjalanan dan Pariwisata
 - a. Perjalanan Wisata: Merencanakan rute optimal untuk turis yang ingin mengunjungi beberapa tempat wisata dalam satu perjalanan dengan jarak tempuh minimum.
 - b. Perjalanan Bisnis: Merencanakan perjalanan bisnis yang melibatkan kunjungan ke beberapa kantor atau cabang perusahaan dengan waktu dan biaya minimum.

3. Industri dan Manufaktur
 - a. Pengoptimalan Proses Manufaktur: Mengatur urutan proses dalam pabrik untuk mengurangi waktu produksi atau pergerakan bahan.
 - b. Pengumpulan Bahan Baku: Menentukan rute pengambilan bahan baku dari berbagai pemasok untuk pabrik dengan biaya dan waktu minimum.
4. Layanan dan Pengantaran Makanan
 - a. Pengantaran Makanan: Menentukan rute optimal untuk pengantaran makanan ke berbagai pelanggan dalam waktu singkat.
 - b. Jasa Kurir: Merencanakan rute kurir yang harus mengantarkan dokumen atau paket ke beberapa alamat dengan efisiensi maksimum.

Solusi untuk TSP dapat sangat bervariasi tergantung pada kompleksitas masalah dan jumlah kota yang harus dikunjungi. Metode yang umum digunakan untuk menyelesaikan TSP meliputi algoritma eksak seperti algoritma *branch and bound*, algoritma heuristik seperti *nearest neighbor*, dan algoritma metaheuristik seperti *simulated annealing*, *genetic algorithms*, dan *ant colony optimization*.

2.5 Algoritma Ant Colony

Algoritma *Ant Colony* atau biasa disebut juga dengan istilah Algoritma Semut dikenalkan oleh Moyson dan Manderick, lalu dikembangkan oleh Marco Dorigo. Algoritma *ant colony* merupakan *bioinspired metaheuristic*, mempunyai sekelompok khusus yang bertujuan menyamai karakteristik perilaku dari serangga sosial, yaitu koloni semut. Perilaku masing-masing agen mirip dengan perilaku semut hidup dan cara mereka berinteraksi satu sama lain dalam pencarian makanan lalu membawanya ke koloni mereka secara efisien. Saat berjalan setiap semut melepaskan feromon, yang mana semut lain peka terhadap feromon tersebut

sehingga memberikan harapan untuk mengikuti jejaknya. Potensinya tergantung pada konsentrasi feromon. Setelah beberapa saat, rute terpendek akan cenderung sering diikuti dan feromonnya menjadi jenuh (Udjulawa & Oktarina, 2022).

Algoritma *Ant Colony* tergolong dalam kelompok *Swarm Intelligence*, yaitu pengembangan paradigma yang diterapkan dalam memecahkan permasalahan optimasi yang mana inspirasi yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan tersebut berasal dari karakteristik kumpulan atau segerombolan serangga (*swarm*). ACO sering kali diterapkan dalam penyelesaian *discrete optimization problems* dan permasalahan yang kompleks dengan banyak variabel. Hasil yang didapat dengan menerapkan algoritma ini meskipun belum optimal namun mendekati optimal. *Ant Colony Optimization* telah digunakan dalam banyak permasalahan seperti VRP, penjadwalan proyek dengan sumber daya terbatas, data *mining*, penjadwalan pekerjaan, dan berbagai permasalahan kombinatorial lainnya (Karjono, Moedjiono, & Denni, 2016).

Ant Colony Optimization (ACO) merupakan suatu algoritma penyelesaian dalam permasalahan optimasi yang merupakan kumpulan beberapa algoritma yang menggunakan teknik probabilistik dan prinsip komunikasi koloni semut dalam menemukan makanan. Marco Dorigo pertama kali memperkenalkan konsep ACO melalui algoritma *Ant System* (AS) pada tahun 1992 dalam disertasinya (Gunawan, Indra, & Henry, 2012). Berikut ini adalah beberapa macam algoritma ACO yang terkenal (Dorigo & Stützle, 2004):

1. Ant System (AS)

Ant System merupakan versi asli dari algoritma ACO yang diperkenalkan oleh Marco Dorigo pada tahun 1992. Semut membangun solusi dan memperbarui feromon di semua tepi setelah setiap iterasi.

2. *MAX – MIN* Ant System (*MMAS*)

MAX – MIN Ant System (MMAS) memperkenalkan batas atas dan bawah pada jumlah feromon untuk mencegah eksploitasi berlebihan. Hanya semut terbaik atau solusi terbaik yang diizinkan untuk memperbarui feromon.

3. Rank-Based Ant System (RAS)

Dalam RAS, hanya semut terbaik yang diperbolehkan memperbarui feromon, dengan bobot yang diberikan berdasarkan peringkat solusi mereka. Semut terbaik mendapatkan bobot terbesar.

4. Elitist Ant System (EAS)

EAS menambahkan feromon tambahan pada jalur yang dilalui oleh semut terbaik dari seluruh iterasi sebelumnya. Hal ini membantu mempercepat konvergensi menuju solusi terbaik.

5. Continuous Ant Colony Optimization (CACO)

CACO adalah adaptasi dari ACO untuk masalah optimasi berkelanjutan, di mana solusi yang dicari bukan merupakan himpunan diskret melainkan himpunan kontinu.

Setiap variasi ACO dirancang untuk mengatasi kelemahan tertentu dari versi lainnya atau untuk meningkatkan performa pada jenis masalah tertentu. Algoritma-algoritma ini banyak digunakan dalam berbagai permasalahan kombinatorial.

Pada penerapan ACO perlu memperhatikan beberapa parameter yang akan digunakan. Dengan menyempurnakan parameter ini secara cermat dan memanfaatkan aspek unik dari masalah yang dihadapi, ACO dapat menjadi alat yang ampuh untuk menemukan solusi optimal atau hampir optimal dalam berbagai permasalahan pengoptimalan. Beberapa parameter yang digunakan dalam Algoritma *Ant Colony* antara lain:

1. Intensitas jejak semut antar titik (τ_{ij}) dan perubahannya ($\Delta\tau_{ij}$).

τ_{ij} harus diinisialisasi sebelum memulai siklus atau iterasi. τ_{ij} digunakan dalam persamaan probabilitas node yang akan dikunjungi. $\Delta\tau_{ij}$ diinisialisasi setelah menyelesaikan satu iterasi.

2. Tetapan siklus semut (Q).

Q adalah konstanta yang digunakan dalam persamaan untuk menentukan perubahan jejak semut atau perubahan feromon. Dimana $Q = 1$.

3. Tetapan pengendali intensitas jejak semut (α).

α digunakan dalam persamaan probabilitas node yang akan dikunjungi. Berfungsi sebagai pengendali intensitas jejak semut. Nilai α ditentukan oleh pengguna, dimana $\alpha \geq 0$.

4. Tetapan pengendali visibilitas (β).

β digunakan dalam persamaan probabilitas node yang akan dikunjungi. Berfungsi untuk pengendali visibilitas. Nilai β ditentukan oleh pengguna, dimana $\beta \geq 0$.

5. Visibilitas antar kota (η_{ij})

η_{ij} digunakan dalam persamaan probabilitas node yang akan dikunjungi.

Nilai η_{ij} merupakan hasil dari $1/d_{ij}$.

6. Banyak semut (k)

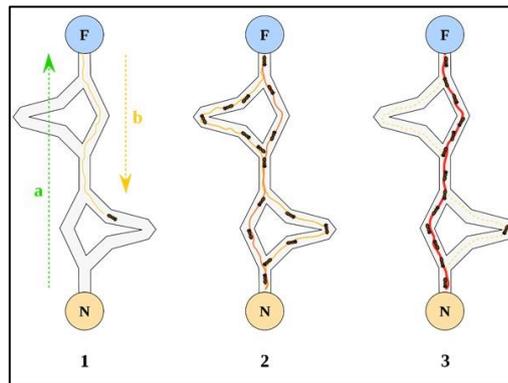
k adalah banyak semut yang akan melakukan iterasi dalam algoritma semut.

Nilai m ditentukan oleh pengguna.

7. Tetapan penguapan jejak semut (ρ)

ρ digunakan untuk menentukan τ_{ij} untuk iterasi berikutnya.

Dimana $0 < \rho < 1$.



Gambar 2.6 Ilustrasi Rute yang Dibentuk Koloni Semut

Adapun cara kerja Algoritma *Ant Colony* sebagai berikut (Karjono, Moedjiono, & Denni, 2016):

1. Pada awalnya semua semut bergerak acak.
2. Saat semut menemukan jalur yang berbeda, misalnya sampai di persimpangan, mereka akan mulai menentukan arah jalannya masing-masing secara acak.
3. Misalnya, sebageian semut memilih berjalan ke atas, ada pula yang memilih berjalan ke bawah.
4. Saat menemukan makanan, meraka akan kembali ke koloninya sambil memberikan tanda menggunakan jejak feromon.

5. Misalnya, jika rute yang dilalui dari jalur bawah lebih pendek, maka semut yang bawah akan tiba terlebih dahulu dengan anggapan semua semut memiliki kecepatan yang sama.
6. Feromon yang ditinggalkan semut pada rute yang lebih pendek mempunyai aroma lebih kuat daripada feromon pada rute yang lebih panjang.
7. Semut lain akan cenderung memilih rute bawah yang merupakan rute terpendek karena memiliki aroma feromon yang lebih kuat.

Berikut penjelasan lebih lanjut mengenai unsur-unsur dan istilah pada penerapan algoritma *ant colony*:

1. Feromon

Feromon merupakan senyawa kimia yang ditinggalkan oleh semut sepanjang jalur yang dilaluinya. Senyawa ini berfungsi sebagai petunjuk atau sinyal bagi semut-semut lainnya yang memiliki tujuan yang sama. Pada semut, sinyal yang paling kuat adalah sinyal yang dihasilkan dari jalur terpendek sehingga semut dapat memilih jalur mana yang akan dilaluinya. Dalam kasus ini, semut cenderung memilih sinyal terkuat karena sinyal tersebut lebih banyak dilalui oleh semut-semut yang lain (Karjono dkk., 2016).

2. Probabilitas

Probabilitas dapat didefinisikan sebagai kemungkinan atau tingkat kepercayaan terhadap suatu kejadian. Dalam konteks probabilitas, terdapat suatu eksperimen yang merujuk pada percobaan yang dilakukan untuk memperoleh hasil dari kejadian tertentu. Hasil dari kejadian tersebut berupa titik sampel. Probabilitas memiliki sejumlah rumus yang digunakan dalam

penggunaannya. Rumus probabilitas yang digunakan dalam lintasan terpendek adalah sebagai berikut (Dorigo & Stützle, 2004).

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - tabu_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}, & \text{untuk } j \in \{N - tabu_k\} \\ 0, & \text{untuk } j \text{ lainnya} \end{cases}$$

dengan

τ_{ij} : Jumlah feromon pada sisi i, j

η_{ij} : Visibilitas antar titik

α : Parameter pengontrol pengaruh feromon atau τ_{ij}

β : Parameter pengontrol pengaruh nilai visibilitas atau η_{ij}

N : Banyaknya semut

k' : Banyaknya semut yang tersisa

$N - tabu_k$: Titik berikutnya pada $tabu_k$

Rumus probabilitas tersebut diterapkan dalam pemilihan rute. Pada pengaplikasiannya, semut akan berjalan dari suatu tempat yang disebut dengan titik i menuju ke tempat lain yaitu titik j . Dalam perjalanan tersebut, semut menggunakan probabilitas (Karjono dkk., 2016).

3. Algoritma Greedy

Algoritma Greedy merupakan suatu metode yang mengambil solusi optimal lokal pada setiap tahapnya. Metode ini menyelesaikan permasalahan dengan pendekatan langkah demi langkah. Inti dari algoritma ini terletak pada pembentukan lintasan secara bertahap, dengan tujuan untuk meminimalkan jumlah total jarak yang ditempuh (Yulia & Rozali, 2019). Langkah-langkah dalam penyelesaian algoritma greedy adalah sebagai berikut:

- a. Memilih sembarang titik yang akan ditetapkan sebagai titik awal dan titik tujuan. Dengan demikian, apabila telah ditentukan sebuah titik sebagai V_1 maka V_1 juga merupakan sebagai titik akhir perjalanan.
- b. Menghitung kemungkinan solusi yang akan muncul dalam satu kali perjalanan yang dirumuskan dengan $(n - 1)!$, sehingga apabila $n = 4$ maka banyak kemungkinan jalur adalah $(4 - 1)! = 3! = 3 \times 2 \times 1 = 6$.
- c. Menentukan titik awal dan memilih tujuan berikutnya berdasarkan jarak terpendek.

Pada algoritma *ant colony*, algoritma greedy ini digunakan untuk menghitung feromon awal dengan rumus sebagai berikut (Musdalipa & Agusman, 2021),

$$\tau_{ij} = \tau_0 = \frac{k}{C_{greedy}}$$

dengan

τ_{ij} : Jumlah feromon pada sisi i, j .

τ_0 : Jumlah feromon pada kondisi awal.

k : Jumlah titik/banyak semut.

C_{greedy} : Hasil perhitungan algoritma greedy.

2.6 Anjuran Hidup Hemat dalam Ajaran Islam

Islam merupakan agama yang mengatur berbagai aspek kehidupan umatnya, baik dalam hal ibadah, muamalah (interaksi sosial), akhlak, dan adab. Islam mempunyai peranan yang esensial sebagai agama yang mulia dan Al-Qur'an serta hadits menjadi pedoman dan penopang dalam kehidupan yang sesuai dengan syari'at islam. Berpedoman Al-Qur'an dan hadits merupakan kewajiban dan hal

tersebut mempunyai dampak yang besar dalam kehidupan kita, baik dalam berperilaku ataupun dalam menyelesaikan permasalahan. Salah satu aspek penting yang diatur dalam Islam adalah bagaimana umatnya harus mengelola harta dan sumber daya dengan bijak, yaitu hidup hemat dan tidak boros. Hal ini sebagaimana yang telah diterangkan dalam Al-Qur'an surat Al-Isra' ayat 29 yang artinya (Kementrian Agama, 2022):

Dan janganlah engkau jadikan tanganmu terbelenggu pada lehermu (kikir) dan jangan (pula) engkau mengulurkannya secara berlebihan sebab nanti engkau menjadi tercela dan menyesal.

Pada Tafsir *Al-Munir* jilid 8, Wahbah Az-Zuhaili menjelaskan ayat ini setelah Allah SWT memberi perintah untuk menggunakan harta dengan baik. Allah menyebutkan adab dan etika dalam menggunakan harta dan bersikap secukupnya dalam kehidupan, dengan mencela sifat kikir dan melarang sifat boros. Dengan kata lain, jangan terlalu kikir pada diri sendiri dan keluarga dengan tidak menggunakan harta untuk menjalin persaudaraan dan berbuat baik kepada mereka. Selain itu, jangan pula kamu menyia-nyiakan hartamu dan membelanjakan harta secara berlebihan, dengan memberi mereka melebihi kemampuanmu dan melebihi penghasilanmu, sehingga tidak ada lagi yang tersisa di tanganmu (Rozali & Mudana, 2023).

Menurut Hamka, pada Tafsir *Al-Azhar* dalam Rozali & Mudana (2023) menjelaskan bahwa maksud ayat ini adalah jangan kikir dan jangan boros, atau royal, atau mubazir. Al-Qur'an dalam ayat ini mengibaratkan orang yang kikir dan boros itu sama dengan orang yang membelenggu kedua tangannya ke leher sehingga sulit digunakan untuk membuka pura uangnya. Orang yang boros tak berkunci diibaratkan orang yang tangannya lepas selepasnya, tidak

mempertimbangkan ketika hendak menggunakan hartanya (Rozali & Mudana, 2023).

Sayyid Quthb juga menjelaskan pada Tafsir *Fi Zhilal Qur'an* dalam Rozali & Mudana (2023), ayat ini berhubungan dengan persoalan larangan berperilaku mubazir atau boros. Allah memerintahkan untuk mengeluarkan uang secukupnya. Keseimbangan dalam segala aspek merupakan pedoman penting dalam sistem Islam. Sesuatu yang terlalu banyak atau terlalu sedikit merupakan sikap yang bertentangan dengan prinsip keseimbangan. Pola pengungkapan pada ayat ini menggunakan metode ilustratif. Ayat ini mengibaratkan sikap pelit dengan tangan yang terbelenggu pada leher, dan mengibaratkan sikap boros dengan tangan yang mengulur sambil terbuka, sampai tidak tersisa apapun di tangannya. Dan mengibaratkan dampak dari sikap pelit dan boros seolah-olah sikap hidup orang yang tercela dan menyesali diri (Rozali & Mudana, 2023).

Menghindari sifat boros atau hidup hemat adalah bagian dari mengamalkan hidup sederhana, bertanggung jawab, dan peduli terhadap sesama, yang semuanya merupakan prinsip utama dalam ajaran Islam. Ajaran Islam menekankan pentingnya hidup hemat, tidak berlebihan dalam membelanjakan harta, dan memastikan bahwa harta digunakan dengan cara yang baik dan benar. Hidup hemat bukan hanya soal finansial, tetapi juga merupakan bentuk ketaatan kepada Allah dan menjaga amanah yang diberikannya kepada kita.

2.7 Kajian Topik Dengan Teori Pendukung

Penerapan Algoritma ACO terhadap beberapa teori pendukung adalah untuk mencari rute terpendek pendistribusian barang. Berdasarkan hal tersebut, maka diharapkan rute terpendek ini dapat membantu dalam proses pendistribusian barang.

Hal ini bertujuan agar turunnya biaya distribusi dan lebih efisiensi waktu dalam melakukan distribusi barang.

Penerapan Algoritma ACO dengan teori pendukung akan dilakukan dalam beberapa langkah. Langkah pertama adalah deskripsi data. Berdasarkan data yang diperoleh dari PT. Bumi Pembangunan Pertiwi yang merupakan Gudang awal atau Perusahaan awal Pendistribusian barang bangunan ini. Terdapat setidaknya 48 data toko bangunan yang tersebar di beberapa titik kota Malang, Kabupaten Malang, dan Kota Batu. Dari sejumlah data tersebut, terdapat sekurang lebihnya 15 data tidak terverifikasi dan tidak ditemukan keberadaannya. Oleh karenanya, terdapat setidaknya 33 data yang akan diolah dan dicari rute terpendeknya. Titik-titik inilah yang kemudian dinotasikan untuk mempermudah penulisan dan perhitungan. Pada deskripsi data juga disertakan peta wilayah dan titik lokasi. Hal ini bertujuan untuk memberikan gambaran kepada para pembaca. Selain itu, akan diberikan tabel berisi jarak antar titik sebagai modal penelitian ditahap berikutnya. Pada deskripsi data akan dilakukan pemetaan terhadap wilayah-wilayah distribusi barang bangunan. Langkah berikutnya adalah mencari rute terpendek dengan Algoritma *Ant Colony*. Pencarian rute terpendek dimulai dari mengidentifikasi parameter dan nilai awal. Parameter yang digunakan antara lain α , β , dan ρ . Setelah itu, dilanjutkan dengan pencarian rute dengan bantuan algoritma greedy, menghitung feromon, mencari nilai visibilitas antar titik, hingga dilakukannya pembaruan feromon. Terakhir, akan ditemukan rute terpendek yang optimal.

Ant Colony Optimization merupakan salah satu dari sekian banyak algoritma yang dapat diterapkan dalam permasalahan pencarian rute terpendek. ACO memiliki keunggulan di mana algoritma tersebut dapat dilakukan dan lebih efisien

jika diterapkan pada banyak titik. Harapannya, algoritma ACO dapat memberikan solusi kepada para distributor barang. Dengan adanya penelitian ini, distributor dapat mengetahui apakah jarak tempuh pendistribusian barang lebih pendek dan efisien atau tidak setelah menerapkan algoritma *ant colony* dalam penelitian ini.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan menggunakan metode kuantitatif. Penelitian ini menggunakan pendekatan studi lapangan melalui *Google Maps* dan *Google Earth*. Studi lapangan dilakukan dengan mencari sumber-sumber informasi dengan mengumpulkan data dari obyek yang akan diteliti. Kemudian, dilakukan pengolahan data dan didapatkan suatu kesimpulan secara kuantitatif dari pengujian yang sudah dilakukan.

3.2 Data dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data lokasi pendistribusian barang bangunan yang diperoleh dari Perusahaan atau Gudang awal pendistribusian barang yaitu PT. Bumi Pembangunan Pertiwi. Data lokasi yang menjadi tujuan pendistribusian barang kemudian diolah dan diverifikasi keberadaannya menggunakan *google maps* dengan menyamakan dan memperbarui alamat yang ada dengan keadaan sebenarnya.

Berdasarkan data yang didapat, terdapat setidaknya 48 data toko bangunan atau gudang yang tersebar di beberapa titik kota Malang, Kabupaten Malang, dan Kota Batu. Dari sejumlah data tersebut, terdapat 15 data tidak terverifikasi lokasi dan tidak ditemukan keberadaannya. Oleh karenanya, terdapat setidaknya 33 data lokasi pendistribusian barang yang akan diolah dan dicari rute terpendeknya dalam penelitian ini.

3.3 Tahapan Penelitian

Untuk menentukan rute terpendek dalam penelitian ini dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menentukan titik gudang atau perusahaan awal yang akan menjadi awal pendistribusian barang dan menentukan titik-titik perusahaan atau toko bangunan yang akan dijadikan tujuan pendistribusian barang. Beserta jarak antar titik tersebut.
2. Identifikasi parameter ($\alpha = 1$, $\beta = 2$, $\rho = 0,5$).
3. Simbolisasi parameter-parameter algoritma yang terdiri dari:
 - a. Jumlah titik (n), dimana $n = 33$.
 - b. Visibilitas antar titik (η_{ij}) dan jarak antar titik (d_{ij}).
 - c. Tetapan siklus semut (Q), $Q = 1$.
 - d. Tetapan pengendalian intensitas jejak semut (α), $\alpha \geq 0$.
 - e. Tetapan pengendali visibilitas (β), $\beta \geq 0$.
 - f. Tetapan penguapan jejak semut (ρ), $0 < \rho < 1$.
 - g. Intensitas jejak semut/feromon antar titik (τ_{ij}), dan perubahan intensitas jejak semut/feromon antar titik ($\Delta\tau_{ij}$).
 - h. Jumlah siklus maksimum (NC_{max}). Pada permasalahan ini, siklus pertama ($NC = 1$) akan menggunakan nilai $\tau_{ij} = \tau_0 = \frac{\text{jumlah titik}}{C_{greedy}}$. Untuk siklus berikutnya jika diperlukan, nilai τ_{ij} akan diperbarui sampai dengan ($NC = NC_{max}$)
4. Mencari rute mula-mula dengan algoritma greedy. Hal ini digunakan untuk membantu mengoptimalkan rute pada algoritma *ant colony*.

5. Menghitung feromon awal dilakukan dengan cara menjumlahkan titik-titik yang menghasilkan total panjang rute sementara menggunakan algoritma greedy. Berikut rumus yang digunakan untuk menghitung feromon awal

$$\tau_{ij} = \tau_0 = \frac{\text{jumlah titik}}{C_{\text{greedy}}}.$$

6. Menghitung visibilitas antar titik $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$. Menghitung visibilitas antar titik tersebut yaitu untuk mengetahui jarak terjauh yang paling memungkinkan.
7. Menghitung probabilitas untuk setiap siklus atau semut. Pada tahap ini, probabilitas terhadap semut k ditujukan agar semut berpindah dari simpul i ke simpul j .

- a. Untuk menentukan titik tujuan akan digunakan persamaan probabilitas sebagai berikut.

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - \text{tabu}_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}, & \text{untuk } j \in \{N - \text{tabu}_k\} \\ 0, & \text{untuk } j \text{ lainnya} \end{cases}$$

Dengan i sebagai indeks titik asal dan j sebagai indeks titik tujuan.

- b. Penetapan titik selanjutnya dilakukan berdasarkan bilangan random dengan bantuan Excel. Semut melakukan perjalanan secara acak sehingga membutuhkan bilangan *random* dengan bantuan Microsoft Excel yang mana tidak berpihak pada suatu kelompok nilai tertentu. Bilangan random tersebut akan menunjukkan suatu nilai dalam rentang 0 sampai 1. Titik tujuan berikutnya yang dipilih berdasarkan selisih nilai probabilitas titik dengan random bernilai positif.

8. Menentukan rute terpendek sementara, dan masih perlu melakukan perhitungan perubahan intensitas feromon dan menghitung pembaruan feromon.
9. Melakukan perhitungan perubahan intensitas feromon. Perhitungan kembali intensitas feromon diperlukan karena terdapat penguapan feromon. Hal ini menyebabkan kemungkinan terjadinya perubahan nilai intensitas feromon. Persamaan perubahan nilai feromon adalah

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad \forall (i, j) \in tabu_k$$

dengan $\Delta\tau_{ij}^k$ adalah perubahan nilai intensitas feromon semut setiap iterasinya dengan persamaan sebagai berikut,

$$\Delta\tau_{ij}^k = \frac{Q}{C^k}$$

nilai $Q = 1$, dan C^k adalah panjang rute yang dibangun oleh semut ke- k .

10. Melakukan pembaruan feromon, $\tau_{ij}(\text{baru}) = (1 - \rho)\tau_{ij} + \Delta\tau_{ij}^k$, dengan nilai $\Delta\tau_{ij}^k = \frac{1}{C^k}$ yang telah dicari sebelumnya. Perhitungan nilai intensitas feromon ini akan digunakan untuk siklus selanjutnya jika diperlukan.
11. Analisa hasil perhitungan metode *Ant Colony Optimization* dari hasil perhitungan yang berupa jarak terpendek.
12. Melakukan uji pengaruh parameter. Dari perhitungan menggunakan algoritma ant colony penggunaan nilai pada parameter perlu dilakukan uji coba agar mengetahui hasil paling optimalnya.

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Algoritma Ant Colony dalam Mencari Rute Terpendek

4.1.1 Deskripsi Data dan Olah Data

Berikut beberapa lokasi tujuan pengiriman barang PT. Bumi Pembangunan

Pertiwi yang akan dicari rute terpendek dalam penelitian ini yaitu:

Tabel 4.1 Data Nama & Lokasi Pengiriman Barang

No.	Perusahaan	Alamat
1	PT. Bumi Pembangunan Pertiwi	Jl. Perusahaan Raya, Tajungtirto Semarak, Tajungtirto, Kec. Singosari, Kab. Malang
2	Depo Bangunan Malang	Depo Malang
3	TB. Karya Mandiri Malang	Jl. Soekarno Hatta No.71 RT.04/RW.08 Kel.Mojolangu Kec.Lowokwaru
4	PT. Mavens Mitra Perkasa	Perum permata jingga AA-27 Tunggulwulung Lowokwaru, Malang
5	PT. Tentrem Sejahtera Malang	Jl. Perusahaan Barat No.17 RT.05/RW.10, Plambesan, Tunjungtirto, Singosari
6	Galaxy Building Material Supplier Singosari	Jl. Raya Landang Singosari, Malang
7	UD. New Tunggal Jaya	Jl. Galunggung No.115, Gading Kasri, Kec. Klojen, Kota Malang
8	UD. Wijaya Mandiri	Jl. Wijaya Barat No.64 003/003 Pagentan Singosari, Malang
9	TB. Afia Jaya	Jl. Diponegoro No.194 Karangjati Ardimulyo Kec. Singosari, Kab. Singosari
10	UD. Sumber Jaya Singosari	Jl. Batu Retno, Dengkol, Singosari, Malang
11	Indra Surya	Jl. Panglima Sudirman No.30, Kesatrian, Kec. Blimbing, Kota Malang
12	Indra Surya 2	Jl. Kembar Bumiayu Malang
13	Toko Mapan Makmur	Jl. Danau Toba Blok B No.10, Sawojajar, Kec. Kedungkandang, Kota Malang
14	CV. Andhika Agung Perkasa	Jl. Patimura No.22 RT.4/RW.1 Kec.Klojen Kota Malang, Jawa Timur
15	Aneka Jaya Material	Jl. Kaliurang No. 19 Rampal Celaket, Malang, Jawa Timur

No.	Perusahaan	Alamat
16	Sentral Bangunan	Jl. Raya Karanglo No.131, Banjararum, Kec. Singosari, Kab. Malang
17	UD. Ilham Rizky	RT.1 RW.2, Srigading, Kec. Lawang, Kab. Malang, Jawa Timur
18	UD. Sumber Jaya Tayomarto	Jl. Candi Sumberawan No.17, Glatik, Toyomarto, Kec. Singosari, Kab. Malang
19	UD. Putera Dastrim	Jalan Raya Candi 2A Nomor 251 RT.5 RW.2, Karang Besuki, Karangbesuki, Kec. Sukun, Kota Malang, Jawa Timur
20	Toko Kunci Mas	Jl. Dieng Atas, Kunci, Kalisongo, Kec. Dau, Kab. Malang, Jawa Timur
21	Toko Sumber Jaya	Jl. Letjen S. Parman 16 Purwantoro, Blimbing, Kota Malang, Jawa Timur
22	TB. Mak Noer Pakisaji	Jl. Raya Segaran No.88, Kendakpayak, Kec. Pakisaji, Kab. Malang, Jawa Timur
23	Toko Al-Fatih	Jl. KH. Malik RT 03/06, Kedungkandang, Kec. Kedungkandang, Kota Malang
24	Toko Ragam Panca Baru	Jl. Kyai Tamin No.46, Sukoharjo, Kec. Klojen, Kota Malang, Jawa Timur
25	TB. Unggul Sentosa	Jl. Mojoasri No.70, Mojorejo, Kec. Junrejo, Kota Batu, Jawa Timur
26	TB. Santai Jaya	Jl. Kemantren II No.54, Bandungrejosari, Kec. Sukun, Kota Malang, Jawa Timur
27	UD. Lira	Jl. Mayjen Sungkono No.4, Buring, Kec. Kedungkandang, Kota Malang
28	TB. Tri Makmur	Jl. Langlang No.99, Langlang III, Kec. Singosari, Kab. Malang, Jawa Timur
29	TB. Sumber Lancar	Jl. Soekarno Hatta No.318, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur
30	TB. Maju Mapan	Jalan Balaikambang No. A1, Pagentan, Kec. Singosari, Kab. Malang, Jawa Timur
31	UD. Makmur Jaya Batu	Jl. Ir. Soekarno No.190, RW.02, Mojorejo, Kec. Junrejo, Kota Batu, Jawa Timur
32	TB. Sumber Jaya Batu	Jl. Dewi Sartika No.8, Temas, Kec. Batu, Kota Batu, Jawa Timur 65315
33	TB. Sinar Makmur Batu	Jl. WR. Supratman, Ngaglik, Kec. Batu, Kota Batu, Jawa Timur

Data nama dan lokasi perusahaan diperoleh dari perusahaan awal pendistribusian barang, yaitu PT. Bumi Pembangunan Pertiwi. Pengambilan titik tujuan pendistribusian ini berdasar pada rutinitas serta sistem pendistribusian yang lebih tinggi dibandingkan titik yang lainnya. Oleh karena itu penulis memilih 33 titik sebagai objek penelitian yang akan dicari rute terpendek dalam penelitian ini.

Berdasarkan sumber data, diambil 5 kendaraan yang akan melakukan pendistribusian barang dimana setiap kali pemberangkatan distribusi tersebut menuju ke beberapa toko atau perusahaan yang menjadi tujuan pendistribusian barang. Berikut pada tabel 4.2 merupakan klasifikasi data tujuan pendistribusian barang berdasarkan jarak dan keberangkatan atau kendaraan.

Tabel 4.2 Klasifikasi Data Berdasarkan Jarak & Kendaraan

Perusahaan awal	Kendaraan ke-	Simbol	Tujuan Pendistribusian	Simbol
PT. Bumi Pembangunan Pertiwi	1	V_A	Depo Bangunan Malang	V_1
			TB. Karya Mandiri Malang	V_2
			PT. Mavens Mitra Perkasa	V_3
			PT. Tentrem Sejahtera Malang	V_4
PT. Bumi Pembangunan Pertiwi	2	V_B	Sentral Bangunan	V_5
			TB. Maju Mapan	V_6
			UD. Wijaya Mandiri	V_7
			UD. Sumber Jaya	V_8
			UD. Ilham Rizky	V_9
			TB. Afia Jaya	V_{10}
			UD. Sumber Jaya Toyomarto	V_{11}
PT. Bumi Pembangunan Pertiwi	3	V_C	Toko Sumber Jaya	V_{12}
			Aneka Jaya Material	V_{13}
			Indra Surya	V_{14}
			CV. Andhika Agung Perkasa	V_{15}
			UD. New Tunggal Jaya	V_{16}
			UD. Petera Dastrim	V_{17}
			Toko Kunci Mas	V_{18}
	4	V_D	Toko Mapan Makmur	V_{19}
			Toko Ragam Panca Baru	V_{20}

Perusahaan awal	Kendaraan ke-	Simbol	Tujuan Pendistribusian	Simbol
PT. Bumi Pembangunan Pertiwi			Toko Al-Fatih	V_{21}
			UD. Lira	V_{22}
			Indra Surya 2	V_{23}
			TB. Mak Noer Pakisaji	V_{24}
			TB. Santai Jaya	V_{25}
PT. Bumi Pembangunan Pertiwi	5	V_E	Galaxy Building Material Singosari	V_{26}
			TB. Tri Makmur	V_{27}
			TB. Sumber Lancar	V_{28}
			UD. Makmur Jaya Batu	V_{29}
			TB. Unggul Sentosa	V_{30}
			TB. Sinar Makmur Batu	V_{31}
			TB. Sumber Jaya Batu	V_{32}

Titik-titik tujuan pendistribusian di atas disimbolkan dengan huruf V dengan angka 1 sampai 32, lalu untuk keberangkatan atau kendaraan pengiriman barang di simbolkan dengan V dengan huruf A sampai E. Hal ini dilakukan untuk menjadi penanda antara beberapa titik yang akan dipakai dalam penelitian. Penanda simbol tersebut digunakan agar pemilihan data yang diinginkan menjadi lebih mudah.

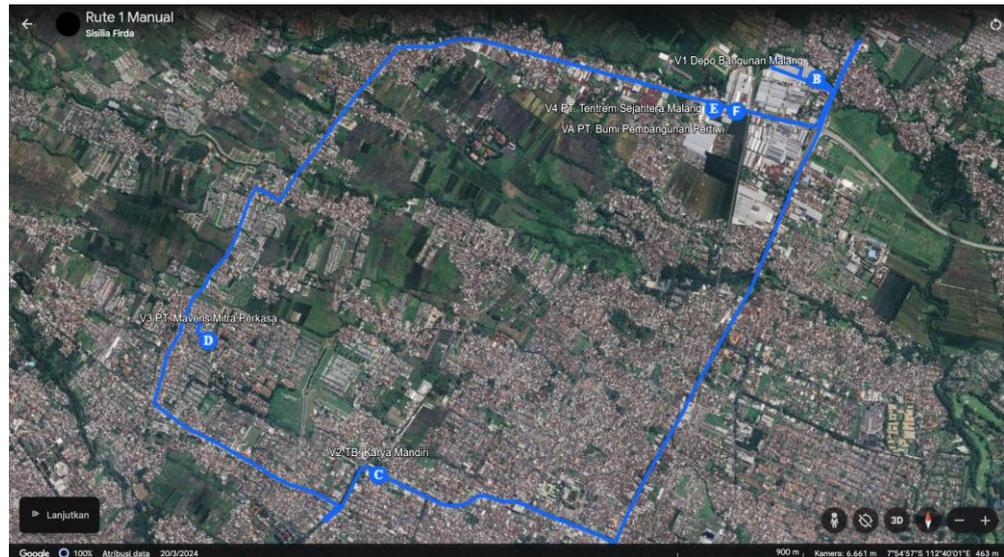
4.1.2 Inisialisasi Nilai Parameter

Penelitian ini menetapkan nilai parameter dengan menggunakan berbagai pertimbangan. Parameter yang perlu diinisialisasi adalah α , β , dan ρ . Parameter α , β , dan ρ dibentuk berdasarkan studi literatur yang mengatakan bahwa α memiliki rentang 0 sampai dengan 1. Parameter beta yakni $\beta = 2$, dianggap lebih efektif dan hasilnya lebih konvergen ke suatu nilai. Pada ρ akan dipilih $\rho = 0,5$. Oleh karena itu, pada penelitian ini menggunakan nilai parameter $\alpha = 1$, $\beta = 2$, dan $\rho = 0,5$.

4.1.3 Perhitungan Rute Terpendek

4.1.3.1 Perhitungan Rute Terpendek Kendaraan 1

Berikut merupakan peta jalur pengiriman barang kendaraan 1 beserta titik bantuan dari gudang awal atau PT. Bumi Pembangunan Pertiwi menuju lima titik tujuan pengiriman dengan skala 1:1.000.



Gambar 4.1 Rute Pengiriman Barang Kendaraan 1

Berdasarkan data yang didapat dari hasil pencarian dengan bantuan petunjuk arah google maps maka dapat disusun jarak tempuh (km) dari titik awal pendistribusian barang yaitu PT. Bumi Pembangunan Pertiwi menuju masing-masing titik tujuan pendistribusian barang. Dari Gambar 4.1, akan diambil data jarak antar titik pendistribusian barang kendaraan 1 sebagai berikut.

Tabel 4.3 Data Jarak Antar Titik Kendaraan

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_A	0	1,012	6,932	5,26	0,184
V_1	1,012	0	6,25	7,13	2,052
V_2	6,932	6,25	0	3,12	5,765
V_3	5,26	7,13	3,12	0	5,16
V_4	0,184	2,052	5,765	5,16	0

Kemudian, melakukan perhitungan foromon awal yang diperoleh berdasarkan algoritma greedy dengan menggunakan rumus $\tau_{ij} = \tau_0 = \frac{k}{C_{greedy}}$. Berikut merupakan perhitungan algoritma greedy.

1. Memilih titik awal yakni V_A .
2. V_A merupakan titik pertama, dan yang menjadi titik berikutnya adalah titik yang memiliki jarak terdekat dengan V_A . Titik-titik tersebut yakni V_1, V_2, V_3 , dan V_4 yang secara berturut-turut memiliki jarak 1,012; 6,932; 5,26; dan 0,184 dalam satuan km. Maka dari itu, dipilih titik V_4 sebagai rute berikutnya karena memiliki jarak yang pendek diantara titik yang lain yaitu 0,184 km. Sehingga diperoleh rute $V_A \rightarrow V_4$.
3. Melakukan cara yang sama dengan langkah ke-2 dimana dimulai dari titik yang terpilih yaitu V_4 , dan akan dicari titik jarak terdekat dengan V_4 . Terdapat titik V_1, V_2 , dan V_3 masing-masing memiliki jarak 2,052; 5,765; dan 5,16. Berdasarkan jarak tersebut, maka diambil jarak terpendek dengan V_4 yakni V_1 dengan jarak 2,052. Sehingga rute menjadi $V_A \rightarrow V_4 \rightarrow V_1$.
4. Rute berikutnya dimulai dari titik V_1 . Titik tujuan berikutnya yang tersedia yaitu V_2 dan V_3 , masing-masing memiliki jarak 6,25 dan 7,131. Ambil jarak terpendek dengan V_1 yaitu V_2 . Sehingga diperoleh rute $V_A \rightarrow V_4 \rightarrow V_1 \rightarrow V_2$.
5. Terdapat satu titik yang belum dikunjungi yakni V_3 , sehingga V_3 menjadi titik tujuan berikutnya. Jarak antara V_2 dan V_3 sejauh 3,12 km. Sehingga diperoleh rute $V_A \rightarrow V_4 \rightarrow V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow V_3$.

Karena dalam permasalahan *Traveling Salesman Problem* setelah mengunjungi semua titik, harus kembali ke titik asal maka diperoleh rute terpendek dengan bantuan algoritma greedy yaitu $V_A \rightarrow V_4 \rightarrow V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow V_3 \rightarrow V_A$, sehingga diperoleh jarak minimal $C_{greedy} = 0,184 + 2,052 + 6,25 + 3,12 + 5,26 = 16,866$ km.

Hasil dari perhitungan di atas dibutuhkan untuk menentukan nilai feromon awal dengan rumus $\tau_{ij} = \tau_0 = \frac{k}{C_{greedy}}$. Berdasarkan hal tersebut, maka $\tau_{ij} = \tau_0 = \frac{5}{16,866} = 0,296$.

Langkah berikutnya adalah menghitung visibilitas antar titik dengan menggunakan rumus $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$. Dimana d_{ij} merupakan jarak antara titik yang telah diketahui. Berikut merupakan contoh perhitungan visibilitas antara titik V_A ke V_1 yang dilambangkan dengan η_{A1} dan V_A ke V_2 yang dilambangkan dengan η_{A2} .

$$\eta_{A1} = \frac{1}{d_{A1}} = \frac{1}{1,012} = 0,988$$

$$\eta_{A2} = \frac{1}{d_{A2}} = \frac{1}{6,932} = 0,144$$

Perhitungan tersebut diimplementasikan ke dalam tabel visibilitas antar titik pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Visibilitas antar Titik

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_A	0	0,988	0,144	0,19	5,435
V_1	0,988	0	0,16	0,14	0,487
V_2	0,144	0,16	0	0,32	0,173
V_3	0,19	0,14	0,32	0	0,194
V_4	5,435	0,487	0,173	0,194	0

Langkah berikutnya yaitu menghitung nilai probabilitas. Menghitung probabilitas berfungsi untuk menentukan rute kunjungan setiap semut kesetiap lokasi tujuan, tentunya dengan berbagai asumsi. Asumsi pertama, semut tidak mengunjungi titik lokasi yang sama. Asumsi kedua, semut melakukan perjalanan secara acak sehingga membutuhkan bilangan *random* dengan bantuan Microsoft Excel yang mana tidak berpihak pada suatu kelompok nilai tertentu. Berikut merupakan perhitungan probabilitas untuk siklus pertama ($NC = 1$).

Siklus ke-1 ($NC = 1$)

Semut ke-1 (k_1)

Perjalanan semut pertama dimulai dengan $V_A \rightarrow V_1$. Hal ini ditujukan untuk pemerataan kemungkinan rute, sehingga semut dipaksa untuk mengunjungi titik awal sesuai arahan. Maka dari itu, tabu list yang digunakan adalah V_1 yang ditampilkan pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Visibilitas Semut ke-1 antara Titik V_1 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_A	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0,16	0,14	0,487
V_2	0	0,16	0	0,32	0,173
V_3	0	0,14	0,32	0	0,194
V_4	0	0,487	0,173	0,194	0

Rumus probabilitas pada algoritma *ant colony*.

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - tabu_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}, & \text{untuk } j \in \{N - tabu_k\} \\ 0, & \text{untuk } j \text{ lainnya} \end{cases}$$

$$\sum_{k' \in \{N - tabu_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta = ((0,296)^1(0)^2 + (0,296)^1(0,16)^2 + (0,296)^1(0,14)^2 + (0,296)^1(0,487)^2)$$

$$= 0,0836$$

$$\text{Titik } V_A = P_{ij}^1 = 0$$

$$\text{Titik } V_1 = P_{ij}^1 = 0$$

$$\text{Titik } V_2 = P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - \text{tabu}_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{[0,296]^1 \cdot [0,16]^2}{0,0836} = 0,0906$$

$$\text{Titik } V_3 = P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - \text{tabu}_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{[0,296]^1 \cdot [0,14]^2}{0,084} = 0,0694$$

$$\text{Titik } V_4 = P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - \text{tabu}_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{[0,296]^1 \cdot [0,487]^2}{0,084} = 0,8397$$

Tabel 4.6 Probabilitas Semut ke-1 antara Titik V_1 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_1	0	0	0,0906	0,0694	0,8397
Prob.	0	0	0,0906	0,1605	1

Bilangan random yang muncul pada excel adalah 0,0857. Hal tersebut mengartikan bahwa titik berikutnya adalah V_2 . Maka dari itu, rute semut pertama saat ini yakni $V_A \rightarrow V_1 \rightarrow V_2$. Sehingga tabu list V_2 ditunjukkan pada pembaruan visibilitas pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Visibilitas Semut ke-1 antara Titik V_2 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_A	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0,14	0,487
V_2	0	0	0	0,32	0,173
V_3	0	0,14	0,32	0	0,194
V_4	0	0,487	0,173	0,194	0

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - \text{tabu}_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} , \text{ untuk } j \in \{N - \text{tabu}_k\} \\ 0 , \text{ untuk } j \text{ lainnya} \end{cases}$$

$$\sum_{k' \in \{N - \text{tabu}_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta = (0,296)^1(0)^2 + (0,296)^1(0)^2 + (0,296)^1(0,32)^2 + (0,296)^1(0,173)^2$$

$$= 0,039$$

$$\text{Titik } V_A = P_{ij}^1 = 0$$

$$\text{Titik } V_1 = P_{ij}^1 = 0$$

$$\text{Titik } V_2 = P_{ij}^1 = 0$$

$$\text{Titik } V_3 = P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - \text{tabu}_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{(0,296)^1 (0,32)^2}{0,039} = 0,777$$

$$\text{Titik } V_4 = P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - \text{tabu}_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{(0,296)^1 (0,173)^2}{0,039} = 0,227$$

Tabel 4.8 Probabilitas Semut ke-1 antara Titik V_2 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_1	0	0	0	0,777	0,227
Prob.	0	0	0	0,777	1

Bilangan random yang muncul pada excel adalah 0,681. Hal tersebut mengartikan bahwa titik berikutnya adalah V_3 . Maka dari itu, rute semut pertama saat ini adalah $V_A \rightarrow V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow V_3$. Sehingga tabu list V_3 ditunjukkan pada pembaruan visibilitas pada tabel 4.9 dibawah ini.

Tabel 4.9 Visibilitas Semut ke-1 antara Titik V_3 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_A	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0,487
V_2	0	0	0	0	0,173
V_3	0	0	0	0	0,194
V_4	0	0	0	0,194	0

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - \text{tabu}_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} , \text{ untuk } j \in \{N - \text{tabu}_k\} \\ 0 , \text{ untuk } j \text{ lainnya} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \sum_{k' \in \{N - \text{tabu}_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta &= (0,296)^1 (0)^2 + (0,296)^1 (0)^2 + \\ &\quad (0,296)^1 (0)^2 + (0,296)^1 (0,194)^2 \\ &= 0,0111 \end{aligned}$$

$$\text{Titik } V_A = P_{ij}^1 = 0$$

$$\text{Titik } V_1 = P_{ij}^1 = 0$$

$$\text{Titik } V_2 = P_{ij}^1 = 0$$

$$\text{Titik } V_3 = P_{ij}^1 = 0$$

$$\text{Titik } V_4 = P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - \text{tabu}_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{(0,296)^1 (0,194)^2}{0,0111} = 1$$

Tabel 4.10 Probabilitas Semut ke-1 antara Titik V_3 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_1	0	0	0	0	1
Prob.	0	0	0	0	1

Rute yang dihasilkan oleh $NC = 1$ dengan k_1 atau semut ke-1 pada perhitungan manual adalah $V_A \rightarrow V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4$.

Semut ke-2 (k_2)

Perjalanan semut kedua atau k_2 dimulai dengan $V_A \rightarrow V_2$. Hal ini ditujukan untuk pemerataan kemungkinan rute, sehingga pada awal semut dipaksa untuk mengunjungi titik sesuai arahan. Maka dari itu, tabu list yang digunakan adalah V_2 yang disajikan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Visibilitas Semut ke-2 antara Titik V_2 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_A	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0,16	0,14	0,487
V_2	0	0,16	0	0,32	0,173
V_3	0	0,14	0,32	0	0,193
V_4	0	0,487	0,173	0,193	0

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - \text{tabu}_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} , & \text{untuk } j \in \{N - \text{tabu}_k\} \\ 0 & , \text{untuk } j \text{ lainnya} \end{cases}$$

$$\begin{aligned}\sum_{k' \in \{N - tabu_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta &= ((0,296)^1(0,16)^2 + (0,296)^1(0)^2 + \\ &\quad (0,296)^1(0,32)^2 + (0,296)^1(0,173)^2) \\ &= 0,047\end{aligned}$$

$$\text{Titik } V_A = P_{ij}^2 = 0$$

$$\text{Titik } V_1 = P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - tabu_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{[0,296]^1 \cdot [0,16]^2}{0,047} = 0,16$$

$$\text{Titik } V_2 = P_{ij}^1 = 0$$

$$\text{Titik } V_3 = P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - tabu_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{[0,296]^1 \cdot [0,32]^2}{0,047} = 0,65$$

$$\text{Titik } V_4 = P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - tabu_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{[0,296]^1 \cdot [0,173]^2}{0,047} = 0,19$$

Tabel 4.12 Probabilitas Semut ke-2 antara Titik V_2 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_1	0	0,16	0	0,65	0,19
Prob.	0	0,16	0,16	0,81	1

Bilangan random yang muncul pada excel adalah 0,904. Hal tersebut mengartikan bahwa titik berikutnya adalah V_4 . Maka dari itu, rute semut kedua saat ini adalah $V_A \rightarrow V_2 \rightarrow V_4$. Sehingga tabu list V_4 ditunjukkan pada pembaruan visibilitas pada tabel 4.13.

Tabel 4.13 Visibilitas Semut ke-2 antara Titik V_4 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_A	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0,14	0,487
V_2	0	0	0	0	0
V_3	0	0,14	0	0	0,193
V_4	0	0,487	0	0,193	0

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - tabu_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}, & \text{untuk } j \in \{N - tabu_k\} \\ 0 & , \text{untuk } j \text{ lainnya} \end{cases}$$

$$\begin{aligned}\sum_{k' \in \{N - \text{tabu}_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta &= ((0,296)^1(0,487)^2 + (0,296)^1(0)^2 + \\ &\quad (0,296)^1(0,193)^2 + (0,296)^1(0)^2) \\ &= 0,081\end{aligned}$$

$$\text{Titik } V_A = P_{ij}^2 = 0$$

$$\text{Titik } V_1 = P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - \text{tabu}_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{[0,296]^1 \cdot [0,487]^2}{0,081} = 0,86$$

$$\text{Titik } V_2 = P_{ij}^1 = 0$$

$$\text{Titik } V_3 = P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - \text{tabu}_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{[0,296]^1 \cdot [0,193]^2}{0,081} = 0,14$$

$$\text{Titik } V_4 = P_{ij}^2 = 0$$

Tabel 4.14 Probabilitas Semut ke-2 antara Titik V_4 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_1	0	0,86	0	0,14	0
Prob.	0	0,86	0,86	1	1

Bilangan random yang muncul pada excel adalah 0,602. Hal tersebut mengartikan bahwa titik berikutnya adalah V_1 . Maka dari itu, rute semut ke-2 saat ini adalah $V_A \rightarrow V_2 \rightarrow V_4 \rightarrow V_1$. Sehingga tabu list V_1 ditunjukkan pada pembaruan visibilitas pada tabel 4.15.

Tabel 4.15 Visibilitas Semut ke-2 antara Titik V_1 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_A	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0,14	0
V_2	0	0	0	0	0
V_3	0	0,14	0	0	0
V_4	0	0	0	0	0

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - \text{tabu}_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} , & \text{untuk } j \in \{N - \text{tabu}_k\} \\ 0 & , \text{untuk } j \text{ lainnya} \end{cases}$$

$$\begin{aligned}\sum_{k' \in \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta &= ((0,296)^1(0,14)^2 + (0,296)^1(0)^2 + \\ &\quad (0,296)^1(0)^2 + (0,296)^1(0)^2) \\ &= 0,0058\end{aligned}$$

$$\text{Titik } V_A = P_{ij}^2 = 0$$

$$\text{Titik } V_1 = P_{ij}^2 = 0$$

$$\text{Titik } V_2 = P_{ij}^1 = 0$$

$$\text{Titik } V_3 = P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N-tabu_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{[0,296]^1 \cdot [0,14]^2}{0,0058} = 1$$

$$\text{Titik } V_4 = P_{ij}^2 = 0$$

Tabel 4.16 Probabilitas Semut ke-2 antara Titik V_1 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_1	0	0	0	0	0
Prob.	0	0	0	1	1

Pembaharuan tabu list terakhir dapat dilihat pada tabel 4.17

Tabel 4.17 Visibilitas Terakhir Semut ke-2

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_A	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0
V_2	0	0	0	0	0
V_3	0	0	0	0	0
V_4	0	0	0	0	0

Berdasarkan tabel 4.17, maka dapat disimpulkan bahwa semua titik telah dikunjungi. Rute yang dihasilkan pada $NC = 1$ oleh k_2 atau semut ke-2 adalah $V_A \rightarrow V_2 \rightarrow V_4 \rightarrow V_1 \rightarrow V_3$.

Semut ke-3 (k_3)

Perjalanan semut ketiga (k_3) dimulai dengan $V_A \rightarrow V_3$. Hal ini ditujukan untuk pemerataan kemungkinan rute, sehingga pada awal semut

dipaksa untuk mengunjungi titik sesuai arahan. Maka dari itu, tabu list yang digunakan adalah V_3 yang disajikan pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Visibilitas Semut ke-3 antara Titik V_3 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_A	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0,16	0,14	0,487
V_2	0	0,16	0	0,32	0,173
V_3	0	0,14	0,32	0	0,193
V_4	0	0,487	0,173	0,193	0

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - tabu_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}, & \text{untuk } j \in \{N - tabu_k\} \\ 0, & \text{untuk } j \text{ lainnya} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \sum_{k' \in \{N - tabu_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta &= ((0,296)^1(0,14)^2 + (0,296)^1(0,32)^2 + \\ &\quad (0,296)^1(0)^2 + (0,296)^1(0,193)^2) \\ &= 0,047 \end{aligned}$$

$$\text{Titik } V_A = P_{ij}^2 = 0$$

$$\text{Titik } V_1 = P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - tabu_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{[0,296]^1 \cdot [0,14]^2}{0,047} = 0,123$$

$$\text{Titik } V_2 = P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - tabu_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{[0,296]^1 \cdot [0,32]^2}{0,047} = 0,645$$

$$\text{Titik } V_3 = P_{ij}^2 = 0$$

$$\text{Titik } V_4 = P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - tabu_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{[0,296]^1 \cdot [0,193]^2}{0,047} = 0,234$$

Tabel 4.19 Probabilitas Semut ke-3 antara Titik V_3 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_1	0	0,123	0,645	0	0,234
Prob.	0	0,123	0,768	0,768	1

Bilangan random yang muncul pada excel adalah 0,286. Hal tersebut mengartikan bahwa titik berikutnya adalah V_2 . Maka dari itu rute semut ke-3

saat ini adalah $V_A \rightarrow V_3 \rightarrow V_2$. Sehingga tabu list V_2 ditunjukkan pada pembaharuan visibilitas pada tabel 4.20

Tabel 4.20 Visibilitas Semut ke-3 antara Titik V_2 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_A	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0,16	0	0,487
V_2	0	0,16	0	0	0,173
V_3	0	0	0	0	0
V_4	0	0,487	0,173	0	0

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - tabu_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}, & \text{untuk } j \in \{N - tabu_k\} \\ 0, & \text{untuk } j \text{ lainnya} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \sum_{k' \in \{N - tabu_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta &= ((0,296)^1 (0,16)^2 + (0,296)^1 (0)^2 + \\ &\quad (0,296)^1 (0)^2 + (0,296)^1 (0,173)^2) \\ &= 0,016 \end{aligned}$$

$$\text{Titik } V_A = P_{ij}^2 = 0$$

$$\text{Titik } V_1 = P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - tabu_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{[0,296]^1 \cdot [0,16]^2}{0,016} = 0,473$$

$$\text{Titik } V_2 = P_{ij}^1 = 0$$

$$\text{Titik } V_3 = P_{ij}^2 = 0$$

$$\text{Titik } V_4 = P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - tabu_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{[0,296]^1 \cdot [0,173]^2}{0,016} = 0,553$$

Tabel 4.21 Probabilitas Semut ke-2 antara Titik V_1 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_1	0	0,473	0	0	0,553
Prob.	0	0,473	0,473	0,473	1

Bilangan random yang muncul pada excel adalah 0,195. Berdasarkan nilai probabilitas diatas, hal tersebut mengartikan bahwa titik berikutnya

adalah V_1 . Maka dari itu, rute semut ke-3 saat ini adalah $V_A \rightarrow V_3 \rightarrow V_2 \rightarrow V_1$.

Sehingga tabu list V_1 ditunjukkan pada pembaruan visibilitas pada tabel 4.22.

Tabel 4.22 Visibilitas Semut ke-3 antara Titik V_1 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_A	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0,487
V_2	0	0	0	0	0,173
V_3	0	0	0	0	0
V_4	0	0,487	0,173	0	0

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - tabu_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}, & \text{untuk } j \in \{N - tabu_k\} \\ 0, & \text{untuk } j \text{ lainnya} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \sum_{k' \in \{N - tabu_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta &= ((0,296)^1(0)^2 + (0,296)^1(0)^2 + \\ &\quad (0,296)^1(0)^2 + (0,296)^1(0,487)^2) \\ &= 0,0702 \end{aligned}$$

$$\text{Titik } V_A = P_{ij}^2 = 0$$

$$\text{Titik } V_1 = P_{ij}^2 = 0$$

$$\text{Titik } V_2 = P_{ij}^1 = 0$$

$$\text{Titik } V_3 = P_{ij}^2 = 0$$

$$\text{Titik } V_4 = P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N - tabu_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{[0,296]^1 \cdot [0,14]^2}{0,0058} = 1$$

Tabel 4.23 Probabilitas Semut ke-2 antara Titik V_1 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_1	0	0	0	0	1
Prob.	0	0	0	0	1

Pembaruan tabu list terakhir dapat dilihat pada tabel 4.24

Tabel 4.24 Visibilitas Terakhir Semut ke-3

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_A	0	0	0	0	0

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_1	0	0	0	0	0
V_2	0	0	0	0	0
V_3	0	0	0	0	0
V_4	0	0	0	0	0

Berdasarkan tabel 4.24, maka dapat disimpulkan bahwa semua titik telah dikunjungi. Rute yang dihasilkan pada $NC = 1$ oleh semut ke-3 atau k_3 adalah $V_A \rightarrow V_3 \rightarrow V_2 \rightarrow V_1 \rightarrow V_4$.

Semut ke-4 (k_4)

Perjalanan semut keempat dimulai dengan $V_A \rightarrow V_4$. Hal ini ditujukan untuk pemerataan kemungkinan rute, sehingga diawal semut dipaksa untuk mengunjungi titik sesuai arahan. Maka dari itu, tabu list yang digunakan adalah V_4 yang disajikan pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Visibilitas Semut ke-4 antara Titik V_4 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_A	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0,16	0,14	0,487
V_2	0	0,16	0	0,32	0,173
V_3	0	0,14	0,32	0	0,193
V_4	0	0,487	0,173	0,193	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum_{k' \in \{N - \text{tabu}_{k'}\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta &= ((0,296)^1(0,487)^2 + (0,296)^1(0,173)^2 + \\ &\quad (0,296)^1(0,193)^2 + (0,296)^1(0)^2) \\ &= 0,09 \end{aligned}$$

$$\text{Titik } V_A = P_{ij}^2 = 0$$

$$\text{Titik } V_1 = P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N-\text{tabu}_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{[0,296]^1 \cdot [0,487]^2}{0,09} = 0,78$$

$$\text{Titik } V_2 = P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N-\text{tabu}_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{[0,296]^1 \cdot [0,173]^2}{0,09} = 0,098$$

$$\text{Titik } V_3 = P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N-\text{tabu}_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{[0,296]^1 \cdot [0,193]^2}{0,09} = 0,122$$

$$\text{Titik } V_4 = P_{ij}^2 = 0$$

Tabel 4.26 Probabilitas Semut ke-4 antara Titik V_4 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_1	0	0,78	0,098	0,122	0
Prob.	0	0,78	0,878	1	1

Bilangan random yang muncul pada excel adalah 0,578. Hal tersebut mengartikan bahwa titik berikutnya adalah V_1 . Maka dari itu, rute semut keempat saat ini adalah $V_A \rightarrow V_4 \rightarrow V_1$. Sehingga tabu list V_1 ditunjukkan pada pembaharuan visibilitas pada tabel 4.27.

Tabel 4.27 Visibilitas Semut ke-4 antara Titik V_1 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_A	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0,16	0,14	0
V_2	0	0,16	0	0,32	0
V_3	0	0,14	0,32	0	0
V_4	0	0	0	0	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum_{k' \in \{N-\text{tabu}_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta &= ((0,296)^1(0)^2 + (0,296)^1(0,16)^2 + \\ &\quad (0,296)^1(0,14)^2 + (0,296)^1(0)^2) \\ &= 0,0134 \end{aligned}$$

$$\text{Titik } V_A = P_{ij}^2 = 0$$

$$\text{Titik } V_1 = P_{ij}^2 = 0$$

$$\text{Titik } V_2 = P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N-\text{tabu}_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{[0,296]^1 \cdot [0,16]^2}{0,0134} = 0,566$$

$$\text{Titik } V_3 = P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N-\text{tabu}_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{[0,296]^1 \cdot [0,14]^2}{0,0134} = 0,433$$

$$\text{Titik } V_4 = P_{ij}^2 = 0$$

Tabel 4.28 Probabilitas Semut ke-4 antara Titik V_1 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_1	0	0	0,566	0,433	0
Prob.	0	0	0,566	1	1

Bilangan random yang muncul pada excel adalah 0,772. Hal tersebut mengartikan bahwa titik berikutnya adalah V_3 . Maka dari itu, rute semut ke-4 saat ini adalah $V_A \rightarrow V_4 \rightarrow V_1 \rightarrow V_3$. Sehingga tabu list V_3 ditunjukkan pada pembaharuan visibilitas pada tabel 4.29.

Tabel 4.29 Visibilitas Semut ke-4 antara Titik V_3 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_A	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0
V_2	0	0	0	0,32	0
V_3	0	0	0,32	0	0
V_4	0	0	0	0	0

Berdasarkan rumus probabilitas, maka didapatkan hasil dari perhitungan penyebutnya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum_{k' \in \{N-\text{tabu}_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta &= ((0,296)^1(0)^2 + (0,296)^1(0,32)^2 + \\ &\quad (0,296)^1(0)^2 + (0,296)^1(0)^2) \\ &= 0,0303 \end{aligned}$$

$$\text{Titik } V_A = P_{ij}^2 = 0$$

$$\text{Titik } V_1 = P_{ij}^2 = 0$$

$$\text{Titik } V_2 = P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k' \in \{N-\text{tabu}_k\}} [\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{[0,296]^1 \cdot [0,32]^2}{0,0303} = 1$$

$$\text{Titik } V_3 = P_{ij}^2 = 0$$

$$\text{Titik } V_4 = P_{ij}^2 = 0$$

Tabel 4.30 Probabilitas Semut ke-4 antara Titik V_3 ke Titik Lainnya

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_1	0	0	1	0	0
Prob.	0	0	1	1	1

Pembaharuan tabu list terakhir dapat dilihat pada tabel 4.31

Tabel 4.31 Visibilitas Terakhir Semut ke-4

	V_A	V_1	V_2	V_3	V_4
V_A	0	0	0	0	0
V_1	0	0	0	0	0
V_2	0	0	0	0	0
V_3	0	0	0	0	0
V_4	0	0	0	0	0

Berdasarkan tabel 4.31, maka dapat disimpulkan bahwa semua titik telah dikunjungi. Rute yang dihasilkan pada $NC = 1$ oleh semut ke-4 (k_4) adalah $V_A \rightarrow V_4 \rightarrow V_1 \rightarrow V_3 \rightarrow V_2$.

Berdasarkan perhitungan $NC = 1$ atau siklus 1, pada k_1, k_2, k_3 , dan k_4 diberikan pada tabel 4.32 guna untuk meringkas dan melihat rute dengan jarak paling pendek dan berdasarkan pengertian *Travelling Salesman Problem* dimulai dari titik awal dan berakhir dititik awal pula maka diperoleh perjalanan semut untuk siklus pertama sebagai berikut.

Tabel 4.32 Rute Perjalanan Semut dan Perubahan Jumlah Feromonnya

Semut	Tabu List	Panjang (C^k)	$\Delta\tau_{ij}^k = \frac{1}{C^k}$
k_1	$V_A \rightarrow V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 \rightarrow V_A$	15,726	0,064
k_2	$V_A \rightarrow V_2 \rightarrow V_4 \rightarrow V_1 \rightarrow V_3 \rightarrow V_A$	27,139	0,037

Semut	Tabu List	Panjang (C^k)	$\Delta\tau_{ij}^k = \frac{1}{C^k}$
k_3	$V_A \rightarrow V_3 \rightarrow V_2 \rightarrow V_1 \rightarrow V_4 \rightarrow V_A$	16,866	0,059
k_4	$V_A \rightarrow V_4 \rightarrow V_1 \rightarrow V_3 \rightarrow V_2 \rightarrow V_A$	19,418	0,051

Setelah melakukan perhitungan panjang rute dan diperoleh rute terpendeknya, selanjutnya yakni menghitung perubahan intensitas feromon. Dengan nilai Q adalah 1, dan nilai C^k yang telah diperoleh, maka didapatkan nilai $\Delta\tau_{ij}^k$ dapat dilihat pada tabel 4.32 diatas.

Pada siklus pertama ($NC = 1$) diperoleh rute terbaik yaitu oleh semut k_1 dengan panjang rute 15,726 km dengan rute $V_A \rightarrow V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 \rightarrow V_A$ dan perubahan feromon yang terjadi sebesar 0,064, yang mana tingkat penguapan feromon rute ini lebih rendah dibandingkan dengan rute lainnya.

Setelah didapat informasi mengenai rute terbaik, pembaruan feromon akan dilakukan. Pembaruan feromon ini akan digunakan pada perhitungan iterasi berikutnya jika diperlukan. Pembaruan feromon dilakukan dengan melibatkan nilai $\rho = 0.5$ yang telah ditetapkan diawal, dan juga melibatkan nilai feromon awal yang didapatkan dari algoritma greedy ($\tau_{ij} = \tau_0 = 0,296$). Pembaruan feromon juga melibatkan nilai $\Delta\tau_{ij}^k$ yang diperoleh dari hasil akhir iterasi ke-1 yaitu 0,064. Berikut merupakan perhitungan pembaruan feromon.

$$\tau_{ij}(\text{baru}) = (1 - \rho)\tau_{ij} + \Delta\tau_{ij}^k$$

$$\tau_{A.1} = \tau_{1.A} = (1 - 0,5)(0,296) + 0,064 = 0,212$$

$$\tau_{1.2} = \tau_{2.1} = (1 - 0,5)(0,296) + 0,064 = 0,212$$

$$\tau_{2.3} = \tau_{3.2} = (1 - 0,5)(0,296) + 0,064 = 0,212$$

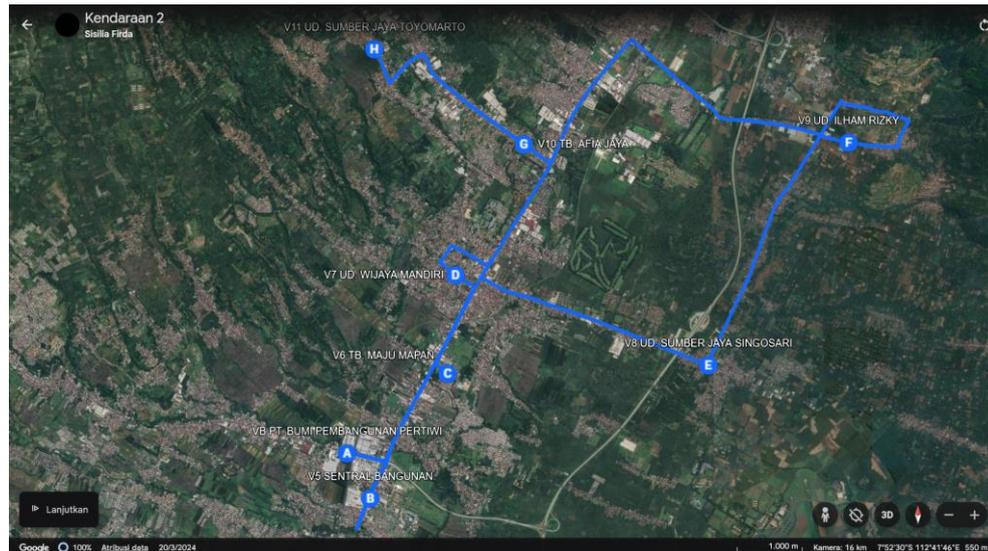
$$\tau_{3.4} = \tau_{4.3} = (1 - 0,5)(0,296) + 0,064 = 0,212$$

$$\tau_{4.A} = \tau_{A.4} = (1 - 0,5)(0,296) + 0,064 = 0,212$$

Karena siklus pertama ($NC = 1$) sudah selesai dilakukan dan didapatkan pembaharuan feromon, langkah selanjutnya yaitu mencari rute yang lebih baik lagi pada siklus kedua, jika terdapat rute yang lebih baik dibanding siklus pertama dalam hal ini memiliki panjang rute yang lebih kecil maka feromon akan diperbaharui kembali, namun ketika siklus kedua tidak lebih baik daripada siklus pertama maka yang diambil adalah rute yang ada pada siklus pertama. Begitupun dengan siklus ketiga, keempat, dan seterusnya sampai mencapai (NC_{max}) atau batas iterasi yang ditentukan. Pada pencarian dengan cara manual hanya terbatas pada siklus pertama ($NC = 1$). Sehingga telah diperoleh rute terbaik pendistribusian barang kendaraan 1 yaitu $V_A \rightarrow V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 \rightarrow V_A$ dengan panjang rute 15,726 km.

4.1.3.2 Perhitungan Rute Terpendek Kendaraan 2

Berikut merupakan peta jalur pengiriman barang oleh kendaraan 2 dari gudang awal pendistribusian atau PT. Bumi Pembangunan Pertiwi ke delapan titik tujuan pengiriman barang dengan skala 1:1.000.



Gambar 4.2 Rute pengiriman barang kendaraan 2

Berdasarkan data yang didapat dari hasil pencarian dengan bantuan petunjuk arah google maps maka dapat disusun jarak tempuh (km) dari titik awal pendistribusian barang yaitu PT. Bumi Pembangunan Pertiwi menuju masing-masing titik tujuan pendistribusian barang sebagai berikut:

Tabel 4.33 Nilai Jarak Tempuh Masing-masing Titik Kendaraan 2

	V_B	V_5	V_6	V_7	V_8	V_9	V_{10}	V_{11}
V_B	0	1.2	2.5	3.8	7.3	12.0	6.1	8.0
V_5	1.2	0	3.5	4.9	8.4	13.0	7.2	9.1
V_6	2.5	3.5	0	1.9	5.4	9.3	4.2	6.1
V_7	3.8	4.9	1.9	0	4.1	8.4	3.0	4.1
V_8	7.3	8.4	5.4	4.1	0	4.3	6.1	8.0
V_9	12.0	13.0	9.3	8.4	4.3	0	6.4	9.7
V_{10}	6.1	7.2	4.2	3.0	6.1	6.4	0	3.2
V_{11}	8.0	9.1	6.1	4.1	8.0	9.7	3.2	0

Kemudian, data jarak diatas kita *input* dan olah menggunakan program *python* untuk diperoleh jarak terpendeknya. Menghasilkan *output* dibawah ini.

Daftar Perusahaan:

VB PT. Bumi Pembangunan Pertiwi: P1

V5 Sentral Bangunan: P2

V6 TB. Maju Mapan: P3
 V7 UD. Wijaya Mandiri: P4
 V8 UD. Sumber Jaya Singosari: P5
 V9 UD. Ilham Rizky: P6
 V10 TB. Afia Jaya: P7
 V11 UD. Sumber Jaya Toyomarto: P8
 Masukkan jumlah iterasi: 10

Siklus/Iterasi 1:

Rute: P1 -> P2 -> P3 -> P4 -> P8 -> P7 -> P6 -> P5 -> P1
 Total Jarak: 31.9 km

Siklus/Iterasi 2:

Rute: P1 -> P3 -> P4 -> P8 -> P7 -> P6 -> P5 -> P2 -> P1
 Total Jarak: 32.00000000000001 km

Siklus/Iterasi 3:

Rute: P1 -> P2 -> P3 -> P4 -> P8 -> P7 -> P6 -> P5 -> P1
 Total Jarak: 31.9 km

Siklus/Iterasi 4:

Rute: P1 -> P2 -> P3 -> P4 -> P8 -> P7 -> P6 -> P5 -> P1
 Total Jarak: 31.9 km

Siklus/Iterasi 5:

Rute: P1 -> P2 -> P3 -> P4 -> P8 -> P7 -> P6 -> P5 -> P1
 Total Jarak: 31.9 km

Siklus/Iterasi 6:

Rute: P1 -> P2 -> P3 -> P4 -> P8 -> P7 -> P6 -> P5 -> P1
 Total Jarak: 31.9 km

Siklus/Iterasi 7:

Rute: P1 -> P2 -> P3 -> P4 -> P8 -> P7 -> P6 -> P5 -> P1
 Total Jarak: 31.9 km

Siklus/Iterasi 8:

Rute: P1 -> P2 -> P3 -> P4 -> P8 -> P7 -> P6 -> P5 -> P1
 Total Jarak: 31.9 km

Siklus/Iterasi 9:

Rute: P1 -> P2 -> P3 -> P4 -> P8 -> P7 -> P6 -> P5 -> P1
 Total Jarak: 31.9 km

Siklus/Iterasi 10:

Rute: P1 -> P2 -> P3 -> P4 -> P5 -> P6 -> P7 -> P8 -> P1
 Total Jarak: 32.599999999999994 km

Rute terbaik adalah:

P1 -> P2 -> P3 -> P4 -> P8 -> P7 -> P6 -> P5 -> P1
 Panjang rute: 31.9 km

Detail Jarak:

P1 ke P2: 1.2 km

P2 ke P3: 3.5 km

P3 ke P4: 1.9 km

P4 ke P8: 4.1 km

P8 ke P7: 3.2 km

P7 ke P6: 6.4 km

P6 ke P5: 4.3 km

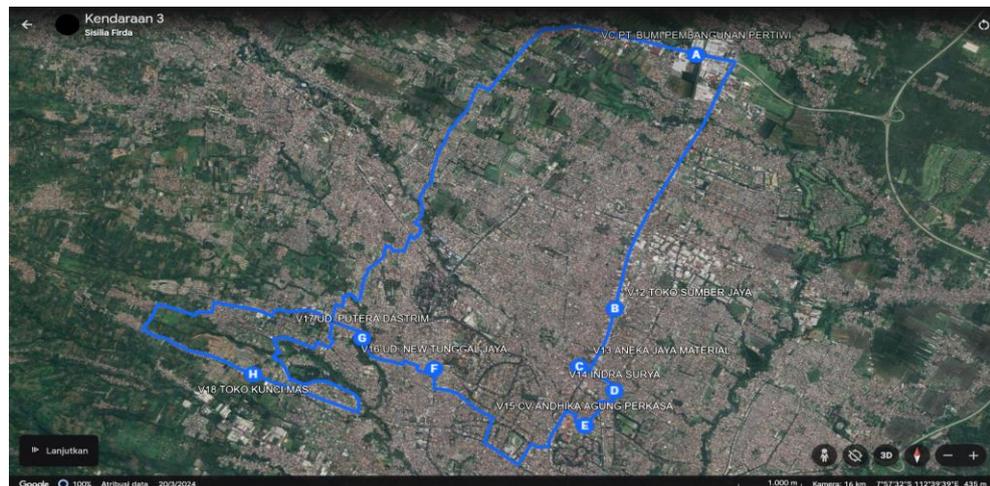
P5 ke P1: 7.3 km

P1 ke P1: 0.0 km

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan program *python* tersebut, dapat disimpulkan rute terpendek pendistribusian barang kendaraan 2 adalah P1 -> P2 -> P3 -> P4 -> P8 -> P7 -> P6 -> P5 -> P1 yang artinya $V_B \rightarrow V_5 \rightarrow V_6 \rightarrow V_7 \rightarrow V_{11} \rightarrow V_{10} \rightarrow V_9 \rightarrow V_8 \rightarrow V_B$ dengan panjang rute 31.9 km.

4.1.3.3 Perhitungan Rute Terpendek Kendaraan 3

Berikut merupakan peta jalur pengiriman barang oleh kendaraan 3 dari gudang awal pendistribusian atau PT. Bumi Pembangunan Pertiwi ke tujuh titik tujuan pengiriman barang dengan skala 1:1.000.



Gambar 4.4 Rute Pengiriman Barang Kendaraan 3

Berdasarkan data yang didapat dari hasil pencarian dengan bantuan petunjuk arah google maps maka dapat disusun jarak tempuh (km) dari titik awal

pendistribusian barang yaitu PT. Bumi Pembangunan Pertiwi menuju masing-masing titik tujuan pendistribusian barang sebagai berikut:

Tabel 4.34 Nilai Jarak Tempuh Masing-masing Titik Kendaraan 3

	V_C	V_{12}	V_{13}	V_{14}	V_{15}	V_{16}	V_{17}	V_{18}
V_C	0	5.3	6.7	6.9	7.7	10.0	10.0	13.0
V_{12}	5.3	0	1.3	1.6	2.4	5.8	6.2	7.8
V_{13}	6.7	1.3	0	0.75	1.4	4.6	5.0	6.8
V_{14}	6.9	1.6	0.75	0	0.95	4.9	5.3	7.1
V_{15}	7.7	2.4	1.4	0.95	0	4.0	4.5	6.4
V_{16}	10.0	5.8	4.6	4.9	4.0	0	0.45	4.0
V_{17}	10.0	6.2	5.0	5.3	4.5	0.45	0	4.4
V_{18}	13.0	7.8	6.8	7.1	6.4	4.0	4.4	0

Kemudian, data diatas kita *input* dan olah menggunakan program *python* untuk diperoleh jarak terpendeknya. Menghasilkan *output* berikut ini.

Daftar Perusahaan:

VC PT. Bumi Pembangunan Pertiwi: P1

V12 Toko Sumber Jaya: P2

V13 Aneka Jaya Material: P3

V14 Indra Surya: P4

V15 CV. Andhika Agung Perkasa: P5

V16 UD. New Tunggal Jaya: P6

V17 UD. Petera Dastrim: P7

V18 Toko Kunci Mas: P8

Masukkan jumlah iterasi: 10

Siklus/Iterasi 1:

Rute: P1 -> P2 -> P3 -> P4 -> P5 -> P8 -> P7 -> P6 -> P1

Total Jarak: 29.55 km

Siklus/Iterasi 2:

Rute: P1 -> P2 -> P3 -> P4 -> P5 -> P8 -> P6 -> P7 -> P1

Total Jarak: 29.15 km

Siklus/Iterasi 3:

Rute: P1 -> P2 -> P3 -> P4 -> P5 -> P8 -> P7 -> P6 -> P1

Total Jarak: 29.55 km

Siklus/Iterasi 4:

Rute: P1 -> P2 -> P3 -> P4 -> P5 -> P8 -> P6 -> P7 -> P1

Total Jarak: 29.15 km

Siklus/Iterasi 5:

Rute: P1 -> P7 -> P6 -> P8 -> P5 -> P4 -> P3 -> P2 -> P1

Total Jarak: 29.150000000000002 km

Siklus/Iterasi 6:

Rute: P1 -> P2 -> P3 -> P4 -> P5 -> P8 -> P7 -> P6 -> P1

Total Jarak: 29.55 km

Siklus/Iterasi 7:

Rute: P1 -> P2 -> P3 -> P4 -> P5 -> P6 -> P7 -> P8 -> P1

Total Jarak: 30.15 km

Siklus/Iterasi 8:

Rute: P1 -> P2 -> P3 -> P4 -> P5 -> P8 -> P6 -> P7 -> P1

Total Jarak: 29.15 km

Siklus/Iterasi 9:

Rute: P1 -> P2 -> P3 -> P4 -> P5 -> P8 -> P6 -> P7 -> P1

Total Jarak: 29.15 km

Siklus/Iterasi 10:

Rute: P1 -> P2 -> P3 -> P4 -> P5 -> P8 -> P6 -> P7 -> P1

Total Jarak: 29.15 km

Rute terbaik adalah:

P1 -> P2 -> P3 -> P4 -> P5 -> P8 -> P6 -> P7 -> P1

Panjang rute: 29.15 km

Detail Jarak:

P1 ke P2: 5.3 km

P2 ke P3: 1.3 km

P3 ke P4: 0.75 km

P4 ke P5: 0.95 km

P5 ke P8: 6.4 km

P8 ke P6: 4.0 km

P6 ke P7: 0.45 km

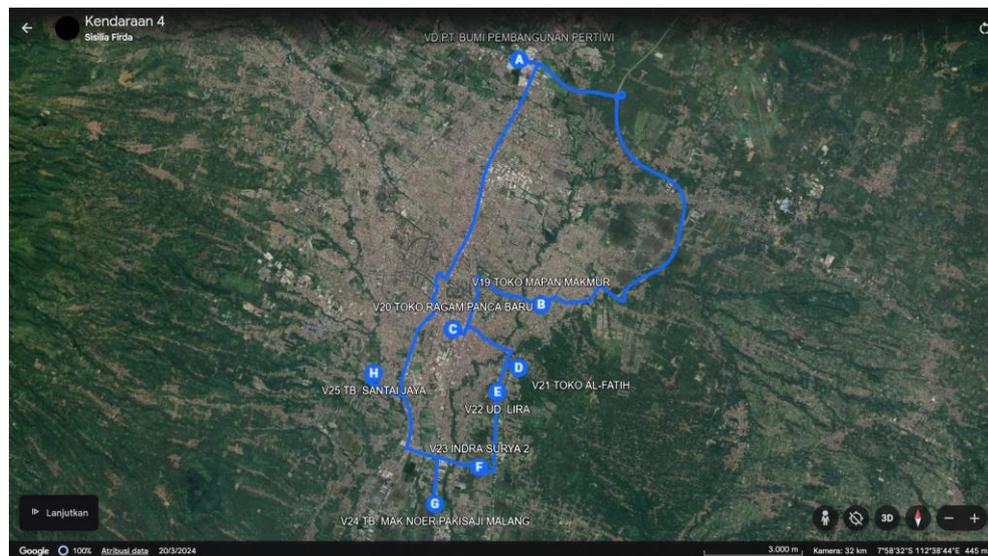
P7 ke P1: 10.0 km

P1 ke P1: 0.0 km

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan program *python* tersebut, dapat disimpulkan rute terpendek pendistribusian barang kendaraan 3 adalah P1 -> P2 -> P3 -> P4 -> P5 -> P8 -> P6 -> P7 -> P1 yang artinya $V_C \rightarrow V_{12} \rightarrow V_{13} \rightarrow V_{14} \rightarrow V_{15} \rightarrow V_{18} \rightarrow V_{16} \rightarrow V_{17} \rightarrow V_C$ dengan panjang rute 29.15 km.

4.1.3.4 Perhitungan Rute Terpendek Kendaraan 4

Berikut merupakan peta jalur pengiriman barang oleh kendaraan 4 dari gudang awal pendistribusian atau PT. Bumi Pembangunan Pertiwi ke tujuh titik tujuan pengiriman barang dengan skala 1:3.000.



Gambar 4.6 Rute Pengiriman Parang Kendaraan 4

Berdasarkan data yang didapat dari hasil pencarian dengan bantuan petunjuk arah google *maps* maka dapat disusun jarak tempuh (km) dari titik awal pendistribusian barang yaitu PT. Bumi Pembangunan Pertiwi menuju masing-masing titik tujuan pendistribusian barang sebagai berikut:

Tabel 4.35 Nilai Jarak Tempuh Masing-masing Titik Kendaraan 4

	V_D	V_{19}	V_{20}	V_{21}	V_{22}	V_{23}	V_{24}	V_{25}
V_D	0	9.9	9.8	11.0	12.0	15.0	15.0	14.0
V_{19}	9.9	0	3.8	3.2	3.7	6.6	8.7	8.7
V_{20}	9.8	3.8	0	3.1	3.5	5.7	5.6	4.9
V_{21}	11.0	3.2	3.1	0	1.3	4.1	6.9	7.9
V_{22}	12.0	3.7	3.5	1.3	0	2.9	5.3	8.3
V_{23}	15.0	6.6	5.7	4.1	2.9	0	2.7	5.5
V_{24}	15.0	8.7	5.6	6.9	5.3	2.7	0	5.6
V_{25}	14.0	8.7	4.9	7.9	8.3	5.5	5.6	0

Kemudian data jarak diatas kita *input* dan olah menggunakan program *python* untuk diperoleh rute terpendeknya. Menghasilkan *output* dibawah ini.

Daftar Perusahaan:

VD PT. Bumi Pembangunan Pertiwi: P1

V19 Toko Mapan Makmur: P2

V20 Toko Ragam Panca Baru: P3

V21 Toko Al-Fatih: P4

V22 UD. Lira: P5

V23 Indra Surya 2: P6

V24 TB. Mak Noer Pakisaji: P7

V25 TB. Santai Jaya: P8

Masukkan jumlah iterasi: 10

Siklus/Iterasi 1:

Rute: P1 -> P2 -> P5 -> P4 -> P6 -> P7 -> P8 -> P3 -> P1

Total Jarak: 42.0 km

Siklus/Iterasi 2:

Rute: P1 -> P4 -> P5 -> P6 -> P7 -> P8 -> P3 -> P2 -> P1

Total Jarak: 42.099999999999994 km

Siklus/Iterasi 3:

Rute: P1 -> P2 -> P4 -> P5 -> P6 -> P7 -> P8 -> P3 -> P1

Total Jarak: 40.3 km

Siklus/Iterasi 4:

Rute: P1 -> P2 -> P4 -> P5 -> P6 -> P7 -> P8 -> P3 -> P1

Total Jarak: 40.3 km

Siklus/Iterasi 5:

Rute: P1 -> P2 -> P4 -> P5 -> P6 -> P7 -> P8 -> P3 -> P1

Total Jarak: 40.3 km

Siklus/Iterasi 6:

Rute: P1 -> P2 -> P4 -> P5 -> P6 -> P7 -> P8 -> P3 -> P1

Total Jarak: 40.3 km

Siklus/Iterasi 7:

Rute: P1 -> P2 -> P4 -> P5 -> P6 -> P7 -> P8 -> P3 -> P1

Total Jarak: 40.3 km

Siklus/Iterasi 8:

Rute: P1 -> P3 -> P8 -> P7 -> P6 -> P5 -> P4 -> P2 -> P1

Total Jarak: 40.3 km

Siklus/Iterasi 9:

Rute: P1 -> P2 -> P4 -> P5 -> P6 -> P7 -> P8 -> P3 -> P1

Total Jarak: 40.3 km

Siklus/Iterasi 10:

Rute: P1 -> P2 -> P4 -> P5 -> P6 -> P7 -> P8 -> P3 -> P1

Total Jarak: 40.3 km

Rute terbaik adalah:

P1 -> P2 -> P4 -> P5 -> P6 -> P7 -> P8 -> P3 -> P1

Panjang rute: 40.3 km

Detail Jarak:

P1 ke P2: 9.9 km

P2 ke P4: 3.2 km

P4 ke P5: 1.3 km

P5 ke P6: 2.9 km

P6 ke P7: 2.7 km

P7 ke P8: 5.6 km

P8 ke P3: 4.9 km

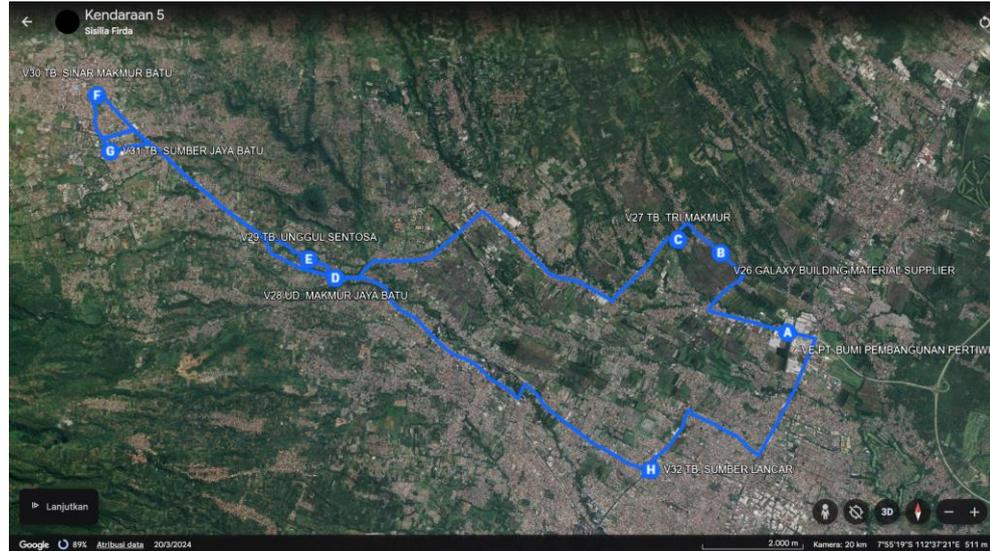
P3 ke P1: 9.8 km

P1 ke P1: 0.0 km

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan program *python* tersebut, dapat disimpulkan rute terpendek pendistribusian barang kendaraan 4 adalah P1 -> P2 -> P4 -> P5 -> P6 -> P7 -> P8 -> P3 -> P1 yang artinya $V_D \rightarrow V_{19} \rightarrow V_{21} \rightarrow V_{22} \rightarrow V_{23} \rightarrow V_{24} \rightarrow V_{25} \rightarrow V_{20} \rightarrow V_D$ dengan panjang rute 40.3 km.

4.1.3.5 Perhitungan Rute Terpendek Kendaraan 5

Berikut merupakan peta jalur pengiriman barang oleh kendaraan 5 dari gudang awal pendistribusian yaitu PT. Bumi Pembangunan Pertiwi ke tujuh titik tujuan pengiriman barang dengan skala 1:2.000.



Gambar 4.7 Rute pengiriman barang kendaraan 5

Berdasarkan data yang didapat dari hasil pencarian dengan bantuan petunjuk arah google *maps* maka dapat disusun jarak tempuh (km) dari titik awal pendistribusian barang yaitu PT. Bumi Pembangunan Pertiwi menuju masing-masing titik tujuan pendistribusian barang sebagai berikut:

Tabel 4.36 Nilai Jarak Tempuh Masing-masing Titik Kendaraan 5

	V_E	V_{26}	V_{27}	V_{28}	V_{29}	V_{30}	V_{31}	V_{32}
V_E	0	3.2	4.6	6.0	10.0	11.0	17.0	15.0
V_{26}	3.2	0	1.3	8.7	9.7	10.0	17.0	15.0
V_{27}	4.6	1.3	0	7.2	8.4	9.1	15.0	13.0
V_{28}	6.0	8.7	7.2	0	8.1	8.9	15.0	13.0
V_{29}	10.0	9.7	8.4	8.1	0	0.75	7.3	4.9
V_{30}	11.0	10.0	9.1	8.9	0.75	0	6.6	4.3
V_{31}	17.0	17.0	15.0	15.0	7.3	6.6	0	1.9
V_{32}	15.0	15.0	13.0	13.0	4.9	4.3	1.9	0

Kemudian data jarak diatas kita *input* dan olah menggunakan program *python* untuk diperoleh rute terpendeknya. Menghasilkan *output* dibawah ini.

Daftar Perusahaan:

VE PT. Bumi Pembangunan Pertiwi: P1

V26 Galaxy Building Material Supplier Singosari: P2

V27 TB. Tri Makmur: P3

V28 TB. Sumber Lancar: P4

V29 UD. Makmur Jaya Batu: P5
 V30 TB. Unggul Sentosa: P6
 V31 TB. Sinar Makmur Batu: P7
 V32 TB. Sumber Jaya Batu: P8
 Masukkan jumlah iterasi: 10

Siklus/Iterasi 1:

Rute: P1 -> P4 -> P5 -> P6 -> P8 -> P7 -> P3 -> P2 -> P1
 Total Jarak: 40.55 km

Siklus/Iterasi 2:

Rute: P1 -> P2 -> P3 -> P5 -> P6 -> P8 -> P7 -> P4 -> P1
 Total Jarak: 40.849999999999994 km

Siklus/Iterasi 3:

Rute: P1 -> P2 -> P3 -> P5 -> P6 -> P8 -> P7 -> P4 -> P1
 Total Jarak: 40.849999999999994 km

Siklus/Iterasi 4:

Rute: P1 -> P2 -> P3 -> P5 -> P6 -> P8 -> P7 -> P4 -> P1
 Total Jarak: 40.849999999999994 km

Siklus/Iterasi 5:

Rute: P1 -> P2 -> P3 -> P7 -> P8 -> P6 -> P5 -> P4 -> P1
 Total Jarak: 40.55 km

Siklus/Iterasi 6:

Rute: P1 -> P2 -> P3 -> P7 -> P8 -> P6 -> P5 -> P4 -> P1
 Total Jarak: 40.55 km

Siklus/Iterasi 7:

Rute: P1 -> P2 -> P3 -> P5 -> P6 -> P8 -> P7 -> P4 -> P1
 Total Jarak: 40.849999999999994 km

Siklus/Iterasi 8:

Rute: P1 -> P4 -> P5 -> P6 -> P8 -> P7 -> P3 -> P2 -> P1
 Total Jarak: 40.55 km

Siklus/Iterasi 9:

Rute: P1 -> P4 -> P5 -> P6 -> P8 -> P7 -> P3 -> P2 -> P1
 Total Jarak: 40.55 km

Siklus/Iterasi 10:

Rute: P1 -> P2 -> P3 -> P5 -> P6 -> P8 -> P7 -> P4 -> P1
 Total Jarak: 40.849999999999994 km

Rute terbaik adalah:

P1 -> P4 -> P5 -> P6 -> P8 -> P7 -> P3 -> P2 -> P1

Panjang rute: 40.55 km

Detail Jarak:

P1 ke P4: 6.0 km

P4 ke P5: 8.1 km

P5 ke P6: 0.75 km
 P6 ke P8: 4.3 km
 P8 ke P7: 1.9 km
 P7 ke P3: 15.0 km
 P3 ke P2: 1.3 km
 P2 ke P1: 3.2 km
 P1 ke P1: 0.0 km

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan program *python* tersebut, dapat disimpulkan rute terpendek pendistribusian barang kendaraan 5 adalah P1 -> P4 -> P5 -> P6 -> P8 -> P7 -> P3 -> P2 -> P1 yang artinya $V_E \rightarrow V_{28} \rightarrow V_{29} \rightarrow V_{30} \rightarrow V_{32} \rightarrow V_{31} \rightarrow V_{27} \rightarrow V_{26} \rightarrow V_E$ dengan total jarak tempuh sejauh 40.55 km.

4.1.3.6 Perhitungan Nilai Efektifitas

Setelah dilakukan pengujian, didapatkan hasil bahwa pengujian yang dilakukan dengan Algoritma *Ant Colony* memiliki jarak yang relatif lebih pendek. Persentase kehematan/efektivitas jarak tempuh hasil pengujian didapatkan melalui:

$$\text{Nilai efektifitas} = \frac{JM-JP}{JM} \times 100\%$$

Keterangan:

JM = Jarak yang ditampilkan pada google maps

JP = Jarak yang dihasilkan pada penelitian

1. Kendaraan 1

$$\begin{aligned} \text{Nilai efektifitas} &= \frac{JM-JP}{JM} \times 100\% \\ &= \frac{17.71-15.73}{15.73} \times 100\% \\ &= 12,59\% \end{aligned}$$

2. Kendaraan 2

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai efektifitas} &= \frac{JM-JP}{JM} \times 100\% \\
 &= \frac{38-31,9}{38} \times 100\% \\
 &= 16,05\%
 \end{aligned}$$

3. Kendaraan 3

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai efektifitas} &= \frac{JM-JP}{JM} \times 100\% \\
 &= \frac{36-29,15}{36} \times 100\% \\
 &= 19,02\%
 \end{aligned}$$

4. Kendaraan 4

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai efektifitas} &= \frac{JM-JP}{JM} \times 100\% \\
 &= \frac{48,2-40,3}{48,2} \times 100\% \\
 &= 16,39\%
 \end{aligned}$$

5. Kendaraan 5

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai efektifitas} &= \frac{JM-JP}{JM} \times 100\% \\
 &= \frac{49-40,55}{49} \times 100\% \\
 &= 17,25\%
 \end{aligned}$$

Nilai efektifitas diatas menunjukkan pengujian yang dilakukan menggunakan algoritma *Ant Colony* memiliki kehematan jarak tempuh dengan persentase rata-rata 16,26%. Lebih pendeknya rute yang dihasilkan oleh Algoritma *Ant Colony* membuat algoritma ini efektif.

4.2 Pengaruh α dan β terhadap Performa Algoritma Ant Colony

Parameter α dan β mempunyai pengaruh terhadap performa hasil yang diperoleh pada algoritma *Ant Colony*, sehingga untuk mengetahui pengaruh dari parameter-parameter tersebut, berikut dibarikan hasil percobaan nilai parameter α dan β . Pada penelitian ini berfokus pada algoritma *Ant Colony* dengan jenis *Ant System (AS)*. Permasalahan yang diujikan yaitu data pada rute pendistribusian barang oleh kendaraan 1-2 dengan nilai: $\alpha \in \{0, 0.2, 0.5, 0.7, 1, 1.5, 2, 5, 10\}$ dan $\beta \in \{0, 0.5, 1, 2, 5, 10, 20\}$. Dengan jumlah iterasi yang telah ditentukan dan disamaratakan pada semua uji coba, yaitu sejumlah 10 iterasi. Menghasilkan nilai terbaik dan tercepat dalam 10 iterasi tersebut diperoleh hasil yang ditunjukkan pada tabel 4.37 dibawah ini.

Tabel 4.37 Hasil Uji Coba Parameter α dan β

$\beta \backslash \alpha$	0	0.2	0.5	0.7	1	1.5	2	5	10
0	86.19	82.6	81.28	77.6	80.8	76.39	83.4	73.3	80.29
0.5	71.2	71.19	67.29	66.8	69.29	69.79	75.6	70.9	74.19
1	61.46	63.59	64.09	62.29	66.09	65.59	63.88	66.89	60.5
2	58.89	59.69	58.39	59.09	57.19	60.19	59.99	54.69	56.49
5	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69
10	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69
20	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69	54.69

Berdasarkan tabel hasil uji coba parameter α (jejak foromon) dan β (jarak atau informasi heuristik) pada Algoritma *Ant Colony* dalam konteks pencarian rute terpendek dengan memberikan 10 iterasi uji coba menghasilkan nilai terbaik masing-masing parameter diatas, berikut adalah beberapa kesimpulan yang dapat diambil:

1. Pada β kecil ($0 - 2$), algoritma masih melakukan eksplorasi dan belum sepenuhnya menemukan jalur optimal. Ketika $\beta \geq 5$, algoritma stabil di nilai

54.69, yang merupakan jarak rute terpendek optimal. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi parameter β yang lebih tinggi ($\beta \geq 5$) dan nilai α bervariasi dapat membantu algoritma menemukan rute terpendek dengan konsistensi tinggi.

2. Karena tujuan utama dalam permasalahan ini adalah menemukan rute terpendek, maka memilih $\beta \geq 5$ adalah pilihan terbaik, karena hasilnya konsisten di 54.69. Jika eksplorasi lebih diutamakan (misalnya, mencari jalur alternatif yang lebih fleksibel), maka β kecil ($0 - 2$) dapat digunakan.
3. Parameter α berpengaruh pada eksploitasi feromon tetapi dampaknya kecil dibandingkan β , terutama saat β tinggi.
4. Parameter terbaik untuk pencarian rute terpendek dalam uji coba ini adalah $\beta \geq 5$, dengan α dapat disesuaikan tanpa banyak pengaruh terhadap hasil akhir.

Dengan demikian, untuk pencarian rute terpendek yang optimal menggunakan algoritma *ant colony* dalam uji coba ini disarankan menggunakan $\beta \geq 5$ agar algoritma dapat mendapatkan hasil terbaik. Pengaruh β lebih signifikan terhadap hasil dibandingkan α , yang berarti visibilitas memiliki peran dominan dalam proses eksploitasi solusi optimal.

4.3 Implementasi Algoritma Ant Colony dalam Pandangan Islam

Berdasarkan pembahasan sebelumnya telah dilakukan pencarian rute terpendek pendistribusian barang. Dalam pencarian rute terpendek ini tentunya memiliki tujuan agar tidak boros atau hemat dalam segi pengeluaran biaya, waktu, dan tenaga dalam proses distribusi. Sebagaimana dalam agama islam yang mengatur berbagai aspek kehidupan umatnya, baik dalam hal ibadah, muamalah

(interaksi sosial), akhlak, dan adab, tentunya kita harus berhati-hati dalam berkegiatan sehari-hari agar tidak salah melangkah dan mendekati perbuatan setan. Allah telah mengingatkan manusia dengan menegaskan bahwa perilaku boros merupakan saudara setan. Menghindari sifat boros atau hidup hemat adalah bagian dari mengamalkan hidup sederhana, bertanggung jawab, dan peduli terhadap sesama, yang semuanya merupakan prinsip utama dalam ajaran Islam. Ajaran Islam menekankan pentingnya hidup hemat, tidak berlebihan dalam membelanjakan harta, dan memastikan bahwa harta digunakan dengan cara yang baik dan benar.

Salah satu aspek penting yang diatur dalam Islam yang telah dijelaskan tadi adalah bagaimana umatnya harus mengelola harta dan sumber daya dengan bijak, yaitu hidup hemat dan tidak boros. Dalam implementasi algoritma *Ant Colony* ini dilakukan pencarian rute terpendek dengan tujuan tidak terjadinya pemborosan dalam hal biaya, waktu, dan tenaga. Salah satu contoh bahwa upaya penerapan hidup hemat dalam implementasi algoritma *Ant Colony* telah dilakukan yaitu dengan didaptkannya total jarak yang lebih pendek pada rute-rute pendistribusian barang jika dibandingkan dengan total jarak yang ditampilkan pada google maps. Telah dilakukan pula uji nilai efektifitas yang menghasilkan rata-rata 16,26% dari 5 kendaraan pendistribusian barang. Yang berarti dengan menerapkan algoritma *Ant Colony* ini memiliki kehematan jarak tempuh dengan persentase rata-rata 16,26%. Lebih pendeknya rute yang dihasilkan oleh Algoritma *Ant Colony* membuat algoritma ini efektif dan terbukti dalam upaya meminimalisir pengeluaran dan upaya hidup hemat atau tidak boros.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pencarian rute terpendek menggunakan Algoritma *Ant Colony* dinilai lebih efektif. Pada pengiriman barang kendaraan 1 rute terpendeknya memangkas jarak sekitar 12.59% dibandingkan rute yang diberikan oleh google maps, pada kendaraan 2 memangkas jarak sekitar 16.05%, pada kendaraan 3 memangkas jarak sekitar 19.02%, pada kendaraan 4 memangkas jarak sekitar 16.39%, dan pada kendaraan 5 memangkas jarak sekitar 17.25%. Keefektifan pencarian rute terpendek ini juga dapat dilihat dengan didapatkannya rata-rata nilai efektifitas dari 5 kendaraan tersebut sekitar 16.26%.

Pada penerapannya, relasi antara α dan β dalam menentukan hasil optimal adalah hubungan yang sinergis. Kombinasi nilai α dan β yang tepat dapat menghasilkan hasil yang optimal dalam pencarian rute terpendek. Telah dilakukan uji coba parameter α (jejak foromon) dan β (jarak atau nilai heuristik) dengan membandingkan nilai-nilainya. Didapatkan kesimpulan, bahwa kombinasi parameter β yang lebih tinggi (≥ 5) dan nilai α bervariasi dapat membantu algoritma menemukan rute terpendek dengan konsistensi tinggi. Dalam uji coba tersebut menggunakan 10 iterasi, dan pada 10 iterasi tersebut didapatkan hasil tercepat dan paling optimal dalam setiap nilai parameternya. Karena tujuan utama dalam permasalahan ini adalah menemukan rute terpendek, maka memilih $\beta \geq 5$ adalah pilihan terbaik. Dengan demikian parameter terbaik yang dapat digunakan

untuk pencarian rute terpendek menggunakan algoritma *ant colony* dalam uji coba ini menghasilkan nilai $\beta \geq 5$, dengan nilai α dapat disesuaikan tanpa banyak pengaruh terhadap hasil akhir. Pada beberapa kasus lainnya, kombinasi ini tidak selalu menghasilkan nilai yang mendekati optimal. Hal ini tergantung pada besarnya masalah yang diselesaikan.

5.2 Saran

Pada penelitian ini telah dilakukan pencarian rute terpendek dan uji coba parameter α dan β untuk mengetahui nilai parameter terbaik pada penerapannya. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya bisa melakukan lebih banyak uji coba pada hal lain dalam Algoritma *Ant Colony* dan dapat pula dilakukan perbandingan hasil dari Algoritma *Ant Colony* dengan algoritma lainnya, untuk mengetahui algoritma manakah yang lebih efektif dalam permasalahan menentukan rute terpendek.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, M., & Sismar, A. (2024). Peran Saluran Distribusi Dalam Meningkatkan Volume Penjualan Pada Toko Sinar Aneka Sorong Papua Barat Daya. *Jurnal Ilmiah Bisnis & Kewirausahaan*, 47-55.
- Az-Zahaili, W. (2013). *Tafsir Al-Munir Jilid 8*. Gema Insani.
- Dorigo, M., & Stützle, T. (2004). *Ant Colony Optimization*. Massachusetts Institute of Technology Press.
- Fahmi Alamsyah, M. (2021). Implementasi Graf pada Perancangan Integrated Circuit. *Makalah IF2120 Matematika Diskrit*, 1-6.
- Gunawan, Indra, M., & Henry, K. w. (2012). Optimasi Penentuan Rute Kendaraan Pada Sistem Distribusi Barang Dengan Antc Colony Optimization. *Semantik*.
- Herlawati. (2016). Optimasi Pendistribusian Barang Menggunakan Metode Stepping Stone dan Metode Modified Distribution (MODI). *Informasi System For Educator And Professionals*, 103-113.
- Hidayat, N. (2017). *Cara Mudah Memahami Struktur Aljabar*. Malang: UB Press.
- Ismail, & Ardianto. (2020). Penerapan Algoritma Semut Untuk Optimasi Penentuan Jalur Terpendek Ekspedisi CV. Cahaya Bintang Makasar. *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi dan Teknik Informatika "JISTI"*, 64-70.
- Karjono, Moedjiono, & Denni, K. (2016). Ant Colony Optimization. *Jurnal TIKOM*, 119-125.
- Kementrian Agama, R. (2022). *Qur'an Kemenag*. Diambil kembali dari Lajnah Pentashihan mushaf Al-Qur'an: <https://quran.kemenag.go.id/>
- M Barahama, R., E.J.C Montolalu, C., & Tumilaar, R. (2021). Eksentrisitas Digraf pada Graf Gir Menggunakan Algoritma Breadth First Search. *d'Cartesian Jurnal Matrmatika dan Aplikasi*, 31-36.
- Munirah, M., & Subanar. (2017). Kajian terhadap Beberapa Metode Optimasi (Survey of Optimization Methods). *JUITA*, 45-50.
- Musdalipa, & Agusman, S. (2021). Penentuan Jalur Terpendek Pendistribusian Barang Jalur Nugraha Ekakurir (Jne) Menggunakan Algoritma Semut (Studi Kasus Jne Dewi Sartika Palu) . *Jurnal Ilmiah Matematika dan Terapan*, 84-94.
- Nasution, M. I., & dkk. (2022). Distribusi Pasar Luar Negeri. *Ekonomi Bisnis Manajemendan Akuntansi (EBMA)*, 999-1005.

- Rohman, Saiful dkk. (2020). Optimisasi Travelling Salesman Problem dengan Algoritma Genetika pada Kasus Pendistribusian Barang PT. Pos Indonesia di Kota Bandar Lampung. *Jurnal Matematika Integratif*, 61-73.
- Rozali, M., & Mudana, S. (2023). Nilai-Nilai Pendidikan Akhlak Dalam Surat Al-Isra'. *AL-KAFFAH*, 255-286.
- Sianturi, R. Y., Rahayudi, B., & Widodo, A. (2021). Implementasi Algoritma Ant Colony Optimization untuk Optimasi Rute Distribusi Produk Kebutuhan Pokok dari Toko Sasana Bonofie Mojoroto. *Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 3190-3197.
- Suwarno, H. L. (2006). Sembilan Fungsi Saluran Distribusi: Kunci Pelaksanaan Kegiatan Distribusi yang Efektif. *Jurnal Manajemen*, 79-87.
- Udjulawa, D., & Oktarina, S. (2022). Penerapan Algoritma Ant Colony Optimization Untuk Pencarian Rute Terpendek Lokasi Wisata (Studi Kasus Wisata Di Kota Palembang). *Jurnal Ilmu Komputer*, 26-33.
- Wiyanti, D. T. (2013). Algoritma Optimasi Untuk Penyelesaian Traveling Salesman Problem. *Jurnal Transformatika*, 1-6.
- Yulia, D., & Rozali, T. (2019). Penerapan Algoritma Greedy Dalam Pencarian Jalur Terpendek Pada Instansi-Instansi Penting Di Kota Argamakmur Kabupaten Bengkulu Utara. *Jurnal Media Infotama*, 57-64.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Lokasi Tujuan Pendistribusian Barang Bangunan

No.	Perusahaan	Alamat	Gudang Awal
1	PT. Bumi Pembangunan Pertiwi	Jl. Perusahaan Raya, Tajungtirto Semarak, Tajungtirto, Kec. Singosari, Kab. Malang	-
2	Kontanan Depo Malang	Depo Malang	Gudang Malang Karanglo
3	Sentral Jaya Malang	Jl. Terusan Watu Gede, Perum Mondoroko	Gudang Malang Karanglo
4	Galaxy Building Material Supplier Singosari	Jl. Raya Landang Singosari, Malang	Gudang Malang Karanglo
5	UD. Wijaya Mandiri	Jl. Wijaya Barat No.64 003/003 Pagentan Singosari, Malang	Gudang Malang Karanglo
6	TB. Afia Jaya Singosari	Jl. Diponegoro No.194 Karangjati Ardimulyo Kec. Singosari	Gudang Malang Karanglo
7	UD. Sumber Jaya	Jl. Batu Retno, Dengkol, Singosari	Gudang Malang Karanglo
8	Indra Surya	Jl. Panglima Sudirman No.30, Kesatrian, Kec. Blimbing, Kota Malang	Gudang Malang Karanglo
9	Indra Surya 2	Jl. Kembar Bumiayu Malang	Gudang Malang Karanglo
10	Mapan Makmur Kedung	Jl. Danau Toba Ruko B/10 Sawojajar Kedung Kandang	Gudang Malang Karanglo
11	CV. Andhika Agung Perkasa	Jl. Patimura No.22 RT.4/RW.1 Kec.Klojen Kota Malang	Gudang Malang Karanglo
12	Aneka Jaya Material	Jl. Kaliurang No. 19 Rampal Celaket, Malang	Gudang Malang Karanglo
13	Sumber Jaya Blimbing	Jl. Letjen S. Parman 16 Purwantoro, Blimbing, Malang	Gudang Malang Karanglo
14	TB. Karya Mandiri	Jl. Soekarno Hatta No.71 RT.04/RW.08 Kel.Mojolangu Kec.Lowokwaru	Gudang Malang Karanglo
15	PT. Mavens Mitra Perkasa	Perum permata jingga AA-27 Tunggulwulung Lowokwaru	Gudang Malang Karanglo
16	PT. Tentrem Sejahtera Malang	Jl. Perusahaan Barat No.17 RT.05/RW.10, Plambesan, Tunjungtirto, Singosari	Gudang Malang Karanglo
17	UD. Ilham Rizky	RT.1 RW.2, Srigading, Kec. Lawang, Kab. Malang	Gudang Malang Karanglo
18	TB. Afia Jaya	Jl. Diponegoro No. 194, Karangjati, Ardimulyo, Kec. Singosari, Kab. Malang	Gudang Malang Karanglo
19	UD. Sumber Jaya Tayomarto	Jl. Candi Sumberawan No.17, Glatik, Toyomarto, Kec. Singosari, Kab. Malang	Gudang Malang Karanglo
20	UD. Putera Dastrim	Jalan Raya Candi 2A Nomor 251 RT.5 RW.2, Karang Besuki, Karangbesuki, Kec. Sukun, Kota Malang	Gudang Malang Karanglo
21	Toko Kunci Mas	Jl. Dieng Atas, Kunci, Kalisongo, Kec. Dau, Kab. Malang	Gudang Malang Karanglo

22	Toko Mapan Makmur	Ruko Danau Toba, Jl. Danau Toba Blok B No.10, Sawojajar, Kec. Kedungkandang, Kota Malang	Gudang Malang Karanglo
23	Toko Sumber Jaya	Jl. Letjen S.Parman 16 Purwantoro, Blimbing, Malang	Gudang Malang Karanglo
24	TB. Mak Noer Pakisaji	Jl. Raya Segaran No.88, Kendakpayak, Kec. Pakisaji, Kab. Malang	Gudang Malang Karanglo
25	Toko Al-Fatih	Jl. KH. Malik RT 03/06, Kedungkandang, Kec. Kedungkandang, Kota Malang	Gudang Malang Karanglo
26	Toko Ragam Panca Baru	Jl. Kyai Tamin No.46, Sukoharjo, Kec. Klojen, Kota Malang	Gudang Malang Karanglo
27	TB. Sumber Jaya Batu	Jl. Dewi Sartika No.8, Temas, Kec. Batu, Kota Batu	Gudang Malang Karanglo
28	TB. Unggul Sentosa	Jl. Mojoasri No.70, Mojorejo, Kec. Junrejo, Kota Batu	Gudang Malang Karanglo
29	TB. Sinar Makmur Batu	Jl. WR. Supratman, Ngaglik, Kec. Batu, Kota Batu	Gudang Malang Karanglo
30	TB. Santai Jaya	Jl. Kemantren II No.54, Bandungrejosari, Kec. Sukun, Kota Malang	Gudang Malang Karanglo
31	UD. Lira	Jl. Mayjen Sungkono No.4, Buring, Kec. Kedungkandang, Kota Malang	Gudang Malang Karanglo
32	TB. Tri Makmur	Jl. Langlang No.99, Langlang III, Kec. Singosari, Kab. Malang	Gudang Malang Karanglo
33	TB. Sumber Lancar	Jl. Soekarno Hatta No.318, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang	Gudang Malang Karanglo
34	TB. Maju Mapan	Jalan Balaikambang No.A1, Pagentan, Kec. Singosari, Kab. Malang	Gudang Malang Karanglo
35	UD. Makmur Jaya Batu	Jl. Ir. Soekarno No.190, RW.02, Mojorejo, Kec. Junrejo, Kota Batu	Gudang Malang Karanglo

Lampiran 2. Source Code

```

# Data perusahaan
companies = ['VE PT. Bumi Pembangunan Pertiwi', 'V26 Galaxy Building Material Supplier Si
]

# Menampilkan Label Perusahaan
print("Daftar Perusahaan:")
company_map = {}
for i, company in enumerate(companies):
    label = f'P{i+1}'
    company_map[i] = label
    print(f"{company} : {label}")

# Jarak
distances = [
    [0.0, 3.2, 4.6, 6.0, 10.0, 11.0, 17.0, 15.0],
    [3.2, 0.0, 1.3, 8.7, 9.7, 10.0, 17.0, 15.0],
    [4.6, 1.3, 0.0, 7.2, 8.4, 9.1, 15.0, 13.0],
    [6.0, 8.7, 7.2, 0.0, 8.1, 8.9, 15.0, 13.0],
    [10.0, 9.7, 8.4, 8.1, 0.0, 0.75, 7.3, 4.9],
    [11.0, 10.0, 9.1, 8.9, 0.75, 0.0, 6.6, 4.3],
    [17.0, 17.0, 15.0, 15.0, 7.3, 6.6, 0.0, 1.9],
    [15.0, 15.0, 13.0, 13.0, 4.9, 4.3, 1.9, 0.0],
]

# Parameter ACO
num_ants = 50
alpha = 1
beta = 2
rho = 0.5
Q = 1 # Konstanta feromon

# Feromon
pheromone = [[1/len(distances) for _ in range(len(distances))] for _ in range(len(distances))]

# Fungsi Rute dengan Probabilitas Acak
def pick_move(last, unvisited, pheromone, distance, alpha, beta):
    p_values = []
    total = 0.0

    for i in unvisited:
        if distance[last][i] != 0:
            prob = (pheromone[last][i] ** alpha) * ((1 / distance[last][i]) ** beta)
        else:
            prob = (pheromone[last][i] ** alpha)
        p_values.append((i, prob))
        total += prob

    r = random.uniform(0, total)
    cumulative = 0.0
    for i, prob in p_values:
        cumulative += prob
        if cumulative >= r:
            return i

# Fungsi Panjang Rute
def path_length(path, distance_matrix):
    length = 0
    for i in range(len(path)-1):
        length += distance_matrix[path[i]][path[i+1]]
    length += distance_matrix[path[-1]][path[0]] # Kembali ke P1
    return length

```

```

# Mencari Rute Terpendek
def shortest_path(paths, distance_matrix):
    min_path = paths[0]
    min_length = path_length(min_path, distance_matrix)
    for path in paths:
        length = path_length(path, distance_matrix)
        if length < min_length:
            min_path = path
            min_length = length
    return min_path

# Menampilkan Rute dengan Label
def print_route(route, company_map):
    return ' -> '.join([company_map[city] for city in route])

# Fungsi utama ACO
def aco_algorithm(num_ants, alpha, beta, rho, Q, num_iterations):
    global pheromone
    all_global_paths = []
    for iteration in range(1, num_iterations + 1):
        all_paths = []
        for j in range(num_ants):
            path = [0] # Mulai dari Perusahaan 1
            unvisited = list(range(1, len(companies)))

            while unvisited:
                next_node = pick_move(path[-1], unvisited, pheromone, distances, alpha, beta)
                path.append(next_node)
                unvisited.remove(next_node)

            path.append(0) # Kembali ke Perusahaan 1
            all_paths.append(path)

        for a in range(len(distances)):
            for b in range(len(distances)):
                if a != b:
                    pheromone[a][b] *= (1 - rho)
                    for path in all_paths:
                        if (a in path) and (b in path):
                            pheromone[a][b] += Q / path_length(path, distances)

```

```

# Menampilkan Rute Terbaik
best_path = shortest_path(all_paths, distances)
all_global_paths.append(best_path)
print(f"\nSiklus/Iterasi {iteration}:")
print(f"Rute: {print_route(best_path, company_map)}")
print(f"Total Jarak: {path_length(best_path, distances)} km")

# Menampilkan Jarak Setiap Segmen
print("Detail Jarak:")
for i in range(len(best_path)-1):
    from_node = best_path[i]
    to_node = best_path[i+1]
    print(f"P{from_node+1} ke P{to_node+1}: {distances[from_node][to_node]} km")

# Menambahkan jarak dari titik terakhir kembali ke titik awal
from_node = best_path[-1]
to_node = best_path[0]
print(f"P{from_node+1} ke P{to_node+1}: {distances[from_node][to_node]} km")

# Mencari rute terbaik dari semua iterasi
best_path_overall = shortest_path(all_global_paths, distances)
return best_path_overall, path_length(best_path_overall, distances)

# Input jumlah iterasi dari user
iterations = int(input("Masukkan jumlah iterasi: "))
best_route, best_length = aco_algorithm(num_ants, alpha, beta, rho, Q, iterations)

# Output rute terbaik dan jaraknya
print(f"\nRute terbaik adalah:\n {print_route(best_route, company_map)}")
print(f"Panjang rute: {best_length} km")

```

RIWAYAT HIDUP



Sisilia Firda Laila Akhadah, yang akrab dipanggil sisilia atau sibil, lahir di Mojokerto pada 22 Desember 2002. Penulis merupakan putri dari pasangan Bapak Yasin dan Ibu Siti Masrifah. Penulis merupakan anak ketiga dari empat bersaudara. Penulis memulai pendidikannya di TK Dharma wanita Kutorejo selama 2 tahun, kemudian penulis menempuh pendidikan dasar di SDN Gedangan 2 Mojokerto dan lulus pada tahun 2015. Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMPN 3 Kutorejo Mojokerto dan lulus pada tahun 2018. Pendidikan menengah atas diselesaikan di MA Amanatul Ummah Pacet Mojokerto program akselerasi 2 tahun, dan lulus pada tahun 2020. Setelah lulus dari jenjang menengah atas, pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan perkuliahan dan diterima sebagai mahasiswa program studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Selama menjalani pendidikan di jenjang perkuliahan, penulis turut berperan aktif dalam berbagai kegiatan baik di dalam maupun di luar kampus. Penulis juga turut berperan dalam beberapa kepanitian. Selain itu, penulis juga ikut serta dalam kegiatan di luar kampus seperti pelatihan dan seminar.



**KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

Jl. Gajayana No.50 Dinoyo Malang Telp. / Fax. (0341)558933

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Sisilia Firda Laila Akhadah
NIM : 200601110060
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi/Matematika
Judul Skripsi : Penerapan Algoritma Ant Colony pada Pendistribusian
Barang
Pembimbing I : Juhari, M.Si.
Pembimbing II : Ach. Nashichuddin, M.A.

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	12 Juni 2024	Konsultasi Bab I, II, dan III	1.
2.	14 Juni 2024	Konsultasi Revisi Bab I, II, dan III	2.
3.	25 Juni 2024	Konsultasi Kajian Agama	3.
4.	28 Juni 2024	Konsultasi Revisi Kajian Agama	4.
5.	15 Juli 2024	ACC Kajian Agama Bab I dan II	5.
6.	2 Juli 2024	ACC Bab I, II, dan III	6.
7.	2 Juli 2024	ACC Seminar Proposal	7.
8.	2 Oktober 2024	Konsultasi Revisi Seminar Proposal	8.
9.	2 Oktober 2024	Konsultasi Bab IV	9.
10.	30 Oktober 2024	Konsultasi Bab IV dan V	10.
11.	30 Oktober 2024	Konsultasi Bab IV dan V	11.
12.	18 Oktober 2024	Konsultasi Kajian Agama Bab IV	12.
13.	25 Oktober 2024	ACC Kajian Agama Bab IV	13.
14.	31 Oktober 2024	ACC Bab IV dan V	14.
15.	8 November 2024	ACC Seminar Hasil	15.



KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Gajayana No.50 Dinoyo Malang Telp. / Fax. (0341)558933

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
16.	19 Maret 2025	Konsultasi Revisi Seminar Hasil	16. <i>JH</i>
17.	20 Mei 2025	ACC Matriks Revisi Seminar Hasil	17. <i>JH</i>
18.	20 Mei 2025	ACC Sidang Skripsi	18. <i>JH</i>
19.	12 Juni 2025	ACC Keseluruhan	19. <i>JH</i>

Malang, 12 Juni 2025
Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika


[Handwritten Signature]
Dr. Elly Susanti, M.Sc.
NIP. 19741129 200012 2 005