

**DAMPAK PERUBAHAN TETAPAN PENGENDALI
INTENSITAS FEROMON DAN VISIBILITAS TERHADAP
RUTE TERPENDEK YANG DIHASILKAN OLEH ANT
SYSTEM**

SKRIPSI

**OLEH:
DANIEL FAIS BIL NADZARI
NIM. 210601110093**



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

**DAMPAK PERUBAHAN TETAPAN PENGENDALI
INTENSITAS FEROMON DAN VISIBILITAS TERHADAP
RUTE TERPENDEK YANG DIHASILKAN OLEH ANT
SYSTEM**

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:
Daniel Fais Bil Nadzari
NIM. 210601110093**

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

**DAMPAK PERUBAHAN TETAPAN PENGENDALI
INTENSITAS FEROMON DAN VISIBILITAS TERHADAP
RUTE TERPENDEK YANG DIHASILKAN OLEH *ANT*
*SYSTEM***

SKRIPSI

**Oleh
Daniel Fais Bil Nadzari
NIM. 210601110093**

Telah Disetujui Untuk Diuji

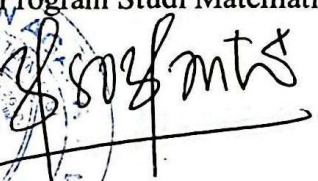
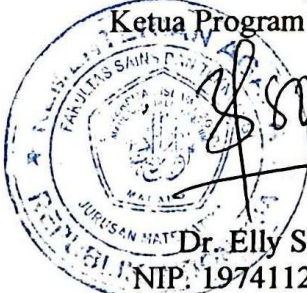
Malang, 15 April 2025

Dosen Pembimbing I


Mohammad Nafie Jauhari, M.Si
NIPPPK. 19870218 202321 1 018

Dosen Pembimbing II


Abdul Aziz, M.Si
NIP. 19760318200604 1 002

Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika


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

**DAMPAK PERUBAHAN TETAPAN PENGENDALI
INTENSITAS FEROMON DAN VISIBILITAS TERHADAP
RUTE TERPENDEK YANG DIHASILKAN OLEH *ANT*
*SYSTEM***

SKRIPSI

**Oleh
Daniel Fais Bil Nadzari
NIM. 210601110093**

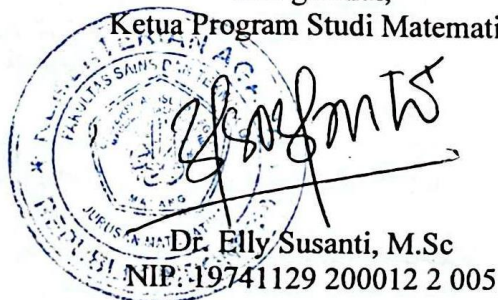
Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)

Tanggal 22 Mei 2025

Ketua Penguji	: Hisyam Fahmi, M.Kom
Anggota Penguji 1	: Muhammad Khudzaifah, M.Si
Anggota Penguji 2	: Mohammad Nafie Jauhari, M.Si
Anggota Penguji 3	: Abdul Aziz, M.Si



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 : Daniel Fais Bil Nadzari
NIM : 210601110093
Program Studi : Matematika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Skripsi : Dampak Perubahan Tetapan Pengendali Intensitas Jejak
Feromon dan Visibilitas Terhadap Rute Terpendek yang
Dihasilkan oleh Ant System.

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri dan bukan merupakan hasil penjiplakan dalam bentuk apa pun. Saya tidak mengambil data, tulisan, atau pemikiran orang lain yang kemudian saya akui sebagai hasil tulisan dan pemikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber kutipan dalam daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa skripsi ini mengandung unsur plagiarisme, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Malang, 22 Mei 2025

Yang membuat pernyataan,



Daniel Fais Bil Nadzari

MOTO

"Menjadi anak pertama berarti memikul harapan, menanggung beban, dan menjalani hidup dengan ekspektasi yang bukan miliknya. Tak selalu karena ingin, tetapi karena tak punya pilihan."

(Penulis)

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur, kupersembahkan skripsi ini kepada Ayahku tercinta, Dwi Atmoko, yang mengajarkan keteguhan dan ketabahan, serta menjadi cahaya dalam setiap langkahku. Untuk Ibuku tersayang, Yusningsih, sumber ketenangan dan semangat yang dengan tulus membimbingku sejak kecil. Juga untuk adikku, Andhika Yausaq Fauzi, sahabat dan pendukung terbaik yang selalu memberi tawa dan kekuatan. Skripsi ini juga kupersembahkan untuk diriku sendiri, untuk setiap lelah, ragu, dan perjuangan yang akhirnya membawaku ke titik ini. Semoga karya ini menjadi ungkapan kecil atas cinta, doa, dan dukungan tanpa batas yang kalian berikan. Terima kasih untuk segalanya.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Segala puji bagi Allah SWT, Tuhan semesta alam. Dengan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul " Dampak Perubahan Tetapan Pengendali Intensitas *Pheromone* dan Visibilitas Terhadap Rute Terpendek yang Dihasilkan Oleh *Ant System*". Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk meraih kelulusan di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis memperoleh banyak ilmu, pengalaman, serta bimbingan, dukungan, dan saran berharga dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengungkapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A., selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
2. Prof. Dr. Sri Harini, M.Si, selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
3. Dr. Elly Susanti, S.Pd., M.Sc, selaku ketua Program Studi Matematika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
4. Mohommad Nafie Jauhari, M.Si, selaku dosen pembimbing I.
5. Abdul Aziz, M.Si, selaku dosen pembimbing II.
6. Seluruh dosen Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim
7. Orang tua dan seluruh keluarga yang telah menjadi pendengar dan pendukung penulis dalam menghadapi setiap masalah. Ucapan terima kasih yang sangat besar penulis berikan atas do'a dan dukungannya.
8. Kakak tersayang, Onkky Setyo Ardi Herawan, yang selalu menjadi panutan serta sosok yang paling mendukung penulis dalam setiap langkah. Terima kasih atas kehadiran, kasih sayang, serta motivasi yang tak pernah surut, yang senantiasa memberi semangat dan kekuatan bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

9. "Senja" yang tidak pernah lupa menampakkan dirinya setiap hari. Ucapan terima kasih atas setiap kehadirannya yang selalu membawa ketenangan, menjadi saksi dalam setiap proses penyusunan skripsi ini, dan mengingatkan bahwa setelah hari yang panjang selalu ada waktu untuk merenung dan bersyukur. Kehadirannya menjadi pengingat bahwa setiap perjalanan, seberat apa pun, akan selalu memiliki akhir yang indah.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Namun, dengan penuh keikhlasan, karya ini dipersembahkan sebagai bentuk penghargaan dan rasa terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi, dukungan, serta inspirasi kepada penulis. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca dan menjadi langkah awal bagi eksplorasi ilmiah yang lebih mendalam.

Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Malang, 22 Mei 2025

Daniel Fais Bil Nadzari

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	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah	5
1.6 Definisi Istilah	5
BAB II KAJIAN TEORI	7
2.1 Teori Pendukung	7
2.1.1 Graf	7
2.1.2 Graf Acak Erdos-Renyi	8
2.1.3 Optimasi	9
2.1.4 <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO)	10
2.1.5 <i>Ant System</i>	12
2.2 Kajian Integrasi Topik dengan Al-Quran/Hadits	20
2.3 Kajian Topik Dengan Teori Pendukung	22
2.3.1 Pengaruh Nilai Parameter α	22
2.3.2 Pengaruh Nilai Parameter β	23
2.3.3 Interaksi antara Parameter α dan β	24
BAB III METODE PENELITIAN	26
3.1 Jenis Penelitian	26
3.2 Pra Penelitian	26
3.3 Tahapan Penelitian	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Menentukan Data	31
4.1.1 Hasil Graf Acak Berbobot	31
4.1.2 Membuat Matriks	33
4.2 Inisialisasi Parameter	34
4.3 Eksperimen dan Simulasi	35

4.3.1 Graf Pertama	41
4.3.2 Graf Kedua	51
4.3.3 Graf Ketiga	61
4.4 Analisis Data	71
4.4.1 Uji Statistik	71
4.4.2 Pola Persebaran Rute Terpendek	75
4.5 Kajian Penelitian dalam Perspektif Islam	78
BAB V PENUTUP	81
5.1 Kesimpulan	81
5.2 Saran untuk Penelitian Lanjutan	81
DAFTAR PUSTAKA	83
LAMPIRAN	85
RIWAYAT HIDUP	91

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Bobot Hasil Data Graf Acak 1	33
Tabel 4.2	Bobot Hasil Data Graf Acak 2	33
Tabel 4.3	Bobot Hasil Data Graf Acak 3	34
Tabel 4.4	Inisialisasi Parameter	34
Tabel 4.5	Visibilitas Graf Pertama.....	35
Tabel 4.6	Graf Pertama Hasil Pertama	41
Tabel 4.7	Graf Pertama Hasil Kedua	44
Tabel 4.8	Graf Pertama Hasil Ketiga.....	47
Tabel 4.9	Graf Kedua Hasil Pertama	51
Tabel 4.10	Graf Kedua Hasil Kedua.....	54
Tabel 4.11	Graf Kedua Hasil Ketiga.....	58
Tabel 4.12	Graf Ketiga Hasil Pertama.....	61
Tabel 4.13	Graf Ketiga Hasil Kedua.....	65
Tabel 4.14	Graf Ketiga Hasil Ketiga	68
Tabel 4.15	Jarak Rute Terpendek dari Graf Pertama Hasil Pertama	75
Tabel 4.16	Jarak Rute Terpendek dari Graf Pertama Hasil Kedua.....	75
Tabel 4.17	Jarak Rute Terpendek Dari Graf Pertama Hasil Ketiga.....	76
Tabel 4.18	Jarak Rute Terpendek Dari Graf Kedua Hasil Pertama	76
Tabel 4.19	Jarak Rute Terpendek Dari Graf Kedua Hasil Kedua.....	76
Tabel 4.20	Jarak Rute Terpendek Dari Graf Kedua Hasil Ketiga.....	77
Tabel 4.21	Jarak Rute Terpendek Dari Graf Ketiga Hasil Pertama.....	77
Tabel 4.22	Jarak Rute Terpendek Dari Graf Ketiga Hasil Kedua.....	77
Tabel 4.23	Jarak Rute Terpendek Dari Graf Ketiga Hasil Ketiga	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Graf Sederhana	7
Gambar 4.1	Graf Acak 1	31
Gambar 4.2	Graf Acak 2	32
Gambar 4.3	Graf Acak 3	32
Gambar 4.4	Hasil Uji Kruskal Wallis Graf Pertama	74
Gambar 4.5	Hasil Uji Kruskal Wallis Graf Kedua	74
Gambar 4.6	Hasil Uji Kruskal Wallis Graf Ketiga	74

DAFTAR SIMBOL

τ_{ij}	: Intensitas jejak semut
$\Delta\tau_{ij}$	: Perbedaan intensitas jejak semut
Q	: Tetapan siklus semut
α	: Tetapan pengendali intensitas feromon
β	: Tetapan pengendali visibilitas
η_{ij}	: Visibilitas antar kota/titik
d_{ij}	: Jarak antar titik
m	: Banyak semut
ρ	: Laju penguapan feromon
$tabu_k$	: Menyimpan jejak perjalanan semut
N	: Titik yang belum dikunjungi
s	: Indeks urutan kunjungan
P	: Probabilitas setiap semut memilih jalur
L_k	: Panjang rute tertutup semut ke- k setelah menyelesaikan satu siklus
L_{min}	: Minimal Panjang rute tertutup untuk setiap siklus

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Program Membuat Graf Berbobot Dan Menyimpannya	85
Lampiran 2 Program Untuk Membuat Graf Matriks	85
Lampiran 3 Program Mencari Rute Terpendek Dengan Algoritma Ants System.....	110
Lampiran 4 Perhitungan Uji Normalisasi.....	87

ABSTRAK

Nadzari, Daniel Fais Bil. 2025. **Dampak Perubahan Tetapan Pengendali Intensitas Jejak Feromon dan Visibilitas terhadap Rute Terpendek yang Dihasilkan oleh *Ant System***. Skripsi. Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Mohammad Nafie Jauhari, M.Si (II) Abdul Aziz, M.Si

Kata Kunci: *Ant Colony Optimization*, Feromon, Visibilitas, Optimasi, Algoritma Metaheuristik

Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) merupakan salah satu metode optimasi berbasis metaheuristik yang terinspirasi dari perilaku sosial semut dalam menemukan jalur terpendek menuju sumber makanan. Semut berkomunikasi menggunakan jejak feromon untuk membimbing anggota koloni lainnya dalam memilih jalur yang lebih efisien. Konsep ini kemudian diadaptasi ke dalam dunia komputasi untuk menyelesaikan berbagai permasalahan optimasi kombinatorial, seperti *Travelling Salesman Problem* (TSP), optimasi jaringan, dan penjadwalan. Meskipun ACO telah terbukti efektif dalam menemukan solusi optimal, performanya sangat bergantung pada parameter yang digunakan, terutama intensitas feromon dan visibilitas. Feromon berperan dalam memperkuat jalur terbaik, sedangkan visibilitas menentukan preferensi semut terhadap jalur yang lebih pendek. Ketidaktepatan dalam mengatur parameter ini dapat mengakibatkan algoritma terjebak dalam solusi suboptimal atau meningkatkan waktu komputasi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak perubahan parameter tersebut terhadap kinerja *ant system* dalam menemukan jalur terpendek. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan deskriptif kuantitatif, dengan analisis statistik menggunakan uji normalitas dan uji Kruskal-Wallis untuk mengidentifikasi signifikansi perbedaan hasil akibat variasi parameter. Pengujian dilakukan pada tiga jenis graf dengan tingkat keterhubungan berbeda, masing-masing diuji sebanyak tiga kali, sehingga diperoleh total 1.089 data rute. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan parameter intensitas feromon dan visibilitas tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap panjang jalur optimal yang ditemukan. Temuan ini mengindikasikan bahwa dalam kondisi tertentu, algoritma ACO memiliki toleransi yang cukup tinggi terhadap variasi parameter tanpa mengalami penurunan performa secara signifikan.

ABSTRACT

Nadzari, Daniel Fais Bil. 2025. **The Impact of Changes in Pheromone Trail Intensity and Visibility Constants on the Shortest Route Generated by the Ant System.**

Thesis. Mathematics Study Program, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor: (I) Mohammad Nafie Jauhari, M.Si (II) Abdul Aziz, M.Si

Keywords: Ant Colony Optimization, Pheromone, Visibility, Optimization, Metaheuristic Algorithm

The Ant Colony Optimization (ACO) algorithm is a metaheuristic-based optimization method inspired by the social behavior of ants in finding the shortest path to a food source. Ants communicate through pheromone trails to guide other colony members toward more efficient paths. This concept has been adapted into computing to solve various combinatorial optimization problems, such as the Travelling Salesman Problem (TSP), network optimization, and scheduling. Although ACO has proven effective in finding optimal solutions, its performance is highly dependent on the parameters used, particularly pheromone intensity and visibility. Pheromones reinforce better paths, while visibility influences the ants' preference for shorter routes. Inaccurate parameter settings can lead the algorithm to become trapped in suboptimal solutions or increase computation time. Therefore, this study aims to analyze the impact of changes in these parameters on the performance of the ant system in finding the shortest path. This research uses a quantitative descriptive approach with statistical analysis, including normality tests and the Kruskal-Wallis test, to identify significant differences in results due to parameter variations. Experiments were conducted on three types of graphs with different connectivity levels, each tested three times, resulting in a total of 1,089 route data points. The results show that changes in pheromone intensity and visibility parameters do not significantly affect the optimal path length found. These findings indicate that under certain conditions, the ACO algorithm demonstrates a relatively high tolerance to parameter variations without a significant decline in performance.

مستخلص البحث

بالتضر، دانيال فايس . ٢٠٢٥. تأثير التغييرات في إعدادات التحكم في تقليد تتبع الفيرومون والرؤية على أقصر طريق تم إنشاؤه بواسطة نظام النمل. البحن العلمي. قسم الرياضيات ، كلية العلوم والتكنولوجيا ، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف: (١) محمد نافع جوهرى، الماجستير (٢) عبد العزيز، الماجستير

الكلمات المفتاحية: تحسين مستعمرة النمل ، الفيرومونات ، الرؤية ، التحسين ، خوارزمية *Metaheuristic*

تعد خوارزمية *Ant Colony Optimization (ACO)* من إحدى طرق تحسين القائمة على *metaheuristic* المستوحاة من السلوك الاجتماعي للنمل في إيجاد أقصر طريق إلى مصدر الغذاء. يتواصل النمل باستخدام آثار الفرمون لتوجيه الأعضاء الآخرين في المستعمرة في اختيار مسار أكثر كفاءة. ثم تم تكييف هذا المفهوم مع عالم الحوسبة لحل العديد من مشكلات التحسين التوافقي ، مثل مشاكل البائع المتجول (*TSP*) ، وتحسين الشبكة ، والجدولة. على الرغم من أن *ACO* قد ثبتت فعاليتها في إيجاد الحلول المثلى ، إلا أن أدائها يعتمد بشكل كبير على المعلومات المستخدمة ، وخاصة شدة الفرمون والرؤية. تلعب الفيرومونات دورا في تقوية أفضل المسارات ، بينما تحدد الرؤية تفضيل النملة للمسارات الأقصر. يمكن أن تؤدي عدم الدقة في تعيين هذه المعلومات إلى توقف الخوارزمية في حل دون المستوى الأمثل أو زيادة الوقت الحسابي. لذلك ، تهدف هذه الدراسة إلى تحليل تأثير هذه التغييرات في المعلومات على أداء نظام النمل في إيجاد أقصر مسار. الطريقة المستخدمة في هذه الدراسة هي نهج وصفي كمي ، مع التحليل الإحصائي باستخدام اختبارات الطبيعة واختبارات *Kruskal-Wallis* لتحديد أهمية الاختلافات في النتائج بسبب اختلافات المعلومات. تم إجراء الاختبارات على ثلاثة أنواع من الرسوم البيانية بمستويات مختلفة من الاتصال ، تم اختبار كل منها ثلاث مرات ، مما أدى إلى ما مجموعه ١٠٨٩ بيانات مسار. أظهرت النتائج أن التغييرات في شدة الفرمون ومعلومات الرؤية لم يكن لها تأثير كبير على طول المسار الأمثل الموجود. تشير هذه النتائج إلى أنه في ظل الظروف المعينة ، تتمتع خوارزمية *ACO* بتسامح عال إلى حد ما لاختلافات المعلومات دون التعرض لانخفاض كبير في الأداء.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perilaku sosial semut, terutama dalam hal kolaborasi dan pembagian tugas, telah menjadi objek penelitian intensif dalam biologi dan ilmu komputer. Salah satu aspek yang paling menarik dari perilaku ini adalah kemampuan semut untuk menemukan jalur terpendek menuju sumber makanan menggunakan feromon, bahan kimia yang mereka tinggalkan sebagai penanda. Ketika lebih banyak semut melewati jalur tertentu, jejak feromon tersebut semakin kuat, menarik lebih banyak semut untuk mengikutinya. Mekanisme ini memungkinkan koloni semut menemukan solusi optimal secara kolektif tanpa adanya komando pusat, suatu proses yang terjadi melalui interaksi lokal yang sederhana tetapi menghasilkan pola perilaku global yang kompleks (Blum, 2005). Pemahaman tentang proses ini tidak hanya mengungkapkan wawasan mendalam tentang kehidupan sosial serangga, tetapi juga memberikan inspirasi bagi berbagai bidang teknologi.

Salah satu terobosan yang dihasilkan dari penelitian perilaku semut adalah pengembangan *Ant Colony Optimization* (ACO), sebuah algoritma yang terinspirasi oleh kemampuan semut dalam menemukan jalur terpendek. Algoritma ini digunakan untuk memecahkan masalah kombinatorial yang sulit, seperti *Traveling Salesman Problem* (TSP) dan masalah optimasi lainnya yang melibatkan banyak kemungkinan solusi. Dalam ACO, sejumlah semut yang menjelajahi ruang solusi dan menandai solusi yang baik dengan feromon. Dengan iterasi yang berulang, jejak feromon ini mengarahkan semut ke solusi optimal atau mendekati optimal. Penggunaan ACO telah terbukti efektif dalam berbagai aplikasi seperti

routing jaringan, penjadwalan, dan optimasi transportasi, memberikan solusi yang efisien dalam waktu yang relatif singkat (Dorigo et al., 2006).

Dibandingkan dengan metode optimasi lainnya seperti *Genetic Algorithm* (GA), *Ant Colony Optimization* (ACO) sering menunjukkan keunggulan dalam hal efisiensi komputasi dan kualitas solusi, terutama ketika diterapkan pada masalah kombinatorial yang kompleks. Misalnya, dalam penyelesaian masalah *Traveling Salesman Problem* (TSP) dan fungsi uji *De Jong*, ACO terbukti memberikan hasil yang lebih baik atau setidaknya kompetitif. Mekanisme penelusuran berbasis feromon memungkinkan algoritma ini untuk memfokuskan pencarian solusi pada jalur yang lebih menjanjikan secara efisien (Foong et al., 2005).

Dalam beberapa tahun terakhir, ACO juga berhasil diadaptasi untuk menangani berbagai masalah penjadwalan yang menantang. Ini termasuk penjadwalan proyek dengan sumber daya terbatas (RCPSP), masalah keterlambatan pada mesin tunggal, serta masalah *job-shop* dan *flow-shop*. Keberhasilan penerapan ACO dalam konteks ini semakin memperkuat reputasinya sebagai alat yang kuat untuk menyelesaikan berbagai masalah optimasi praktis. Dibandingkan dengan algoritma lainnya, pendekatan ini menawarkan fleksibilitas yang lebih besar dan sering kali menemukan solusi yang lebih baik dalam waktu yang lebih singkat, menjadikannya pilihan yang populer dalam dunia riset dan aplikasi industri (Foong et al., 2005).

Perilaku semut yang mencari makan menjadikan sumber inspirasi dari ACO. Saat mencari makan, semut awalnya menjelajahi area sekitar sarangnya secara acak. Segera setelah seekor semut menemukan sumber makanan, ia mengevaluasi kuantitas dan kualitas makanan tersebut dan membawa sebagian makanan tersebut

kembali ke sarangnya. Selama perjalanan pulang, semut menyimpan jejak feromon kimia di tanah. Kuantitas feromon yang disimpan, yang mungkin bergantung pada kuantitas dan kualitas makanan, akan memandu semut yang lain menuju sumber makanan (Dorigo & Blum, 2005).

Dalam ACO, parameter α dan β mengontrol seberapa besar semut-semut memberikan bobot pada dua faktor penting, yaitu feromon dan jarak antara dua titik. α mengontrol seberapa besar pengaruh feromon dalam pengambilan keputusan semut, sementara β mengontrol seberapa besar pengaruh jarak (Dorigo & Blum, 2005). Nilai α menentukan pengaruh intensitas feromon terhadap pemilihan jalur, di mana nilai tinggi memprioritaskan jalur sering dilewati, sedangkan nilai rendah mendorong eksplorasi jalur baru. Nilai β menentukan pengaruh visibilitas jarak pada pemilihan jalur, di mana nilai tinggi mendorong eksploitasi jalur pendek untuk solusi cepat, sedangkan nilai rendah memperhatikan faktor lain seperti feromon. Memahami pengaruh dan interaksi antara kedua parameter ini penting untuk meningkatkan kinerja algoritma.

Firman Allah SWT dalam QS. Al Mulk Ayat 3-4,

الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ طِبَاقًا مَّا تَرَىٰ فِي خَلْقِ الرَّحْمَنِ مِن تَفَوتٍ فَأَرْجِعِ الْبَصَرَ هَل تَرَىٰ مِن فُطُورٍ (٣)
ثُمَّ أَرْجِعِ الْبَصَرَ كَرَّتَيْنِ يَنقَلِبْ إِلَيْكَ الْبَصَرُ حَاسِدًا وَهُوَ حَسِيرٌ (٤)

Artinya :“(3) Yang menciptakan tujuh langit berlapis-lapis. Tidak akan kamu lihat sesuatu yang tidak seimbang pada ciptaan Tuhan Yang Maha Pengasih. Maka lihatlah sekali lagi, adakah kamu lihat sesuatu yang cacat? (4) Kemudian ulangi pandangan(mu) sekali lagi (dan) sekali lagi, niscaya pandanganmu akan kembali kepadamu tanpa menemukan cacat dan ia (pandanganmu) dalam keadaan letih.” (Kementrian Agama, 2017).

Menurut tafsir Al-Mukhtashar, bahwa Allah telah menciptakan tujuh lapis langit yang tersusun di atas satu sama lain, namun masing-masing langit tidak saling bersinggungan. Tidak ada kekurangan atau ketidakteraturan dalam ciptaan Allah.

Manusia diajak untuk memperhatikan ciptaan tersebut dengan seksama, dan ketika mencoba mencari celah atau ketidaksempurnaan, mereka tidak akan menemukannya. Manusia dapat memandang berulang kali, namun hasilnya akan tetap sama, mereka akan kembali dengan pandangan yang lemah, tidak mampu menemukan cacat atau kekurangan dalam penciptaan langit yang begitu sempurna dan teratur (Al-Mukhtashar, 2024).

Ayat ini mengajak kita untuk melihat kembali dan mengevaluasi ciptaan Allah berulang-ulang untuk menyadari kesempurnaannya. Dalam konteks optimasi, ini bisa diterapkan dengan melakukan evaluasi rutin terhadap cara kita mengelola waktu dan jarak. Evaluasi berulang membantu mengidentifikasi area yang perlu diperbaiki dan memastikan kita terus mengoptimalkan cara kita bekerja dan bergerak.

Penulis akan meneliti dampak perubahan feromon dan heuristik dalam penyelesaian persamaan *Ant Colony Optimization* (ACO). Penelitian ini akan mempertimbangkan berbagai parameter yang mendukung penelitian ini, yaitu jumlah semut, iterasi, dan tingkat penguapan feromon. Fokus penelitian untuk memahami bagaimana perubahan feromon dan heuristik memengaruhi kinerja dan efisiensi algoritma ACO.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana dampak perubahan tetapan pengendali intensitas feromon(α) dan visibilitas(β) terhadap rute terpendek yang dihasilkan oleh *ant system*?

1.3 Tujuan Penelitian

Untuk menganalisis dan menjelaskan dampak perubahan tetapan pengendali intensitas feromon(α) dan visibilitas(β) terhadap rute terpendek yang dihasilkan oleh *ant system*.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Menambah wawasan keilmuan dan pengetahuan cara kerja algoritma *ant system* beserta konsepnya.
2. Mengetahui pengaruh antara dampak perubahan tetapan pengendali intensitas feromon dan visibilitas terhadap rute terpendek yang dihasilkan oleh *ant system*.

1.5 Batasan Masalah

1. Pembatasan nilai tetapan pengendali intensitas feromon dan visibilitas pada penelitian ini dibatasi hanya pada $\alpha, \beta \in \{1,0, 1,1, 1,2, 1,3, 1,4, 1,5, 1,6, 1,7, 1,8, 1,9, 2,0\}$
2. Data yang digunakan diperoleh dari graf acak menggunakan algoritma Erdos-Renyi.
3. Pengulangan siklus pencarian rute terpendek akan dilakukan sebanyak 20 kali.

1.6 Definisi Istilah

1. Feromon: Dalam konteks biologi, feromon adalah bahan kimia yang dikeluarkan oleh hewan, termasuk serangga seperti semut, untuk

berkomunikasi dengan individu lain dari spesies yang sama. Pada algoritma ACO, feromon digunakan sebagai representasi buatan untuk menandai jalur-jalur yang telah dijelajahi oleh semut, yang membantu dalam menemukan solusi optimal.

2. *Ant Colony Optimization (ACO)*: ACO adalah algoritma yang terinspirasi oleh perilaku semut dalam menemukan jalur terpendek menuju sumber makanan. Algoritma ini digunakan untuk memecahkan masalah optimasi kombinatorial dengan menduplikasi perilaku penjelajahan dan penandaan jalur oleh semut.
3. *Traveling Salesman Problem (TSP)*: TSP adalah masalah kombinatorial klasik di mana seorang penjual harus mengunjungi sejumlah kota satu kali saja dan kembali ke kota asal dengan rute terpendek. Ini adalah salah satu masalah optimasi yang dapat diselesaikan dengan menggunakan ACO.
4. *Heuristik*: Heuristik adalah pendekatan yang digunakan untuk menemukan solusi yang mendekati optimal atau cukup baik dalam waktu yang lebih singkat daripada mencari solusi yang sepenuhnya optimal. Dalam konteks ACO, heuristik digunakan untuk membantu semut buatan memutuskan jalur mana yang lebih mungkin menghasilkan solusi terbaik.
5. *Resource-Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP)*: RCPSP adalah masalah penjadwalan di mana proyek harus diselesaikan dengan sumber daya yang terbatas. Masalah ini merupakan salah satu contoh dari penerapan ACO.
6. *Tabulist*: struktur data yang digunakan untuk menyimpan informasi tentang solusi yang telah dieksplorasi oleh semut dalam algoritma.

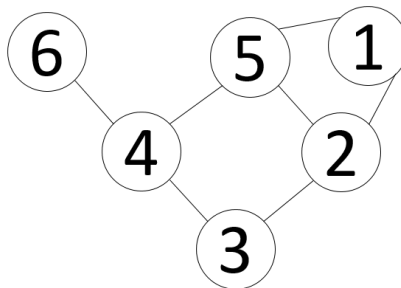
BAB II

KAJIAN TEORI

2.1 Teori Pendukung

2.1.1 Graf

Teori Graf adalah cabang dari matematika dan ilmu komputer yang mempelajari struktur graf. Graf $G = (V, E)$ adalah pasangan dari dua himpunan. Himpunan V yang terdiri dari titik-titik (*vertices*) dan himpunan E yang terdiri dari himpunan dua elemen dari V yang disebut sisi (*edges*). Graf adalah titik-titik yang dihubungkan oleh sisi-sisi tersebut. Jika sisi e menghubungkan dua titik a dan b , maka dikatakan bahwa a dan b saling berdekatan atau bertetangga, dan ditulis sebagai $e = ab$ atau $e = a-b$ (Cohen et al., 2007). Berikut merupakan contoh dari graf sederhana



Gambar 2.1 Graf Sederhana

Banyak struktur dapat direpresentasikan menggunakan graf. Salah satu pengembangan graf adalah dengan menambahkan arah pada sisi-sisinya, yang secara teknis disebut sebagai graf berarah atau *digraph* (*directed graph*). Graf berarah yang memiliki bobot pada sisinya disebut jaringan, yang sering digunakan dalam cabang praktis teori graf, yaitu analisis jaringan. Namun, dalam analisis

jaringan, istilah “jaringan” bisa memiliki definisi yang berbeda dan seringkali merujuk pada graf sederhana tanpa bobot dan arah (Marcos et al., 2017).

Graf dapat memiliki berbagai bentuk tergantung pada sifat hubungan dan representasi yang diinginkan. Beberapa jenis graf yang umum meliputi graf tak berarah dan graf berarah. Graf tak berarah adalah graf di mana sisi-sisinya tidak memiliki arah, yang berarti hubungan antara dua titik, seperti titik A dan titik B , bersifat dua arah. Sebaliknya, graf berarah memiliki sisi yang menunjukkan arah tertentu, sehingga hubungan antara titik A dan titik B hanya berlaku dalam satu arah.

Jenis graf lainnya adalah graf berbobot, di mana setiap sisi memiliki bobot atau nilai yang menunjukkan jarak, biaya, atau nilai lainnya antara titik-titik yang terhubung. Selain itu, ada juga graf terarah berbobot yang menggabungkan sifat berarah dan berbobot, sehingga setiap sisi dalam graf ini memiliki arah dan bobot tertentu. Bobot ini dapat berupa biaya, jarak, atau bahkan jumlah kepadatan penduduk (Lusiani et al., 2021).

2.1.2 Graf Acak Erdos-Renyi

Erdos dan Renyi mendefinisikan graf acak sebagai graf dengan N node berlabel yang dihubungkan oleh n edge, di mana edge-edge tersebut dipilih secara acak dari total $\frac{N(N-1)}{2}$ edge yang mungkin. Metode ini bertujuan untuk membangun graf dari node-node yang awalnya terisolasi dengan menambahkan edge antara setiap pasangan node berdasarkan suatu probabilitas tertentu (Watts & Strogatz, 1998).

Model ini juga digunakan untuk mempelajari universalitas spektrum pada bagian tengah (*bulk*) dan tepi (*edge*) dengan menggunakan hukum semicircle lokal. Hukum ini menunjukkan bahwa distribusi nilai eigen mengikuti pola hukum semicircle Wigner pada jendela spektral tertentu. Erdos–Renyi memberikan wawasan tentang jaringan acak dan analisis spektral dalam berbagai konteks, seperti memahami karakteristik jaringan, penyebaran graf, dan sifat statistik dari sistem kompleks (Erdős et al., 2013).

2.1.3 Optimasi

Optimasi adalah aspek penting dalam setiap masalah yang melibatkan pengambilan keputusan, baik itu dalam bidang teknik maupun ekonomi. Pengambilan keputusan melibatkan pemilihan di antara berbagai alternatif yang tersedia. Keputusan ini didasarkan pada keinginan kita untuk membuat pilihan yang paling optimal. Ukuran dari kualitas alternatif-alternatif ini dinyatakan melalui fungsi objektif atau indeks kinerja. Teori dan metode optimasi berkaitan dengan memilih alternatif terbaik berdasarkan fungsi objektif yang ditentukan (Chong & Zak, 2013).

Bidang optimasi telah menarik perhatian besar dalam beberapa tahun terakhir. Kemajuan dalam bidang optimasi tidak akan pernah lepas perannya oleh kemajuan pesat dalam teknologi komputer yang saling berbanding lurus. Ini termasuk pengembangan perangkat lunak yang mudah digunakan, prosesor berkecepatan tinggi dan paralel, serta jaringan saraf buatan.

Masalah yang berhubungan dengan optimasi sangat kompleks dalam kehidupan sehari-hari. Proses optimasi sering kali melibatkan berbagai variabel

dan parameter yang saling terkait. Untuk mendapatkan hasil yang terbaik, diperlukan analisis yang mendalam dan metode yang tepat.

Nilai optimal yang diperoleh dari proses optimasi dapat berupa berbagai ukuran seperti panjang, waktu, dan jarak. Setiap hasil optimal bergantung pada tujuan spesifik dari masalah yang sedang dipecahkan. Dengan optimasi, dapat mencapai efisiensi dan efektivitas yang lebih tinggi dalam berbagai aspek kehidupan.

Berikut ini adalah beberapa contoh masalah optimasi:

1. Menentukan rute terpendek dari satu lokasi ke lokasi lain.
2. Menentukan jumlah pekerja minimal yang diperlukan untuk suatu proses produksi agar biaya pekerja dapat ditekan dan hasil produksi tetap optimal.
3. Mengatur jalur kendaraan umum agar dapat menjangkau semua lokasi.
4. Mengatur rute jaringan kabel telepon agar biaya pemasangan kabel tidak terlalu tinggi dan penggunaannya efisien.

2.1.4 Ant Colony Optimization (ACO)

Ant Colony Optimization (ACO) adalah sebuah solusi metaheuristik yang relatif baru yang didasarkan pada perilaku mencari makan pada koloni semut (Foong et al., 2005). Algoritma semut adalah sebuah metode probabilistik yang digunakan untuk menyelesaikan masalah komputasi dengan cara menemukan jalur optimal melalui sebuah grafik. Metode ini meniru perilaku koloni semut dalam mencari rute terpendek dari sarang mereka ke sumber makanan, dengan memanfaatkan jejak feromon yang mereka tinggalkan (Dorigo et al., 1997). Dalam konteks komputasi, algoritma ini menggabungkan pendekatan heuristik

dan adaptif untuk menemukan solusi terbaik secara efisien, menjadikannya sangat efektif untuk masalah optimasi yang kompleks.

Semut berkomunikasi satu sama lain dengan meletakkan feromon di sepanjang jalurnya, jadi tempat semut masuk dan mengelilingi koloni semutnya merupakan sistem stigmergi. Pada banyak spesies semut, semut yang berjalan dari atau menuju sumber makanan, menyimpan zat yang disebut feromon di tanah. Semut lain dapat mencium feromon ini, dan kehadirannya mempengaruhi pilihan jalurnya, yaitu cenderung mengikuti konsentrasi feromon yang kuat (Katiyar et al., 2015). Feromon yang disimpan di tanah membentuk trail feromon, yang memungkinkan semut menemukan sumber makanan baik yang sebelumnya telah diidentifikasi oleh semut yang lain (Dorigo & Socha, 2006).

Feromon adalah zat kimia yang dihasilkan oleh kelenjar endokrin dan digunakan oleh makhluk hidup untuk mengenali sesama jenis, individu lain, atau kelompoknya, terutama dalam mendukung proses reproduksi (Samudra, 2018). Zat ini memiliki kemampuan untuk memanipulasi perilaku hewan lain dari spesies yang sama. Feromon dapat mempengaruhi dan dikenali oleh individu sejenis, dengan mekanisme kerja yang melibatkan penyebaran zat ini ke luar tubuh. Feromon merupakan senyawa kimia atau campuran dari beberapa senyawa yang dikeluarkan oleh satu individu yang dapat mempengaruhi perilaku tertentu individu lainnya dalam satu spesies (Leal, 2005).

Proses pengendapan feromon ini dikenal sebagai stigmergi, yaitu suatu mekanisme modifikasi lingkungan yang membantu semut mengingat jalur pulang ke sarang serta memungkinkan mereka berkomunikasi dengan semut lainnya. Jejak feromon akan menguap seiring waktu, menyebabkan kekuatan daya

tariknya berkurang secara perlahan. Semakin sering koloni semut melewati jalur tersebut dalam waktu singkat, semakin sedikit feromon yang menguap. Sebaliknya, jika perjalanan pulang-pergi koloni semut memakan waktu lebih lama, penguapan feromon akan lebih besar.

2.1.5 *Ant System (AS)*

Ant System (AS) adalah algoritma ACO pertama (1991) yang diusulkan dalam literatur (Dorigo & Socha, 2006). Algoritma ini terdiri dari sejumlah m semut yang berkolaborasi dan berkomunikasi secara tidak langsung melalui zat feromon. Ciri utamanya adalah nilai feromon diperbarui oleh semua semut yang telah menyelesaikan *tour*-nya (Stiitzle & Hoos, 1998).

Setiap semut memulai perjalanannya (*tour*) melalui sebuah titik awal yang dipilih secara acak. Titik awal ini berbeda-beda untuk setiap semut, memastikan keragaman dalam eksplorasi jalur. Dalam prosesnya, semut-semut tersebut secara berulang mengunjungi titik-titik yang ada dengan tujuan untuk menghasilkan sebuah *tour*.

Semut cenderung memilih jalur menuju titik-titik yang terhubung oleh ruas yang lebih pendek dan memiliki konsentrasi zat feromon yang tinggi (Dorigo et al., 1997). Setiap semut memiliki memori yang disebut *tabulist*, yang mencatat semua titik yang telah dikunjungi selama setiap perjalanan (*tour*). *Tabulist* ini juga berperan untuk mencegah semut mengunjungi titik yang sudah pernah didatangi sebelumnya. Dengan demikian, semut dapat membangun solusi yang lebih dekat dengan jalur optimal.

Zat feromon dapat menguap seiring berjalannya waktu (Gutjahr, 2000). Peranan utama dari penguapan zat feromon adalah untuk mencegah stagnasi, yaitu kondisi di mana semua semut berakhir dengan melakukan tour yang sama. Penguapan ini memastikan bahwa jalur-jalur yang tidak optimal tidak terus-menerus dipilih oleh semut. Dengan demikian, semut didorong untuk menjelajahi jalur-jalur baru, menjaga keragaman dalam pencarian solusi. Proses ini membantu sistem untuk tetap dinamis dan adaptif.

Proses di atas kemudian diulang sampai jumlah rute terpendek yang dapat diambil semut untuk mencari makan tercapai minimum (Dorigo et al., 1991). Ketika sistem mulai menunjukkan perilaku stagnasi, di mana semut-semut tidak lagi mencari solusi alternatif, iterasi dihentikan. Pada titik ini, sistem dianggap telah mencapai solusi yang mendekati optimal. Dengan demikian, sistem berhenti mencari solusi baru dan menggunakan jalur yang sudah ditemukan sebagai solusi terbaik.

Beberapa parameter yang digunakan dalam algoritma *ant colony* sebagai berikut:

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

Intensitas jejak semut (τ_{ij}) perlu diinisialisasi sebelum memulai siklus. Nilai τ_{ij} ini digunakan dalam persamaan probabilitas untuk menentukan titik yang akan dikunjungi oleh semut. Setelah satu siklus selesai, $\Delta\tau_{ij}$ diinisialisasi.

$\Delta\tau_{ij}$ digunakan untuk memperbarui nilai τ_{ij} pada siklus berikutnya. Proses ini memastikan bahwa informasi dari siklus sebelumnya digunakan untuk memandu pencarian di siklus selanjutnya. Dengan cara ini, jalur yang lebih baik dapat ditemukan secara bertahap.

2. Tetapan Siklus Semut (Q)

Q berfungsi sebagai faktor pengali dalam perhitungan peningkatan jumlah feromon pada suatu jalur setelah semut melaluinya. Semakin besar nilai Q , semakin banyak feromon yang ditinggalkan oleh semut pada jalur tersebut. Q adalah sebuah konstanta yang digunakan dalam persamaan untuk menentukan $\Delta\tau_{ij}$. Nilai Q ini ditetapkan oleh pengguna.

3. Tetapan pengendali intensitas feromon (α)

Parameter α digunakan dalam persamaan probabilitas untuk menentukan titik yang akan dikunjungi, berfungsi sebagai pengendali intensitas feromon. Nilai α harus lebih besar atau sama dengan nol ($\alpha \geq 0$). Dengan mengatur nilai α , pengguna dapat memodulasi seberapa besar pengaruh intensitas feromon terhadap keputusan pemilihan jalur. Nilai α yang lebih tinggi akan memberikan bobot lebih besar pada feromon, sehingga jalur yang sudah banyak dilewati akan lebih mungkin dipilih lagi. Sebaliknya, nilai α yang lebih rendah akan mengurangi pengaruh jejak semut, memungkinkan semut untuk lebih mengeksplorasi jalur-jalur baru yang mungkin lebih optimal.

4. Tetapan pengendali visibilitas (β)

Parameter β memiliki nilai yang harus lebih besar atau sama dengan nol ($\beta \geq 0$) dan berperan sebagai pengendali visibilitas dalam algoritma semut. Parameter ini digunakan dalam persamaan probabilitas untuk menentukan titik yang akan dikunjungi oleh semut. Dengan mengatur nilai β , pengguna dapat menyesuaikan pengaruh visibilitas jarak terhadap keputusan pemilihan jalur. Nilai yang lebih tinggi dari β akan memberikan bobot lebih besar pada visibilitas, sehingga semut lebih eksploitatif. Semut akan cenderung memilih

jalur-jalur yang memiliki jarak yang lebih pendek, hal ini akan mengarah pada solusi yang cepat, tetapi tidak optimal. Sebaliknya, nilai β yang lebih rendah akan mengurangi pengaruh visibilitas, memungkinkan semut untuk lebih memperhitungkan informasi lain seperti feromon dalam pengambilan keputusan jalur.

5. Visibilitas antar kota/titik (η_{ij})

η_{ij} , simbol yang melambangkan visibilitas antar titik dalam algoritma semut, digunakan dalam persamaan probabilitas pemilihan titik yang akan dikunjungi. Nilai η_{ij} diperoleh dari hasil invers dari jarak antara dua titik, yang direpresentasikan sebagai $\frac{1}{d_{ij}}$.

6. Banyak semut (m)

Jumlah semut yang akan melakukan siklus dalam algoritma semut, dilambangkan dengan (m), merupakan parameter yang ditentukan oleh pengguna. Dalam konteks ini, jumlah semut dapat diibaratkan sebagai jumlah kota atau titik yang akan dilalui dalam pencarian jalur.

7. Laju penguapan feromon (ρ)

Parameter ρ digunakan untuk menyesuaikan nilai intensitas jejak zat feromon (τ_{ij}) untuk siklus selanjutnya dalam algoritma semut. Tujuannya adalah untuk mencegah penumpukan tak terbatas dari jejak feromon, yang dapat mengakibatkan stagnasi atau divergensi dalam pencarian (Dorigo & Blum, 2005). Oleh karena itu, nilai parameter ρ harus berada dalam rentang 0 hingga 1, $0 < \rho < 1$. Penggunaan nilai ρ yang tepat memungkinkan jejak feromon untuk berkurang seiring waktu, memungkinkan sistem untuk

menyesuaikan dan mengeksplorasi solusi-solusi baru tanpa terjebak pada jalur yang tidak optimal.

Dalam algoritma semut, langkah-langkah yang diperlukan untuk mencari rute terpendek, yaitu (Dorigo et al., 1996):

1. Langkah Pertama :

Inisialisasi kota pertama untuk setiap semut. Penempatan m semut dilakukan secara acak yang dilakukan setelah inisialisasi τ_{ij} terlebih dahulu. Inisialisasi τ_{ij} dilakukan dengan memberikan nilai awal yang seragam pada semua sisi, karena pada awal iterasi belum ada jalur yang memiliki keunggulan dibandingkan yang lain.

2. Langkah kedua :

Penempatan titik pertama ke dalam tabu list dilakukan setelah inisialisasi. Titik pertama yang dipilih oleh setiap semut dalam langkah sebelumnya harus dimasukkan sebagai elemen pertama dalam tabu list. Akibatnya, elemen pertama tabu list setiap semut diisi dengan indeks titik tertentu. Ini berarti setiap $tabu_k(1)$ (dimana k merupakan semut ke- k) dapat berisi indeks kota antara 1 sampai n , sesuai hasil inisialisasi pada langkah 1 (Dorigo et al., 1996).

3. Langkah ketiga :

Penyusunan rute kunjungan setiap semut ke setiap titik dimulai setelah koloni semut terdistribusi ke berbagai titik. Setiap semut memulai perjalanan dari titik pertama yang menjadi titik asalnya, dan memilih salah satu titik lain sebagai tujuan awal. Mulai dari sini, semut-semut membangun rute mereka.

Selanjutnya, dari titik kedua, semut-semut akan melanjutkan perjalanan dengan memilih titik yang belum tercatat dalam $tabu_k$ sebagai tujuan berikutnya. Proses ini diulang, dengan semut terus memilih titik-titik baru yang belum dikunjungi, hingga semua titik dikunjungi (Bullnheimer et al., 1998). Dengan cara ini, setiap semut menyusun rutenya sendiri, menghindari titik-titik yang sudah ada dalam tabu list mereka.

Perjalanan koloni semut berlangsung terus menerus hingga semua titik telah dikunjungi satu per satu atau telah tercatat dalam $tabu_k$. Jika s menyatakan indeks urutan kunjungan, titik asal dinyatakan sebagai $tabu_k(s)$, sedangkan titik-titik lainnya dinyatakan sebagai $\{N - tabu_k\}$ dimana N merupakan himpunan semua titik pada graf yang belum dikunjungi oleh semut. Jika graf memiliki n titik, maka N merupakan himpunan yang mempunyai semua titik yang belum dikunjungi, yaitu $\{1, 2, 3, \dots, n\}$. Untuk menentukan titik tujuan berikutnya, digunakan persamaan probabilitas.

Persamaan ini membantu semut memilih titik mana yang akan dikunjungi selanjutnya berdasarkan probabilitas. Proses pemilihan ini mempertimbangkan faktor-faktor seperti intensitas jejak feromon dan visibilitas antar titik. Dengan demikian, semut dapat membuat keputusan yang optimal untuk setiap langkah perjalanan mereka.

Ketika semut k berada di kota i , maka peluang untuk memilih kota j selanjutnya adalah (Dorigo et al., 2006)

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N_k} [\tau_{il}(t)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta}, & \text{untuk } j \in \{N - tabu_k\} \\ 0, & \text{untuk } j \text{ lainnya} \end{cases} \quad (2.1)$$

di mana,

$p_{ij}^k(t)$ = Probabilitas bahwa semut k akan memilih jalur yang menghubungkan titik i ke titik j pada iterasi t

$\tau_{ij}(t)$ = Jumlah feromon pada jalur i ke j pada waktu ke t

η_{ij} = Nilai heuristik (invers dari jarak) dari i ke j

α = Tetapan pengendali intensitas feromon

β = Tetapan pengendali visibilitas

i = Indeks titik asal

j = Indeks titik tujuan

dengan

$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}, \quad (2.2)$$

4. Langkah keempat :

a. Menghitung panjang rute untuk setiap semut

Menghitung panjang rute tertutup (*length closed tour*) atau L_k setiap semut dilakukan setelah semua semut menyelesaikan satu siklus. Perhitungan ini didasarkan pada $tabu_k$ masing-masing semut.

b. Mencari rute terpendek

Setelah L_k (panjang rute tertutup yang ditemukan oleh semut ke- k setelah menyelesaikan satu siklus) dihitung, diperoleh nilai minimal panjang rute tertutup untuk setiap siklus, yaitu L_{min} . Nilai ini mewakili rute terpendek yang ditemukan oleh semut dalam satu siklus. Secara keseluruhan, panjang rute tertutup minimal adalah L_{min} , yang merupakan rute terpendek dari semua siklus.

5. Langkah kelima :

Perhitungan intensitas feromon semut antar titik untuk siklus selanjutnya dilakukan setelah siklus sebelumnya selesai. Intensitas feromon semut pada semua lintasan antar titik mungkin berubah akibat penguapan dan perbedaan jumlah semut yang melewati lintasan tersebut. Penguapan mengurangi jumlah jejak feromon, sementara banyaknya semut yang melewati suatu lintasan menambahnya. Untuk siklus berikutnya, intensitas jejak feromon semut yang akan melewati lintasan tersebut telah berubah.

Proses ini memastikan bahwa intensitas jejak feromon pada setiap lintasan selalu diperbarui berdasarkan aktivitas semut. Perubahan intensitas ini dihitung menggunakan persamaan tertentu. Semut yang akan melewati lintasan pada siklus berikutnya akan dipengaruhi oleh intensitas yang telah diperbarui ini. Dengan cara ini, algoritma menyesuaikan jalur optimal secara dinamis dari siklus ke siklus (Dorigo et al., 1991).

$$\tau_{ij} = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \Delta\tau_{ij} \quad (2.3)$$

di mana

ρ = Penguapan feromon

τ_{ij} = Intensitas jejak semut

$\Delta\tau_{ij}$ = Perubahan intensitas jejak semut

dengan

$$\Delta\tau_{ij}^k = \frac{Q}{L_k} \quad (2.4)$$

di mana

$\Delta\tau_{ij}^k$ adalah perubahan intensitas feromon semut antar titik.

Untuk (i, j) merupakan titik asal dan titik tujuan dari $tabu_k$

6. Langkah keenam :

Pengosongan tabu list dilakukan sebelum memulai siklus baru, jika jumlah siklus maksimum belum tercapai atau konvergensi belum terjadi. Tabu list perlu dikosongkan untuk diisi lagi dengan urutan titik yang baru pada siklus selanjutnya. Dengan tabu list yang kosong, semut siap memulai perjalanan baru.

Algoritma kemudian diulang dari langkah 2, menggunakan nilai parameter intensitas jejak feromon semut antar titik yang sudah diperbarui. Ini memastikan bahwa semut-semut memanfaatkan informasi terbaru untuk memilih jalur mereka. Proses ini terus berlanjut hingga jumlah rute terpendek yang dapat diambil semut untuk mencari makan tercapai minimum (Dorigo et al., 1996).

2.2 Kajian Integrasi Topik dengan Al-Quran/Hadits

Islam adalah agama yang mengajarkan bahwa segala sesuatu di alam semesta berjalan dengan keteraturan dan kesibukan yang tak pernah berhenti. Hal ini tercermin dalam firman Allah SWT dalam QS. Ar-Rahman ayat 29:

يَسْأَلُهُ مَنْ فِي السَّمُوتِ وَالْأَرْضِ كُلَّ يَوْمٍ هُوَ فِي شَأْنٍ (٢٩)

Artinya : "*Apa yang di langit dan di bumi selalu meminta kepada-Nya. Setiap waktu Dia dalam kesibukan.*" (QS. Ar-Rahman: 55:29).

Menurut tafsir Ustadz Marwan Hadidi bin Musa, M.Pd.I Ayat ini menjelaskan bahwa Allah senantiasa dalam kesibukan mengatur ciptaan-Nya, memastikan bahwa seluruh makhluk-Nya berjalan sesuai dengan hukum-hukum yang telah ditetapkan (Hidayatul Insan bi Tafsiril Qur'an, 2024). Konsep kesibukan

dan keteraturan ini sangat relevan ketika kita melihat bagaimana ilmu pengetahuan, seperti *ant system*, memanfaatkan prinsip-prinsip keteraturan dalam mencari solusi optimal. Sistem ini meniru cara kerja semut yang secara teratur mencari rute terpendek menuju sumber makanan melalui jejak feromon, sebuah bentuk kesibukan alami yang tidak pernah berhenti. Semut-semut tersebut terus-menerus bekerja dalam keteraturan yang harmonis, serupa dengan bagaimana seluruh alam semesta berada dalam kesibukan di bawah pengaturan Allah SWT.

Lebih jauh lagi, ayat ini juga mengajarkan bahwa setiap makhluk selalu tergantung kepada Allah dalam segala urusan mereka (Tafsir Al-Wajiz, 2024). Hal ini sejalan dengan prinsip dalam *ant system*, di mana setiap semut bergantung pada jejak feromon yang ditinggalkan oleh semut lain untuk menentukan rute yang akan diambil. Feromon yang semakin kuat akan menunjukkan rute yang lebih optimal, dan inilah yang kemudian diikuti oleh koloni semut lainnya. Sistem ini menggambarkan bahwa meskipun setiap semut bekerja secara mandiri, mereka tetap tergantung pada informasi yang diberikan oleh jejak feromon yang ada. Sama halnya dengan bagaimana manusia bergantung kepada Allah SWT dalam setiap langkah kehidupan mereka. Allah, yang selalu dalam kesibukan, memberikan petunjuk kepada makhluk-Nya melalui wahyu-Nya agar mereka dapat menjalani hidup dengan lebih baik dan terarah.

Ayat ini juga mengingatkan kita bahwa meskipun Allah selalu dalam kesibukan, pengaturan-Nya terhadap alam semesta tidak pernah kacau. Justru, kesibukan tersebut menciptakan keteraturan yang sempurna, di mana setiap ciptaan bergerak sesuai dengan fungsinya (Tafsir as-Sa'di, 2024). Dalam *ant system*, semut-semut yang sibuk bekerja bersama tidak pernah bergerak tanpa tujuan; setiap jejak

yang mereka tinggalkan memiliki fungsi yang jelas dalam sistem untuk menemukan rute terpendek. Keteraturan dalam sistem semut ini dapat dianggap sebagai analogi kecil dari keteraturan yang lebih besar yang Allah ciptakan di alam semesta. Dengan kata lain, setiap elemen dalam sistem optimasi ini menunjukkan harmoni yang muncul dari kesibukan yang terarah, sebagaimana Allah SWT mengatur segala sesuatu di alam semesta dengan bijaksana.

Konsep kesibukan yang teratur dalam QS. Ar-Rahman ayat 29 juga dapat dijadikan sebagai refleksi bagi manusia untuk meniru keteraturan ini dalam kehidupan mereka. Sama seperti semut yang sibuk tetapi tetap fokus pada tujuan utama yaitu menemukan rute terpendek, manusia pun harus selalu sibuk dalam aktivitas yang bermanfaat, baik untuk dunia maupun akhirat. Dalam dunia penelitian dan optimasi, seperti dalam *ant system*, manusia belajar untuk terus berusaha mencari solusi yang paling efisien dengan memanfaatkan sumber daya yang ada. Sistem semut yang selalu bergerak dalam kesibukan dan keteraturan ini memberikan pelajaran bahwa usaha yang terorganisir dan terus-menerus, jika didasarkan pada aturan yang tepat, akan menghasilkan hasil yang optimal, sebagaimana keteraturan dalam alam semesta yang terus dijaga oleh Allah SWT.

2.3 Kajian Topik Dengan Teori Pendukung

2.3.1 Pengaruh Parameter α

Parameter α mengontrol pengaruh intensitas jejak feromon τ pada pemilihan jalur oleh semut. Nilai α menunjukkan seberapa besar perhatian yang diberikan semut pada jejak feromon yang telah ditinggalkan oleh semut lain.

Dalam algoritma semut, probabilitas P_{ij} bahwa semut akan memilih jalur dari titik i ke titik j ditentukan oleh persamaan 2.1. Ketika α bernilai 0, intensitas jejak feromon tidak berpengaruh sama sekali pada pemilihan jalur. Semut hanya akan mengandalkan visibilitas (jarak), sehingga pemilihan jalur hanya berdasarkan jarak terpendek tanpa memperhatikan jejak feromon (Botee & Bonabeau, 1998).

Semakin besar nilai α , semakin besar pengaruh jejak feromon pada pemilihan jalur. Semut lebih cenderung memilih jalur yang telah dilewati oleh semut lain sebelumnya, karena jejak feromon pada jalur tersebut lebih intens. Hal ini meningkatkan eksploitasi jalur yang sudah diketahui baik, memperkuat preferensi terhadap jalur yang lebih sering dilalui.

2.3.2 Pengaruh Parameter β

Parameter β mengontrol seberapa besar perhatian semut terhadap visibilitas (η) atau seberapa menarik jarak pendek dalam pemilihan jalur. Visibilitas biasanya didefinisikan sebagai invers dari jarak antara dua titik, seperti yang dapat dilihat pada persamaan 2.2.

Dalam algoritma semut, probabilitas P_{ij} bahwa semut akan memilih jalur dari titik i ke titik j ditentukan oleh persamaan 2.1. Ketika β bernilai 0, visibilitas tidak mempengaruhi pemilihan jalur. Semut hanya akan mengandalkan intensitas jejak feromon (τ_{ij}) untuk menentukan jalur mereka, tanpa mempertimbangkan jarak antar titik (Botee & Bonabeau, 1998).

Semakin besar nilai β , semakin besar pengaruh visibilitas pada pemilihan jalur. Semut akan lebih cenderung memilih jalur dengan jarak yang lebih pendek,

hal ini akan mengarah pada solusi yang cepat, tetapi tidak optimal. Sebaliknya, nilai β yang lebih rendah akan mengurangi pengaruh visibilitas, memungkinkan semut untuk lebih memperhitungkan informasi lain seperti feromon dalam pengambilan keputusan jalur. Ini meningkatkan preferensi semut untuk memilih jalur yang secara fisik lebih dekat.

2.3.3 Interaksi antara Parameter α dan β

Probabilitas P_{ij} dalam algoritma semut, menunjukkan bahwa semut akan memilih jalur dari titik i ke titik j ditentukan oleh persamaan 2.1. Semut mempertimbangkan baik jejak feromon maupun visibilitas dalam memilih jalur. Ini adalah pendekatan yang seimbang di mana semut memanfaatkan informasi dari jalur yang sudah sering dilalui (melalui jejak feromon) dan juga memperhatikan jarak antar node untuk menemukan jalur optimal.

Jika nilai α rendah dan β tinggi, semut akan lebih memperhatikan jarak atau visibilitas antar titik, sehingga semut lebih cenderung menjelajahi rute baru. Ini membantu mencegah semut terlalu cepat memilih satu jalur dan mengabaikan jalur lain yang mungkin lebih baik, sehingga algoritma tidak cepat terjebak di solusi yang kurang optimal. Dengan begitu, algoritma punya kesempatan lebih besar untuk menemukan solusi yang terbaik secara keseluruhan, meskipun prosesnya mungkin akan lebih lambat pada awalnya.

Jika nilai α tinggi dan β rendah, semut akan lebih fokus pada jalur yang memiliki jejak feromon yang kuat. Ini bisa membuat mereka lebih cepat menemukan solusi yang sudah diketahui baik, karena mereka cenderung mengikuti jalur yang sering dilalui semut sebelumnya. Namun, jika terlalu fokus

pada jejak feromon (eksploitatif), semut bisa terjebak pada solusi lokal, sehingga mengabaikan jalur lain yang mungkin lebih baik. Hal ini dapat mengurangi peluang menemukan solusi terbaik secara keseluruhan.

Menentukan nilai α dan β yang tepat adalah penting untuk keseimbangan antara eksploitasi dan eksplorasi. Nilai α yang terlalu tinggi atau β yang terlalu rendah dapat menyebabkan semut terjebak pada jalur yang sama, sementara nilai α yang terlalu rendah atau β yang terlalu tinggi dapat menyebabkan semut tidak cukup memanfaatkan informasi yang ada, memperlambat pencarian solusi.

Kombinasi optimal dari α dan β bergantung pada sifat spesifik dari masalah yang dihadapi. Misalnya, untuk masalah di mana informasi awal mengenai jalur optimal tidak tersedia, nilai β yang lebih tinggi mungkin lebih bermanfaat untuk eksplorasi awal. Sebaliknya, untuk masalah dengan jalur yang sudah diketahui baik, nilai α yang lebih tinggi dapat mempercepat konvergensi.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah pendekatan deskriptif kuantitatif yang bertujuan untuk menggambarkan kejadian secara sistematis melalui analisis data numerik. Kegiatan yang dilakukan meliputi pengumpulan data melalui studi literatur dan pengolahan data kuantitatif yang berkaitan dengan topik *ant colony optimization* dan *ant system*. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan pendekatan statistik untuk mengidentifikasi pola, hubungan, atau tren yang relevan dengan topik penelitian.

Penelitian ini mengarah pada pemaparan hasil analisis data kuantitatif yang didukung oleh kajian literatur, memberikan gambaran yang terukur mengenai konsep-konsep dasar serta perkembangan terbaru dalam domain *ant colony optimization* dan *ant system*. Data kuantitatif yang dianalisis kemudian diinterpretasikan untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam, yang selanjutnya diterapkan dalam kerangka kerja penelitian. Pendekatan ini memberikan landasan empiris yang kuat untuk pengembangan kajian lebih lanjut, terutama dalam konteks yang relevan dengan topik penelitian.

3.2 Pra Penelitian

Sebelum penelitian, peneliti melakukan perhitungan singkat dengan graf yang diperoleh dari algoritma Erdos-Renyi yang memiliki 14 titik. Graf akan dirubah ke dalam bentuk matriks berukuran 14×14 untuk memudahkan dalam perhitungan menggunakan algoritma *ant system*. Parameter yang akan digunakan dalam

perhitungan merupakan parameter yang sudah ditentukan oleh peneliti. Hasil yang diperoleh dari perhitungan adalah data rute terpendek sebanyak 121 data. Perhitungan tersebut memberikan hasil yang akan diuji secara statistik untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perubahan tetapan pengendali intensitas feromon dan visibilitas terhadap rute terpendek yang dihasilkan oleh *ant system*.

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan yang harus dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan tetapan pengendali intensitas feromon dan visibilitas terhadap rute terpendek yang dihasilkan oleh *ant system* adalah sebagai berikut.

1. Menentukan data yang akan diolah, data merupakan dari graf acak menggunakan algoritma Erdos-Renyi. Data yang akan digunakan sebanyak tiga graf acak untuk mendapatkan hasil yang konsisten, di mana untuk setiap graf akan memiliki probabilitas koneksi antar titik sebesar 0,3, 0,6, dan 0,9.
2. Inisialisasi parameter yang akan digunakan.

Sebelum melakukan penelitian, akan dilakukan inisialisasi parameter terlebih dahulu, beberapa parameter yang akan diinisialisasi adalah sebagai berikut.

- a. Intensitas jejak semut (τ_{ij}). Pada τ_{ij} awal akan diasumsikan bahwa nilainya 1, dan nilai τ_{ij} akan berubah pada iterasi berikutnya sesuai dengan hasil feromon yang dihasilkan pada iterasi pertama.
- b. Tetapan siklus semut (Q). Jika Q semakin besar maka feromon yang dihasilkan semut akan semakin besar. Maka dari itu pada penelitian ini saya memilih nilai $Q = 100$.

- c. Jumlah semut (m). Jumlah semut ini diibaratkan sebagai titik yang akan dilalui oleh semut. Jadi pada penelitian ini jumlah banyak semutnya adalah 14.
- d. Tetapan pengendali intensitas feromon (α). Merupakan parameter yang akan berfungsi sebagai pengendali feromon untuk menentukan jalur yang akan dipilih oleh semut. Pada penelitian ini saya menggunakan nilai $\alpha \in \{1,0, 1,1, 1,2, 1,3, 1,4, 1,5, 1,6, 1,7, 1,8, 1,9, 2,0\}$
- e. Tetapan pengendali visibilitas (β). Merupakan parameter yang akan berfungsi sebagai pengendali visibilitas untuk menentukan jalur yang akan dipilih oleh semut. Pada penelitian ini saya menggunakan nilai $\beta \in \{1,0, 1,1, 1,2, 1,3, 1,4, 1,5, 1,6, 1,7, 1,8, 1,9, 2,0\}$
- f. Jarak antar dua titik (d_{ij}). Untuk d_{ij} ini digunakan dalam pencarian visibilitas antar titik (η_{ij}), dimana nilai d_{ij} diperoleh dari graf acak yang dihasilkan oleh algoritma Erdos-Renyi pada langkah pertama.
- g. Laju penguapan feromon (ρ). Penguapan feromon yang terlalu besar dapat menyebabkan stagnasi atau divergensi oleh semut dalam pencarian rute terpendek, oleh karena itu penentuan nilai ρ sangat penting. Pada penelitian ini akan menggunakan nilai $\rho = 0,5$.

3. Eksperimen dan Simulasi

Setiap eksperimen yang dilakukan untuk setiap graf akan menghasilkan 121 data rute terpendek. Eksperimen dilakukan sebanyak tiga kali dengan total 363 data untuk setiap kombinasi antara α dan β agar mendapatkan data yang konsisten. Berikut merupakan langkah-langahnya

a. Inisialisasi

Setiap semut ditempatkan secara acak di kota pertama. Semua sisi diberi nilai awal feromon yang seragam.

b. Pembangunan Rute

Kota pertama dimasukkan dalam tabu list. Semut memilih kota berikutnya berdasarkan probabilitas yang mempertimbangkan intensitas feromon dan visibilitas. Proses berulang hingga semua kota dikunjungi. Berikut persamaan untuk probabilitas pemilihan jalur.

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_k} [\tau_{il}(t)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta}, & \text{untuk } j \in \{N - \text{tabu}_k\} \\ 0, & \text{untuk } j \text{ lainnya} \end{cases}$$

di mana

$\mathcal{N}_k$ merupakan sekumpulan titik yang masih bisa dikunjungi oleh semut ke- k , yaitu sisi yang masih belum masuk ke dalam tabu_k .

c. Perhitungan Jarak & Rute Terpendek

Panjang rute setiap semut dihitung setelah menyelesaikan satu siklus.

d. Pembaruan Feromon

Feromon diperbarui berdasarkan penguapan dan jumlah semut yang melewati jalur tersebut. Intensitas feromon dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\tau_{ij} = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \Delta \tau_{ij}$$

e. Pengulangan Algoritma

Tabu list dikosongkan sebelum siklus baru dimulai. Proses berulang dengan parameter feromon yang diperbarui hingga tercapai rute optimal.

4. Analisis Data

Pada analisis data ini, data dari langkah 3 diperoleh 1089 data rute terpendek dengan parameter α dan β yang berbeda akan di uji normalitas data, untuk mengetahui uji statistik yang akan digunakan. Uji statistik data akan menggunakan uji ANOVA(*Analys of Variance*) jika hasil data berdistribusi normal, tapi jika data tidak berdistribusi normal maka data akan diuji menggunakan Kruskal Wallis untuk menentukan seberapa pengaruh nilai tetapan pengendali intensitas feromon dan visibilitas yang dihasilkan oleh *ant system*.

5. Interpretasi Hasil

Hasil analisis akan diinterpretasikan untuk menentukan bagaimana perubahan tetapan pengendali intensitas feromon dan visibilitas terhadap rute terpendek yang dihasilkan oleh *ant system*.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

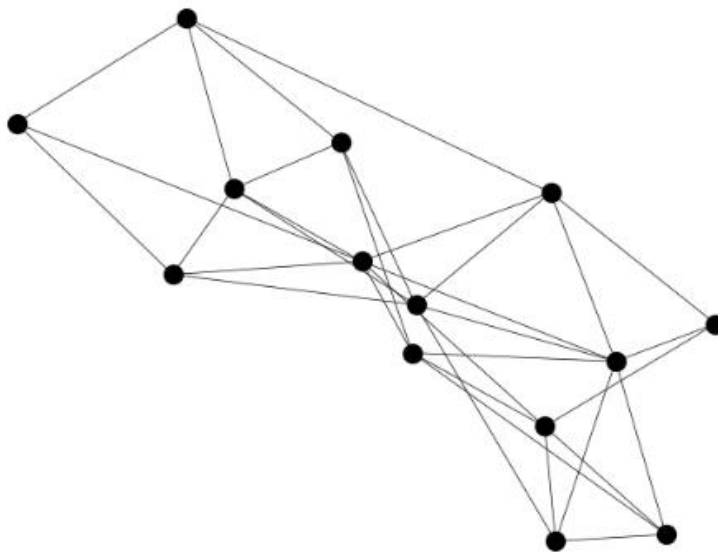
4.1 Menentukan Data

Graf berbobot yang digunakan dalam analisis ini dihasilkan menggunakan model Erdos-Renyi, yang memungkinkan pembentukan graf acak berdasarkan jumlah simpul dan probabilitas pembentukan sisi. Untuk menentukan bobot pada setiap sisi, digunakan nilai acak yang diberikan secara terdistribusi.

Setelah graf terbentuk, penyimpanan dilakukan menggunakan *pickle*, yang memungkinkan data graf digunakan kembali dengan mudah tanpa harus membangunnya dari awal. Dengan pendekatan ini, proses selanjutnya dapat langsung memanfaatkan graf yang telah dibuat tanpa perlu mengulang langkah pembentukan graf dari awal.

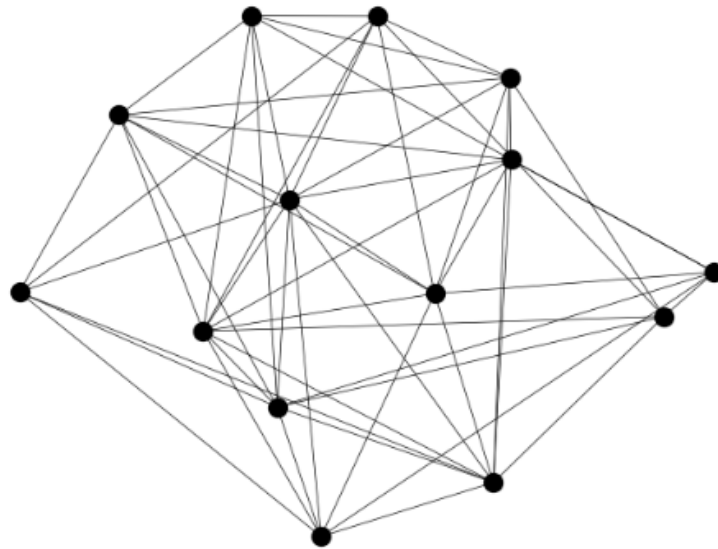
4.1.1 Hasil Graf Acak Berbobot

1. Hasil graf acak yang didapatkan dari pemrograman python pada hasil output pertama dengan probabilitas setiap sisinya terhubung sebesar 0,3.



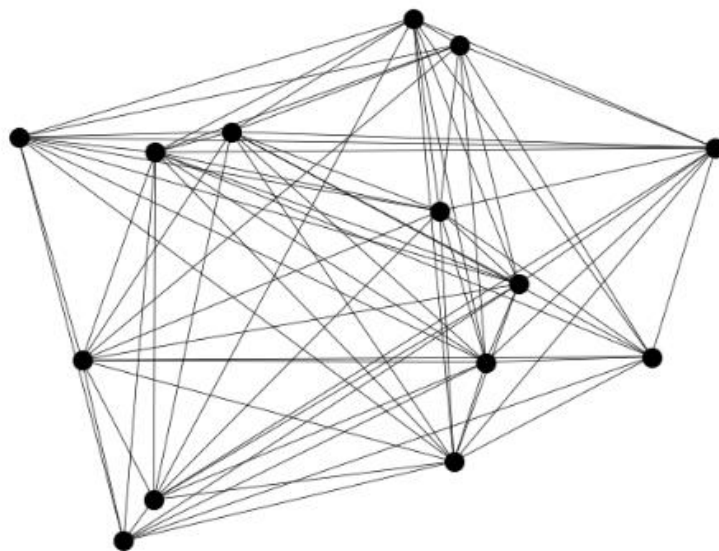
Gambar 4.1 Graf Acak 1

2. Hasil graf acak yang didapatkan dari pemrograman python pada hasil output kedua dengan probabilitas setiap sisinya terhubung sebesar 0,6.



Gambar 4.2 Graf Acak 2

3. Hasil graf acak yang didapatkan dari pemrograman python pada hasil output ketiga dengan probabilitas setiap sisinya terhubung sebesar 0,9.



Gambar 4.3 Graf Acak 3

4.1.2 Membuat Matriks

Pada tahap ini akan menghasilkan matriks berukuran $n \times n$ berdasarkan data graf yang telah dibuat sebelumnya. Graf diambil dari file, lalu dikonversi menjadi matriks berbobot. Setiap versi graf disimpan dengan nama file yang berbeda untuk memudahkan pencarian jalur terpendek.

Dalam matriks yang dihasilkan, semua nilai nol diganti dengan `np.inf`, kecuali pada elemen diagonal yang tetap 0 agar lebih memudahkan dalam perhitungan visibilitas. Hasil akhir disimpan dalam format CSV, sehingga dapat digunakan lebih lanjut dalam analisis atau pemrosesan lainnya. Dari tahap ini akan didapatkan output matriks untuk setiap grafnya, sebagai berikut.

1. Graf acak pertama dengan probabilitas setiap sisinya terhubung sebesar 0,3.

Tabel 4.1 Bobot Hasil Data Graf Acak 1

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	0	3368,89	3846,43	4377,71	inf	inf	3453,36	inf	inf	inf	inf	2084,9	inf	inf
1	3368,89	0	inf	4293,34	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	1816,11	1156,56
2	3846,43	inf	0	inf	inf	inf	4319,03	inf	inf	inf	inf	3376	2659,58	inf
3	4377,71	4293,34	inf	0	inf	inf	4996,15	inf	4581,87	inf	inf	inf	inf	inf
4	inf	inf	inf	inf	0	inf	inf	4812,33	inf	3255,91	inf	inf	inf	2845,97
5	inf	inf	inf	inf	inf	0	4225,1	4331,98	inf	3567,41	3942,11	inf	inf	inf
6	3453,36	inf	4319,03	4996,15	inf	4225,1	0	inf	inf	3490,42	inf	inf	inf	3048,42
7	inf	inf	inf	inf	4812,33	4331,98	inf	0	4621,49	inf	1582,24	2639,52	inf	inf
8	inf	inf	inf	4581,87	inf	inf	inf	4621,49	0	1184,1	1921,16	2539,57	inf	inf
9	inf	inf	inf	inf	3255,91	3567,41	3490,42	inf	1184,1	0	4332,34	1443,94	inf	1705,11
10	inf	inf	inf	inf	inf	3942,11	inf	1582,24	1921,16	4332,34	0	inf	inf	inf
11	2084,9	inf	3376	inf	inf	inf	inf	2639,52	2539,57	1443,94	inf	0	1240,3	4757,15
12	inf	1816,11	2659,58	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	inf	1240,3	0	inf
13	inf	1156,56	inf	inf	2845,97	inf	3048,42	inf	inf	1705,11	inf	4757,15	inf	0

2. Graf acak kedua dengan probabilitas setiap sisinya terhubung sebesar 0,6.

Tabel 4.2 Bobot Hasil Data Graf Acak 2

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	0	4828,13	inf	2178,15	inf	inf	3254,44	4646,97	inf	2921,41	1833,05	inf	4082,54	inf
1	4828,13	0	1782,04	inf	inf	1706,19	inf	1694,67	1832,67	3289,32	4529,6	4393,3	4593,63	3117,68
2	inf	1782,04	0	2950,37	4464,28	inf	inf	3104,29	inf	inf	2848,95	3456,08	3154,57	inf
3	2178,15	inf	2950,37	0	inf	4532,55	inf	inf	inf	1018,5	inf	inf	4180,76	3568,44
4	inf	inf	4464,28	inf	0	4406,72	inf	1157,78	3531,56	inf	3075,46	2245,41	3772,57	1986,21
5	inf	1706,19	inf	4532,55	4406,72	0	inf	3722,55	2965,06	3185,33	inf	inf	inf	inf
6	3254,44	inf	inf	inf	inf	inf	0	1011,59	2873,88	2460,83	3419,95	2561,11	inf	inf
7	4646,97	1694,67	3104,29	inf	1157,78	3722,55	1011,59	0	inf	3662,01	4814,84	inf	1147,62	inf
8	inf	1832,67	inf	inf	3531,56	2965,06	2873,88	inf	0	inf	4012,84	inf	1186,36	3650,65
9	2921,41	3289,32	inf	1018,5	inf	3185,33	2460,83	3662,01	inf	0	4358,98	3799,31	inf	2858,94
10	1833,05	4529,6	2848,95	inf	3075,46	inf	3419,95	4814,84	4012,84	4358,98	0	2514,26	2199,36	4560,32
11	inf	4393,3	3456,08	inf	2245,41	inf	2561,11	inf	inf	3799,31	2514,26	0	4561,37	4264,39
12	4082,54	4593,63	3154,57	4180,76	3772,57	inf	inf	1147,62	1186,36	inf	2199,36	4561,37	0	inf
13	inf	3117,68	inf	3568,44	1986,21	inf	inf	inf	3650,65	2858,94	4560,32	4264,39	inf	0

3. Graf acak ketiga dengan probabilitas setiap sisinya terhubung sebesar 0,9.

Tabel 4.3 Bobot Hasil Data Graf Acak 3

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	0	2001,32	3801,32	3081,13	3175,58	1384,73	inf	4489,11	1649,17	3531,33	inf	2111,29	3947,03	2355,69
1	2001,32	0	1057,51	inf	2379,69	4963,78	3600,07	4702,55	4150,43	1502,18	2188,96	2522,38	2749,19	2785,32
2	3801,32	1057,51	0	2950,37	4464,28	inf	inf	3104,29	inf	inf	2848,95	3456,08	3154,57	inf
3	3081,13	inf	2950,37	0	inf	4532,55	inf	inf	inf	1018,5	inf	inf	4180,76	2568,44
4	3175,58	2379,69	4464,28	inf	0	4406,72	inf	1157,78	3531,56	inf	3075,46	2245,41	3772,57	1986,21
5	1384,73	4963,78	inf	4532,55	4406,72	0	inf	3722,55	2965,06	3185,33	inf	inf	inf	inf
6	inf	3600,07	inf	inf	inf	inf	0	1011,59	2873,88	2460,83	3419,95	2561,11	inf	inf
7	4489,11	4702,55	3104,29	inf	1157,78	3722,55	1011,59	0	inf	3662,01	4814,84	inf	1147,62	inf
8	1649,17	4150,43	inf	inf	3531,56	2965,06	2873,88	inf	0	inf	4012,84	inf	1186,36	3650,65
9	3531,33	1502,18	inf	1018,5	inf	3185,33	2460,83	3662,01	inf	0	4358,98	3799,31	inf	2858,94
10	inf	2188,96	2848,95	inf	3075,46	inf	3419,95	4814,84	4012,84	4358,98	0	2514,26	2199,36	4560,52
11	2111,29	2522,38	3456,08	inf	2245,41	inf	2561,11	inf	inf	3799,31	2514,26	0	4561,37	4264,39
12	3947,03	2749,19	3154,57	4180,76	3772,57	inf	inf	1147,62	1186,36	inf	2199,36	4561,37	0	inf
13	2355,69	2785,32	inf	2568,44	1986,21	inf	inf	inf	3650,65	2858,94	4560,52	4264,39	inf	0

4.2 Inisialisasi Parameter

Parameter yang akan diinisialisasi ada beberapa sebagai berikut.

Tabel 4.4 Inisialisasi Parameter

Parameter	Keterangan
τ_{ij}	Nilai τ_{ij} (Intensitas jejak semut) pada awal iterasi adalah 1, nilai τ_{ij} akan berubah pada iterasi berikutnya.
Q	Nilai Q (Tetapan siklus semut) untuk penelitian ini adalah 100
m	Jumlah semut pada penelitian ini adalah 14, jumlah semut ini menyesuaikan dengan jumlah titik yang ada pada graf acak yang dihasilkan.
α	Penelitian ini menggunakan nilai $\alpha \in \{1,0, 1,1, 1,2, 1,3, 1,4, 1,5, 1,6, 1,7, 1,8, 1,9, 2,0\}$
β	Penelitian ini menggunakan nilai $\beta \in \{1,0, 1,1, 1,2, 1,3, 1,4, 1,5, 1,6, 1,7, 1,8, 1,9, 2,0\}$

Parameter	Keterangan
d_{ij}	Nilai dari d_{ij} (jarak antar dua titik) merupakan nilai matriks pada tabel 4.4 sampai dengan 4.6
ρ	Nilai ρ (laju penguapan feromon) pada penelitian ini adalah 0,5.

4.3 Eksperimen dan Simulasi

Dalam pencarian rute terpendek, prosesnya dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Hitung feromon awal

Untuk feromon awal (τ_0) adalah sebesar 1.

2. Hitung visibilitas

Perhitungan visibilitas menggunakan $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$, maka didapatkan untuk

graf pertama sebesar

Tabel 4.5 Visibilitas Graf Pertama

-	0,000297	0,00026	0,000228	0	0	0,00029	0	0	0	0	0,00048	0	0
0,000297	-	0	0,000233	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000551	0,000865
0,00026	0	-	0	0	0	0,000232	0	0	0	0	0,000296	0,000376	0
0,000228	0,000233	0	-	0	0	0,0002	0	0,000218	0	0	0	0	0
0	0	0	0	-	0	0	0,000208	0	0,000307	0	0	0	0,000351
0	0	0	0	0	-	0,000237	0,000231	0	0,00028	0,000254	0	0	0
0,00029	0	0,000232	0,0002	0	0,000237	-	0	0	0,000286	0	0	0	0,000328
0	0	0	0	0,000208	0,000231	0	-	0,000216	0	0,000632	0,000379	0	0
0	0	0	0,000218	0	0	0	0,000216	-	0,000845	0,000521	0,000394	0	0
0	0	0	0	0,000307	0,00028	0,000286	0	0,000845	-	0,000231	0,000693	0	0,000586
0	0	0	0	0	0,000254	0	0,000632	0,000521	0,000231	-	0	0	0
0,00048	0	0,000296	0	0	0	0	0,000379	0,000394	0,000693	0	-	0,000806	0,00021
0	0,000551	0,000376	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000806	-	0
0	0,000865	0	0	0,000351	0	0,000328	0	0	0,000586	0	0,00021	0	-

3. Hitung probabilitas pemilihan jalur

Formula probabilitas:

$$p_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(t)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta}$$

Misalkan semut memulai perjalanannya dari titik 1, maka pilihan jalurnya :

$$\begin{aligned} \text{a. } p_{1,0}^k(1) &= \frac{[\tau_{1,0}(1)]^\alpha [\eta_{1,0}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} \\ &= \frac{1^1 (0,000297)^1}{(1)^1 (0,000233)^1 + (1)^1 (0,00051)^1 + (1)^1 (0,000865)^1} \\ &= \frac{0,000297}{0,001648} = 0,18009792 \end{aligned}$$

$$\text{b. } p_{1,3}^k(1) = \frac{[\tau_{1,3}(1)]^\alpha [\eta_{1,3}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 0,136043$$

$$\text{c. } p_{1,12}^k(1) = \frac{[\tau_{1,12}(1)]^\alpha [\eta_{1,12}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 0,394889$$

$$\text{d. } p_{1,13}^k(1) = \frac{[\tau_{1,13}(1)]^\alpha [\eta_{1,13}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 0,800305$$

Maka semut akan memilih jalur 1 ke 13, setelah pada titik 13, semut akan memiliki pilihan titik:

$$\text{a. } p_{13,4}^k(1) = \frac{[\tau_{13,4}(1)]^\alpha [\eta_{13,4}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 0,312409$$

$$\text{b. } p_{13,6}^k(1) = \frac{[\tau_{13,6}(1)]^\alpha [\eta_{13,6}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 0,285734$$

$$\text{c. } p_{13,9}^k(1) = \frac{[\tau_{13,9}(1)]^\alpha [\eta_{13,9}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 0,659237$$

$$\text{d. } p_{13,11}^k(1) = \frac{[\tau_{13,11}(1)]^\alpha [\eta_{13,11}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 0,166058$$

Maka semut akan memilih jalur 13 ke 9, setelah pada titik 9, semut akan memiliki pilihan titik:

$$a. \ p_{9,4}^k(1) = \frac{[\tau_{9,4}(1)]^\alpha [\eta_{9,4}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 0,131551$$

$$b. \ p_{9,5}^k(1) = \frac{[\tau_{9,5}(1)]^\alpha [\eta_{9,5}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 0,118701$$

$$c. \ p_{9,6}^k(1) = \frac{[\tau_{9,6}(1)]^\alpha [\eta_{9,6}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 0,121638$$

$$d. \ p_{9,8}^k(1) = \frac{[\tau_{9,8}(1)]^\alpha [\eta_{9,8}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 0,469879$$

$$e. \ p_{9,10}^k(1) = \frac{[\tau_{9,10}(1)]^\alpha [\eta_{9,10}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 0,095736$$

$$f. \ p_{9,11}^k(1) = \frac{[\tau_{9,11}(1)]^\alpha [\eta_{9,11}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 0,000691$$

Maka semut akan memilih jalur 9 ke 8, setelah pada titik 8, semut akan memiliki pilihan titik:

$$a. \ p_{8,3}^k(1) = \frac{[\tau_{8,3}(1)]^\alpha [\eta_{8,3}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 0,193029$$

$$b. \ p_{8,7}^k(1) = \frac{[\tau_{8,7}(1)]^\alpha [\eta_{8,7}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 0,191058$$

$$c. \ p_{8,10}^k(1) = \frac{[\tau_{8,10}(1)]^\alpha [\eta_{8,10}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 0,628343$$

$$d. \ p_{8,11}^k(1) = \frac{[\tau_{8,11}(1)]^\alpha [\eta_{8,11}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 0,412257$$

Maka semut akan memilih jalur 8 ke 10, setelah pada titik 10, semut akan memiliki pilihan titik:

$$\text{a. } p_{10,5}^k(1) = \frac{[\tau_{10,5}(1)]^\alpha [\eta_{10,5}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 0,401369$$

$$\text{b. } p_{10,7}^k(1) = \frac{[\tau_{10,7}(1)]^\alpha [\eta_{10,7}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 2,491474$$

Maka semut akan memilih jalur 10 ke 7, setelah pada titik 7, semut akan memiliki pilihan titik:

$$\text{a. } p_{7,4}^k(1) = \frac{[\tau_{7,4}(1)]^\alpha [\eta_{7,4}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 0,340824$$

$$\text{b. } p_{7,5}^k(1) = \frac{[\tau_{7,5}(1)]^\alpha [\eta_{7,5}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 0,393486$$

$$\text{c. } p_{7,11}^k(1) = \frac{[\tau_{7,11}(1)]^\alpha [\eta_{7,11}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 0,863706$$

Maka semut akan memilih jalur 7 ke 11, setelah pada titik 11, semut akan memiliki pilihan titik:

$$\text{a. } p_{11,0}^k(1) = \frac{[\tau_{8,3}(1)]^\alpha [\eta_{8,3}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 0,435061$$

$$\text{b. } p_{11,2}^k(1) = \frac{[\tau_{8,7}(1)]^\alpha [\eta_{8,7}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 0,230352$$

$$\text{c. } p_{11,12}^k(1) = \frac{[\tau_{8,10}(1)]^\alpha [\eta_{8,10}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 1,039194$$

Maka semut akan memilih jalur 11 ke 12, setelah pada titik 12, semut hanya memiliki satu pilihan jalur titik, yaitu titik 2. Setelah titik 2, semut memiliki pilihan:

$$\text{a. } p_{2,0}^k(1) = \frac{[\tau_{2,0}(1)]^\alpha [\eta_{2,0}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 1,112867$$

$$\text{b. } p_{2,6}^k(1) = \frac{[\tau_{2,6}(1)]^\alpha [\eta_{2,6}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 0,890577$$

Maka semut akan memilih jalur 2 ke 0, setelah pada titik 0, semut akan memiliki pilihan titik:

$$a. \quad p_{0,3}^k(1) = \frac{[\tau_{0,3}(1)]^\alpha [\eta_{0,3}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 0,788851$$

$$b. \quad p_{0,6}^k(1) = \frac{[\tau_{0,6}(1)]^\alpha [\eta_{0,6}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 1,267667$$

Maka semut akan memilih jalur 0 ke 6, setelah pada titik 6, semut akan memiliki pilihan titik:

$$a. \quad p_{6,3}^k(1) = \frac{[\tau_{6,3}(1)]^\alpha [\eta_{6,3}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 0,845671$$

$$b. \quad p_{6,5}^k(1) = \frac{[\tau_{6,5}(1)]^\alpha [\eta_{6,5}]^\beta}{\sum_{l \in \mathcal{N}_j^k} [\tau_{il}(1)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta} = 1,824927$$

Maka semut akan memilih jalur 6 ke 5, akan tetapi hal ini mengakibatkan pemilihan jalur tidak optimal, karena semua titik terhubung. Oleh karena itu pada titik 0 semut akan memilih titik 3, 6, dan terakhir berhenti di titik 5 untuk memaksimalkan jalur yang optimal. Jadi, jalur yang ditempuh semut pada iterasi pertama adalah 1-13-9-8-10-7-11-12-2-0-3-6-5 dengan total panjang jalur 31533,96.

4. Pembaruan Feromon

Setelah semut menyelesaikan rutennya, feromon akan diperbarui dengan:

$$\tau_{ij} = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \Delta\tau_{ij}$$

dengan

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

Pada iterasi pertama ini $L_k = 31533,96$ dengan $Q = 100$, maka

$$\Delta\tau_{ij}^k = \frac{100}{31533,96} = 0,003171$$

Pembaruan feromon untuk jalur dalam iterasi pertama:

$$\tau_{1,13} = (1 - 0,5) \cdot 1 + 0,003171 = 0,503171$$

$$\tau_{13,9} = (1 - 0,5) \cdot 1 + 0,003171 = 0,503171$$

$$\tau_{9,8} = (1 - 0,5) \cdot 1 + 0,003171 = 0,503171$$

$$\tau_{8,10} = (1 - 0,5) \cdot 1 + 0,003171 = 0,503171$$

$$\tau_{10,7} = (1 - 0,5) \cdot 1 + 0,003171 = 0,503171$$

$$\tau_{7,11} = (1 - 0,5) \cdot 1 + 0,003171 = 0,503171$$

$$\tau_{11,12} = (1 - 0,5) \cdot 1 + 0,003171 = 0,503171$$

$$\tau_{12,2} = (1 - 0,5) \cdot 1 + 0,003171 = 0,503171$$

$$\tau_{2,0} = (1 - 0,5) \cdot 1 + 0,003171 = 0,503171$$

$$\tau_{0,3} = (1 - 0,5) \cdot 1 + 0,003171 = 0,503171$$

$$\tau_{3,6} = (1 - 0,5) \cdot 1 + 0,003171 = 0,503171$$

$$\tau_{6,5} = (1 - 0,5) \cdot 1 + 0,003171 = 0,503171$$

Sementara feromon di jalur yang tidak dilewati:

$$\tau_{ij} = (1 - 0,5) \cdot 1 = 0,5$$

Pada iterasi selanjutnya, semut akan melakukan perjalanan lagi dengan feromon yang telah diperbarui. Jalur dengan lebih banyak feromon lebih mungkin dipilih di iterasi berikutnya. Sampai dimana pada iterasi yang diinginkan untuk mencari rute terpendek yang optimal. Berikut merupakan hasil dari perhitungan rute terpendek untuk setiap graf menggunakan algoritma *ant system* dengan program python.

4.3.1 Graf Pertama

Hasil data perhitungan pencarian rute terpendek yang dihasilkan oleh algoritma *ant system* untuk graf pertama.

1. Hasil pertama

Tabel 4.6 Graf Pertama Hasil Pertama

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1	1	35430,37	5, 6, 13, 1, 3, 0, 2, 12, 11, 7, 10, 8, 9, 4	15
1	1,1	34290,63	3, 0, 2, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 1, 13, 4	18
1	1,2	34094,22	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	20
1	1,3	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	15
1	1,4	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	12
1	1,5	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	20
1	1,6	34303,57	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0, 6, 5	18
1	1,7	34428,73	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 12, 2, 6, 5	16
1	1,8	34067,89	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3	20
1	1,9	34067,89	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3	20
1	2	34341,07	3, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2	17
1,1	1	34067,89	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3	16
1,1	1,1	34428,73	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3	18
1,1	1,2	35814,03	5, 6, 3, 0, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 2	14
1,1	1,3	35854,2	3, 8, 10, 7, 5, 6, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 9, 4	19
1,1	1,4	34428,73	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3	14
1,1	1,5	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	14
1,1	1,6	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	12
1,1	1,7	34094,22	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	9
1,1	1,8	34802,4	3, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 2, 0, 1, 13, 4	20
1,1	1,9	34094,22	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	16
1,1	2	34067,89	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3	17
1,2	1	34745,01	2, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3, 6, 5	20
1,2	1,1	34303,57	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0, 6, 5	20
1,2	1,2	34234,5	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 0, 11, 12, 2	11
1,2	1,3	34341,07	2, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 4, 13, 1, 12, 11, 0, 3	18
1,2	1,4	35361,3	2, 12, 11, 0, 3, 1, 13, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 4	8
1,2	1,5	34379,39	3, 0, 11, 7, 10, 8, 9, 5, 6, 2, 12, 1, 13, 4	2
1,2	1,6	34234,5	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 0, 11, 12, 2	4
1,2	1,7	34094,22	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	11
1,2	1,8	34094,22	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	11
1,2	1,9	34341,07	3, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2	11

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1,2	2	34486,91	2, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	12
1,3	1	34094,22	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	13
1,3	1,1	35105,85	2, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3, 6, 5	9
1,3	1,2	34094,22	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	12
1,3	1,3	36185,78	11, 2, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 0, 3	7
1,3	1,4	34766,5	2, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 0, 3	9
1,3	1,5	34290,63	3, 0, 2, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 1, 13, 4	12
1,3	1,6	34776,07	3, 0, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 6, 5	18
1,3	1,7	33948,38	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 12, 1, 13, 4	19
1,3	1,8	35105,85	2, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3, 6, 5	13
1,3	1,9	34067,89	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3	18
1,3	2	34094,22	3, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 2, 12, 1, 13, 4	5
1,4	1	36131,94	3, 8, 10, 7, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 5, 6, 0, 2	16
1,4	1,1	35892,02	0, 11, 12, 2, 6, 5, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 3	6
1,4	1,2	34967,75	2, 0, 3, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 1, 13, 4	18
1,4	1,3	34428,73	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 12, 2, 6, 5	13
1,4	1,4	34428,73	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3	19
1,4	1,5	34094,22	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	9
1,4	1,6	36181,24	3, 8, 9, 11, 0, 2, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 5, 6	11
1,4	1,7	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	4
1,4	1,8	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	2
1,4	1,9	34428,73	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 12, 2, 6, 5	5
1,4	2	33948,38	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 12, 1, 13, 4	13
1,5	1	34428,73	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3	10
1,5	1,1	34094,22	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	11
1,5	1,2	34303,57	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0, 6, 5	14
1,5	1,3	34428,73	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3	14
1,5	1,4	34341,07	3, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2	4
1,5	1,5	34817,32	6, 5, 7, 10, 8, 9, 4, 13, 1, 12, 2, 11, 0, 3	4
1,5	1,6	34067,89	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3	12
1,5	1,7	34067,89	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3	16
1,5	1,8	34341,07	3, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2	12
1,5	1,9	34303,57	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0, 6, 5	4
1,5	2	34802,4	3, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 2, 0, 1, 13, 4	16
1,6	1	34428,73	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3	14
1,6	1,1	35132,92	2, 6, 5, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 12, 11, 0, 3	13
1,6	1,2	34525,23	3, 6, 5, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 2, 12, 1, 13, 4	4
1,6	1,3	36088,84	8, 9, 4, 13, 1, 12, 2, 6, 5, 10, 7, 11, 0, 3	15
1,6	1,4	34067,89	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3	11
1,6	1,5	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	17

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1,6	1,6	34428,73	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3	15
1,6	1,7	34373,81	4, 13, 1, 12, 2, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 0, 3	3
1,6	1,8	33948,38	4, 13, 1, 12, 2, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3	10
1,6	1,9	34067,89	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3	17
1,6	2	33948,38	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 12, 1, 13, 4	11
1,7	1	35930,73	1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0, 3, 6, 5	19
1,7	1,1	35372,69	5, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 12, 11, 0, 2, 6, 3	1
1,7	1,2	34664,41	3, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 2, 0, 6, 5	15
1,7	1,3	34428,73	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 12, 2, 6, 5	3
1,7	1,4	34428,73	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 12, 2, 6, 5	12
1,7	1,5	34428,73	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 12, 2, 6, 5	16
1,7	1,6	33948,38	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 12, 1, 13, 4	7
1,7	1,7	33948,38	4, 13, 1, 12, 2, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3	4
1,7	1,8	35376,89	3, 8, 9, 11, 7, 10, 5, 6, 0, 2, 12, 1, 13, 4	2
1,7	1,9	34486,91	2, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	18
1,7	2	35558,35	2, 11, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 5, 6, 0, 3	13
1,8	1	35136,91	3, 0, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 2, 6, 5	9
1,8	1,1	34303,57	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0, 6, 5	13
1,8	1,2	34303,57	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0, 6, 5	10
1,8	1,3	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	17
1,8	1,4	35132,92	2, 6, 5, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 12, 11, 0, 3	16
1,8	1,5	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	10
1,8	1,6	34303,57	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0, 6, 5	15
1,8	1,7	34809,27	5, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 2, 6, 0, 3, 1, 13, 4	13
1,8	1,8	34341,07	2, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 4, 13, 1, 12, 11, 0, 3	8
1,8	1,9	34809,27	5, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 2, 6, 0, 3, 1, 13, 4	11
1,8	2	34341,07	3, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2	1
1,9	1	35769,89	5, 7, 10, 8, 9, 4, 13, 6, 2, 0, 11, 12, 1, 3	7
1,9	1,1	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	10
1,9	1,2	35764,11	4, 13, 1, 12, 2, 6, 0, 11, 9, 5, 7, 10, 8, 3	12
1,9	1,3	34664,41	3, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 2, 0, 6, 5	17
1,9	1,4	34428,73	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3	13
1,9	1,5	34067,89	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3	15
1,9	1,6	35376,89	4, 13, 1, 12, 2, 0, 6, 5, 10, 7, 11, 9, 8, 3	12
1,9	1,7	34303,57	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0, 6, 5	13
1,9	1,8	34290,63	3, 0, 2, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 1, 13, 4	14
1,9	1,9	35814,03	2, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 0, 3, 6, 5	2
1,9	2	34094,22	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	12
2	1	34967,75	2, 0, 3, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 1, 13, 4	14
2	1,1	34486,91	2, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	7

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
2	1,2	36080,63	3, 8, 9, 4, 13, 1, 12, 11, 0, 2, 6, 5, 10, 7	6
2	1,3	35132,92	2, 6, 5, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 12, 11, 0, 3	13
2	1,4	34379,39	4, 13, 1, 12, 2, 6, 5, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3	13
2	1,5	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	11
2	1,6	34834,85	5, 6, 0, 3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2	12
2	1,7	35726,85	0, 2, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3, 1, 13, 4	1
2	1,8	34303,57	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0, 6, 5	17
2	1,9	34428,73	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 12, 2, 6, 5	5
2	2	34303,57	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0, 6, 5	17

Pada Tabel 4.6, ditemukan jarak terpendek yang dihasilkan adalah 33948,38 dengan rute terpendek 4, 13, 1, 12, 2, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3 pada iterasi ke 4. Di mana hal tersebut terjadi ketika nilai α dan β adalah 1,7.

2. Hasil Kedua

Tabel 4.7 Graf Pertama Hasil Kedua

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1	1	35846,36	0, 2, 12, 11, 7, 10, 8, 9, 4, 13, 1, 3, 6, 5	11
1	1,1	34341,07	3, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2	13
1	1,2	35108,41	6, 5, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 2, 0, 3, 1, 13, 4	10
1	1,3	35136,91	5, 6, 2, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 0, 3	15
1	1,4	34715,34	2, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 0, 3, 1, 13, 4	14
1	1,5	34766,5	2, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 0, 3	8
1	1,6	35372,69	3, 6, 2, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 5	20
1	1,7	34234,5	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 0, 11, 12, 2	14
1	1,8	34428,73	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3	18
1	1,9	33948,38	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 12, 1, 13, 4	5
1	2	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	8
1,1	1	35846,36	5, 6, 3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0	14
1,1	1,1	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	15
1,1	1,2	33948,38	4, 13, 1, 12, 2, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3	12
1,1	1,3	35892,02	3, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 5, 6, 2, 12, 11, 0	16
1,1	1,4	34664,41	5, 6, 0, 2, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 3	18
1,1	1,5	34067,89	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3	20
1,1	1,6	34303,57	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0, 6, 5	14

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1,1	1,7	34664,41	3, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 2, 0, 6, 5	12
1,1	1,8	34234,5	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 0, 11, 12, 2	4
1,1	1,9	34664,41	3, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 2, 0, 6, 5	11
1,1	2	34094,22	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	16
1,2	1	36667,05	5, 6, 2, 0, 3, 8, 10, 7, 11, 12, 1, 13, 9, 4	14
1,2	1,1	35874,43	3, 0, 2, 11, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 6, 5	18
1,2	1,2	34664,41	3, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 2, 0, 6, 5	15
1,2	1,3	35136,91	5, 6, 2, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 0, 3	15
1,2	1,4	34341,07	3, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2	14
1,2	1,5	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	1
1,2	1,6	34341,07	3, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2	15
1,2	1,7	34067,89	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3	20
1,2	1,8	34428,73	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 12, 2, 6, 5	18
1,2	1,9	34967,75	2, 0, 3, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 1, 13, 4	16
1,2	2	34373,81	4, 13, 1, 12, 2, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 0, 3	5
1,3	1	34234,5	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 0, 11, 12, 2	11
1,3	1,1	34094,22	3, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 2, 12, 1, 13, 4	13
1,3	1,2	34094,22	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	15
1,3	1,3	34715,34	2, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 0, 3, 1, 13, 4	20
1,3	1,4	34766,5	2, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 0, 3	11
1,3	1,5	34852,84	2, 12, 11, 0, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	13
1,3	1,6	34664,41	3, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 2, 0, 6, 5	15
1,3	1,7	34580,84	3, 6, 2, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5	1
1,3	1,8	34486,91	3, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 4, 13, 1, 12, 11, 0, 2	8
1,3	1,9	34341,07	3, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2	12
1,3	2	34715,34	2, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 0, 3, 1, 13, 4	4
1,4	1	34290,63	3, 0, 2, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 1, 13, 4	17
1,4	1,1	35820,4	3, 8, 9, 4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 7, 10, 5, 6	11
1,4	1,2	34428,73	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3	16
1,4	1,3	34067,89	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3	17
1,4	1,4	34428,73	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3	19
1,4	1,5	34664,41	5, 6, 0, 2, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 3	12
1,4	1,6	34379,39	3, 0, 11, 7, 10, 8, 9, 5, 6, 2, 12, 1, 13, 4	12
1,4	1,7	34341,07	3, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2	17
1,4	1,8	34745,01	2, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3, 6, 5	8
1,4	1,9	34067,89	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3	12
1,4	2	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	1
1,5	1	35195,69	2, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 3, 0, 6, 5	3
1,5	1,1	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	4
1,5	1,2	34373,81	3, 0, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 11, 2, 12, 1, 13, 4	10

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1,5	1,3	35362,02	4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 13, 1, 12, 11, 2, 0, 3	14
1,5	1,4	34967,75	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3, 0, 2	18
1,5	1,5	35820,4	6, 5, 10, 7, 11, 0, 2, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 3	16
1,5	1,6	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	13
1,5	1,7	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	7
1,5	1,8	34094,22	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	11
1,5	1,9	35376,89	4, 13, 1, 12, 2, 0, 6, 5, 10, 7, 11, 9, 8, 3	17
1,5	2	34428,73	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3	17
1,6	1	34341,07	3, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2	16
1,6	1,1	34664,41	3, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 2, 0, 6, 5	5
1,6	1,2	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	12
1,6	1,3	33948,38	4, 13, 1, 12, 2, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3	12
1,6	1,4	35976,39	1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 5, 6, 2, 12, 11, 0, 3	11
1,6	1,5	34094,22	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	12
1,6	1,6	36333,91	5, 7, 10, 8, 9, 11, 2, 12, 1, 3, 0, 6, 13, 4	5
1,6	1,7	34946,77	3, 6, 2, 12, 11, 0, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5	11
1,6	1,8	34967,75	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3, 0, 2	2
1,6	1,9	33948,38	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 12, 1, 13, 4	2
1,6	2	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	11
1,7	1	34664,41	3, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 2, 0, 6, 5	14
1,7	1,1	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	15
1,7	1,2	35136,91	3, 0, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 2, 6, 5	9
1,7	1,3	34094,22	3, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 2, 12, 1, 13, 4	20
1,7	1,4	35478,95	4, 13, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 0, 11, 2, 12, 1, 3	9
1,7	1,5	34373,81	4, 13, 1, 12, 2, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 0, 3	9
1,7	1,6	34428,73	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 12, 2, 6, 5	2
1,7	1,7	35105,85	2, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3, 6, 5	11
1,7	1,8	34664,41	3, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 2, 0, 6, 5	15
1,7	1,9	33948,38	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 12, 1, 13, 4	7
1,7	2	34721,64	4, 13, 1, 12, 11, 7, 10, 8, 9, 5, 6, 2, 0, 3	8
1,8	1	34094,22	3, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 2, 12, 1, 13, 4	13
1,8	1,1	34428,73	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3	10
1,8	1,2	34379,39	4, 13, 1, 12, 2, 6, 5, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3	16
1,8	1,3	35789,12	5, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 12, 11, 2, 0, 6, 3	8
1,8	1,4	34094,22	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	5
1,8	1,5	34486,91	2, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	11
1,8	1,6	35908,48	5, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3, 1, 12, 2, 6, 13, 4	11
1,8	1,7	34664,41	3, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 2, 0, 6, 5	20
1,8	1,8	35233,41	3, 6, 5, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0, 1, 13, 4	12
1,8	1,9	34428,73	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3	15

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1,8	2	34860,43	5, 7, 10, 8, 9, 4, 13, 1, 12, 11, 2, 6, 0, 3	3
1,9	1	34664,41	3, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 2, 0, 6, 5	11
1,9	1,1	34428,73	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3	10
1,9	1,2	34715,34	2, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 0, 3, 1, 13, 4	12
1,9	1,3	34486,91	2, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	8
1,9	1,4	36561,47	7, 10, 5, 6, 2, 0, 3, 8, 9, 11, 12, 1, 13, 4	19
1,9	1,5	34721,64	4, 13, 1, 12, 11, 7, 10, 8, 9, 5, 6, 2, 0, 3	8
1,9	1,6	35462,43	5, 6, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0, 3, 1, 13, 4	12
1,9	1,7	35916,6	4, 13, 1, 12, 2, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3, 0	2
1,9	1,8	35105,85	2, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3, 6, 5	12
1,9	1,9	34234,5	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 0, 11, 12, 2	9
1,9	2	34341,07	3, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2	6
2	1	35739,25	4, 13, 1, 12, 2, 0, 6, 5, 9, 11, 7, 10, 8, 3	10
2	1,1	34379,39	4, 13, 1, 12, 2, 6, 5, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3	10
2	1,2	35738,62	5, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 0, 11, 12, 2, 6, 3	5
2	1,3	35195,69	5, 6, 0, 3, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 2	10
2	1,4	35791,21	4, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 2, 0, 3, 1, 13, 6, 5	12
2	1,5	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	17
2	1,6	34094,22	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	7
2	1,7	34852,84	2, 12, 11, 0, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	5
2	1,8	34428,73	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 12, 2, 6, 5	7
2	1,9	34341,07	3, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2	14
2	2	36561,47	7, 10, 5, 6, 2, 0, 3, 8, 9, 11, 12, 1, 13, 4	14

Pada Tabel 4.7, ditemukan jarak terpendek yang dihasilkan adalah 33948,38 dengan rute terpendek 3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 12, 1, 13, 4 pada iterasi ke 2.

Di mana hal tersebut terjadi ketika nilai α sebesar 1,6 dan β sebesar 1,9.

3. Hasil Ketiga

Tabel 4.8 Graf Pertama Hasil Ketiga

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1	1	34303,57	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0, 6, 5	10
1	1,1	34834,85	5, 6, 0, 3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2	18
1	1,2	34094,22	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	13
1	1,3	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	7

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1	1,4	34067,89	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3	14
1	1,5	34580,84	3, 6, 2, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5	15
1	1,6	34428,73	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 12, 2, 6, 5	11
1	1,7	33948,38	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 12, 1, 13, 4	14
1	1,8	35006,27	5, 7, 10, 8, 9, 4, 13, 1, 12, 11, 2, 0, 6, 3	14
1	1,9	34664,41	3, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 2, 0, 6, 5	17
1	2	34486,91	2, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	20
1,1	1	35026,35	2, 12, 11, 0, 6, 5, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 3	5
1,1	1,1	33948,38	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 12, 1, 13, 4	12
1,1	1,2	35644,69	2, 12, 11, 0, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 5, 6, 3	18
1,1	1,3	35820,4	3, 8, 9, 4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 7, 10, 5, 6	17
1,1	1,4	33948,38	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 12, 1, 13, 4	11
1,1	1,5	34094,22	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	9
1,1	1,6	34303,57	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0, 6, 5	17
1,1	1,7	35184,54	1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 12, 11, 0, 3	2
1,1	1,8	35132,92	2, 6, 5, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 12, 11, 0, 3	16
1,1	1,9	34664,41	3, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 2, 0, 6, 5	17
1,1	2	33948,38	4, 13, 1, 12, 2, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3	10
1,2	1	36181,24	3, 8, 9, 11, 0, 2, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 5, 6	11
1,2	1,1	35132,92	3, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 5, 6, 2	15
1,2	1,2	34766,5	2, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 0, 3	13
1,2	1,3	34766,5	2, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 0, 3	7
1,2	1,4	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	1
1,2	1,5	33948,38	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 12, 1, 13, 4	9
1,2	1,6	36376,96	6, 2, 12, 1, 13, 4, 9, 11, 0, 3, 8, 10, 7, 5	17
1,2	1,7	33948,38	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 12, 1, 13, 4	13
1,2	1,8	34094,22	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	19
1,2	1,9	34290,63	3, 0, 2, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 1, 13, 4	14
1,2	2	34664,41	3, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 2, 0, 6, 5	2
1,3	1	34486,91	2, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	20
1,3	1,1	33948,38	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 12, 1, 13, 4	14
1,3	1,2	33948,38	4, 13, 1, 12, 2, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3	15
1,3	1,3	34341,07	3, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2	4
1,3	1,4	34715,34	2, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 0, 3, 1, 13, 4	20
1,3	1,5	34303,57	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0, 6, 5	19
1,3	1,6	36061,36	0, 3, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 2, 6, 5	12
1,3	1,7	34094,22	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	19
1,3	1,8	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	5
1,3	1,9	34067,89	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3	14
1,3	2	34967,75	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3, 0, 2	9

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1,4	1	34234,5	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 0, 11, 12, 2	13
1,4	1,1	34303,57	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0, 6, 5	10
1,4	1,2	34745,01	2, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3, 6, 5	20
1,4	1,3	35100,17	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 12, 11, 0	16
1,4	1,4	34303,57	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0, 6, 5	14
1,4	1,5	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	11
1,4	1,6	34067,89	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3	15
1,4	1,7	34341,07	3, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2	20
1,4	1,8	35988,89	3, 0, 11, 8, 9, 4, 13, 1, 12, 2, 6, 5, 10, 7	11
1,4	1,9	34486,91	2, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	1
1,4	2	34664,41	3, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 12, 2, 0, 6, 5	19
1,5	1	34817,32	3, 0, 11, 2, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6	8
1,5	1,1	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	12
1,5	1,2	35005,55	2, 12, 11, 0, 6, 3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5	1
1,5	1,3	35823,74	7, 10, 8, 9, 4, 13, 1, 12, 11, 2, 0, 3, 6, 5	9
1,5	1,4	33948,38	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 12, 1, 13, 4	19
1,5	1,5	34303,57	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0, 6, 5	17
1,5	1,6	33948,38	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 12, 1, 13, 4	7
1,5	1,7	34428,73	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 12, 2, 6, 5	2
1,5	1,8	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	14
1,5	1,9	34428,73	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 12, 2, 6, 5	13
1,5	2	34721,64	3, 0, 2, 6, 5, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 1, 13, 4	14
1,6	1	36221,97	9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 12, 11, 0, 3, 1, 13, 4	1
1,6	1,1	36293	3, 8, 9, 4, 13, 1, 12, 2, 6, 5, 10, 7, 11, 0	18
1,6	1,2	34428,73	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3	14
1,6	1,3	34067,89	3, 0, 11, 7, 10, 8, 9, 4, 13, 1, 12, 2, 6, 5	9
1,6	1,4	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	15
1,6	1,5	34094,22	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	11
1,6	1,6	34234,5	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 0, 11, 12, 2	3
1,6	1,7	34341,07	3, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2	13
1,6	1,8	35159,57	3, 0, 2, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6	11
1,6	1,9	34373,81	4, 13, 1, 12, 2, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 0, 3	12
1,6	2	34486,91	2, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	12
1,7	1	34525,23	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 7, 10, 8, 9, 5, 6, 3	12
1,7	1,1	34303,57	5, 6, 0, 2, 12, 11, 7, 10, 8, 9, 4, 13, 1, 3	6
1,7	1,2	34580,84	3, 6, 2, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5	16
1,7	1,3	34303,57	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0, 6, 5	15
1,7	1,4	36470,64	5, 6, 3, 8, 10, 7, 11, 0, 2, 12, 1, 13, 9, 4	7
1,7	1,5	34486,91	2, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	11
1,7	1,6	34303,57	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0, 6, 5	8

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1,7	1,7	34852,84	2, 12, 11, 0, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	3
1,7	1,8	34721,64	4, 13, 1, 12, 11, 7, 10, 8, 9, 5, 6, 2, 0, 3	10
1,7	1,9	34067,89	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3	12
1,7	2	36889,42	3, 8, 9, 11, 12, 2, 0, 1, 13, 4, 7, 10, 5, 6	11
1,8	1	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	13
1,8	1,1	34525,23	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 7, 10, 8, 9, 5, 6, 3	20
1,8	1,2	34486,91	2, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	5
1,8	1,3	34094,22	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	16
1,8	1,4	36841,96	5, 10, 7, 11, 8, 9, 4, 13, 1, 12, 2, 0, 3, 6	1
1,8	1,5	34067,89	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3	14
1,8	1,6	35132,92	3, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 5, 6, 2	20
1,8	1,7	35903,97	5, 9, 8, 10, 7, 4, 13, 1, 12, 11, 0, 3, 6, 2	12
1,8	1,8	34486,91	2, 0, 11, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	11
1,8	1,9	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	2
1,8	2	34303,57	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0, 6, 5	9
1,9	1	35788,17	3, 8, 9, 11, 0, 6, 5, 10, 7, 4, 13, 1, 12, 2	17
1,9	1,1	34067,89	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3	16
1,9	1,2	34379,39	4, 13, 1, 12, 2, 6, 5, 9, 8, 10, 7, 11, 0, 3	14
1,9	1,3	33948,38	3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 12, 1, 13, 4	1
1,9	1,4	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	6
1,9	1,5	34290,63	4, 13, 1, 12, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 3	9
1,9	1,6	34094,22	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	12
1,9	1,7	34094,22	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	8
1,9	1,8	36080,63	3, 8, 9, 4, 13, 1, 12, 11, 0, 2, 6, 5, 10, 7	1
1,9	1,9	34094,22	4, 13, 1, 12, 2, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	12
1,9	2	34341,07	2, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 4, 13, 1, 12, 11, 0, 3	4
2	1	34852,84	2, 12, 11, 0, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	9
2	1,1	34776,07	3, 0, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 6, 5	14
2	1,2	35100,17	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 12, 11, 0	13
2	1,3	34852,84	2, 12, 11, 0, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 3	2
2	1,4	34428,73	5, 6, 2, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3	11
2	1,5	35105,85	2, 12, 1, 13, 4, 7, 10, 8, 9, 11, 0, 3, 6, 5	11
2	1,6	34303,57	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0, 6, 5	10
2	1,7	34341,07	2, 6, 5, 7, 10, 8, 9, 4, 13, 1, 12, 11, 0, 3	10
2	1,8	35539,42	6, 5, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0, 3, 1, 13, 4	6
2	1,9	35395,77	4, 13, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 0, 11, 12, 1, 3	13
2	2	34303,57	3, 1, 13, 4, 9, 8, 10, 7, 11, 12, 2, 0, 6, 5	3

Pada Tabel 4.8, ditemukan jarak terpendek yang dihasilkan adalah 33948,38 dengan rute terpendek 3, 0, 11, 9, 8, 10, 7, 5, 6, 2, 12, 1, 13, 4 pada iterasi ke 1. Di mana hal tersebut terjadi ketika nilai α sebesar 1,9 dan β sebesar 1,3.

4.3.2 Graf Kedua

1. Hasil Pertama

Tabel 4.9 Graf Kedua Hasil Pertama

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1	1	25261,75	13, 4, 7, 6, 11, 2, 1, 5, 9, 3, 0, 10, 12, 8	19
1	1,1	26651,35	10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 4, 13, 9, 3, 0, 6, 11	9
1	1,2	25456,32	11, 6, 7, 4, 13, 8, 12, 10, 0, 3, 9, 5, 1, 2	18
1	1,3	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	14
1	1,4	24425,56	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 13, 4, 11, 10, 0	19
1	1,5	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	18
1	1,6	24897,1	2, 1, 5, 8, 12, 10, 0, 9, 3, 13, 4, 7, 6, 11	13
1	1,7	24480,23	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10	18
1	1,8	24035,27	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 11, 4, 13	20
1	1,9	25080,8	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 3, 9, 5, 1, 2, 10, 0	19
1	2	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	20
1,1	1	25598,51	6, 7, 4, 11, 2, 1, 5, 8, 12, 10, 0, 3, 9, 13	19
1,1	1,1	25222,14	0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 4, 13, 3, 9, 6, 11	12
1,1	1,2	24895,27	2, 1, 5, 8, 12, 7, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 11, 6	16
1,1	1,3	24816,88	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 3, 9, 0, 10, 2, 1, 5	17
1,1	1,4	24749,08	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 10, 0, 3, 9, 13, 4	18
1,1	1,5	24035,27	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 11, 4, 13	9
1,1	1,6	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	12
1,1	1,7	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	15
1,1	1,8	24035,27	13, 4, 11, 10, 0, 3, 9, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2	12
1,1	1,9	24480,23	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10	20
1,1	2	24470,24	13, 4, 11, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 10, 0, 3, 9	18
1,2	1	24749,08	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 10, 0, 3, 9, 13, 4	19
1,2	1,1	25151,03	0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3	20
1,2	1,2	25580,78	2, 1, 5, 8, 12, 7, 4, 13, 3, 9, 6, 0, 10, 11	18
1,2	1,3	24364,12	5, 1, 2, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 11, 6, 7, 12, 8	17
1,2	1,4	24470,24	13, 4, 11, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 10, 0, 3, 9	20
1,2	1,5	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	18

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1,2	1,6	24425,56	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 13, 4, 11, 10, 0	12
1,2	1,7	24425,56	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 13, 4, 11, 10, 0	15
1,2	1,8	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	17
1,2	1,9	24749,08	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 10, 0, 3, 9, 13, 4	17
1,2	2	24749,08	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 10, 0, 3, 9, 13, 4	16
1,3	1	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	19
1,3	1,1	25563,03	5, 1, 2, 11, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 7, 6, 8, 12	15
1,3	1,2	25205,6	6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 3, 9, 13, 4, 11, 10, 0	13
1,3	1,3	25325,77	2, 12, 8, 1, 5, 9, 3, 0, 10, 11, 6, 7, 4, 13	14
1,3	1,4	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	13
1,3	1,5	25261,75	13, 4, 7, 6, 11, 2, 1, 5, 9, 3, 0, 10, 12, 8	13
1,3	1,6	25220,83	11, 4, 13, 3, 9, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6	17
1,3	1,7	24860,53	0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 3, 9	18
1,3	1,8	24444,34	2, 1, 5, 8, 12, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 7, 6, 11	17
1,3	1,9	25083,77	11, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 10, 0, 3, 9, 13, 4	13
1,3	2	24425,56	0, 10, 11, 4, 13, 3, 9, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2	16
1,4	1	25261,52	11, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 7, 6, 8, 12, 2, 1, 5	10
1,4	1,1	24895,27	2, 1, 5, 8, 12, 7, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 11, 6	20
1,4	1,2	24444,34	2, 1, 5, 8, 12, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 7, 6, 11	18
1,4	1,3	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	17
1,4	1,4	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	13
1,4	1,5	24816,88	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 3, 9, 0, 10, 2, 1, 5	12
1,4	1,6	24897,1	11, 6, 7, 4, 13, 3, 9, 0, 10, 12, 8, 5, 1, 2	20
1,4	1,7	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	11
1,4	1,8	25201,84	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 10, 0, 9, 3, 13, 4	14
1,4	1,9	24741,14	13, 4, 11, 6, 7, 12, 8, 1, 5, 9, 3, 0, 10, 2	5
1,4	2	24444,34	11, 6, 7, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 12, 8, 5, 1, 2	19
1,5	1	25041,48	9, 3, 0, 10, 12, 8, 5, 1, 2, 11, 6, 7, 4, 13	13
1,5	1,1	24768,07	6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 11	15
1,5	1,2	24935,36	8, 12, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 7, 6, 11, 2, 1, 5	15
1,5	1,3	24444,34	2, 1, 5, 8, 12, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 7, 6, 11	14
1,5	1,4	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	14
1,5	1,5	25205,6	6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 3, 9, 13, 4, 11, 10, 0	15
1,5	1,6	24941,2	11, 2, 1, 5, 8, 12, 10, 0, 3, 9, 6, 7, 4, 13	15
1,5	1,7	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	15
1,5	1,8	24897,1	2, 1, 5, 8, 12, 10, 0, 9, 3, 13, 4, 7, 6, 11	18
1,5	1,9	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	17
1,5	2	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	17
1,6	1	24935,36	8, 12, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 7, 6, 11, 2, 1, 5	14
1,6	1,1	24364,12	5, 1, 2, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 11, 6, 7, 12, 8	18

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1,6	1,2	24749,08	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 10, 0, 3, 9, 13, 4	12
1,6	1,3	24816,99	13, 4, 11, 6, 7, 12, 8, 1, 2, 10, 0, 3, 9, 5	11
1,6	1,4	25854,4	2, 1, 5, 9, 3, 0, 10, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	11
1,6	1,5	24749,08	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 10, 0, 3, 9, 13, 4	18
1,6	1,6	25220,83	6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 10, 0, 9, 3, 13, 4, 11	13
1,6	1,7	24941,2	13, 4, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 12, 8, 5, 1, 2, 11	9
1,6	1,8	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	16
1,6	1,9	25205,6	0, 10, 11, 4, 13, 9, 3, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6	16
1,6	2	24444,34	2, 1, 5, 8, 12, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 7, 6, 11	17
1,7	1	25219,17	9, 3, 13, 4, 11, 10, 0, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2	10
1,7	1,1	25749,51	11, 13, 4, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 12, 8, 5, 1, 2	17
1,7	1,2	25261,75	13, 4, 7, 6, 11, 2, 1, 5, 9, 3, 0, 10, 12, 8	11
1,7	1,3	25268,07	6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 3, 9, 0, 10, 11, 4, 13	11
1,7	1,4	25205,6	6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 3, 9, 13, 4, 11, 10, 0	12
1,7	1,5	24760,25	0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 13, 4, 11	15
1,7	1,6	24035,27	13, 4, 11, 10, 0, 3, 9, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2	16
1,7	1,7	24425,56	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 13, 4, 11, 10, 0	19
1,7	1,8	24741,14	2, 10, 0, 3, 9, 5, 1, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	10
1,7	1,9	24444,34	11, 6, 7, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 12, 8, 5, 1, 2	9
1,7	2	25051,17	0, 3, 9, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 10, 11, 4, 13	2
1,8	1	25761,06	2, 1, 5, 9, 3, 0, 10, 11, 6, 7, 12, 8, 13, 4	16
1,8	1,1	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	13
1,8	1,2	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	16
1,8	1,3	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	13
1,8	1,4	25598,51	13, 9, 3, 0, 10, 12, 8, 5, 1, 2, 11, 4, 7, 6	14
1,8	1,5	24895,27	2, 1, 5, 8, 12, 7, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 11, 6	11
1,8	1,6	25536,53	4, 13, 3, 9, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11	16
1,8	1,7	24977,09	13, 4, 11, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10	15
1,8	1,8	24816,88	5, 1, 2, 10, 0, 9, 3, 13, 4, 11, 6, 7, 12, 8	14
1,8	1,9	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	11
1,8	2	25080,8	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 3, 9, 5, 1, 2, 10, 0	11
1,9	1	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	12
1,9	1,1	25348,03	2, 1, 5, 8, 12, 7, 4, 13, 3, 9, 0, 10, 11, 6	12
1,9	1,2	25941,69	12, 8, 13, 4, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 11, 2, 1, 5	11
1,9	1,3	26832,38	13, 9, 3, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 4, 11, 6, 10, 0	20
1,9	1,4	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	12
1,9	1,5	26170,33	6, 11, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 4, 13	9
1,9	1,6	25521,3	0, 10, 11, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 3, 9, 13, 4	13
1,9	1,7	25578,31	2, 1, 5, 8, 12, 10, 11, 6, 7, 4, 13, 3, 9, 0	15
1,9	1,8	25375,2	6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10	12

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1,9	1,9	25125,55	0, 3, 9, 13, 4, 7, 6, 11, 10, 12, 8, 5, 1, 2	11
1,9	2	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	18
2	1	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	14
2	1,1	24035,27	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 11, 4, 13	12
2	1,2	25080,8	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 3, 9, 5, 1, 2, 10, 0	16
2	1,3	25314,92	10, 0, 9, 3, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	11
2	1,4	26593,01	9, 3, 0, 10, 4, 13, 8, 12, 7, 6, 11, 2, 1, 5	11
2	1,5	24444,34	2, 1, 5, 8, 12, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 7, 6, 11	18
2	1,6	24897,1	11, 6, 7, 4, 13, 3, 9, 0, 10, 12, 8, 5, 1, 2	15
2	1,7	24749,08	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 10, 0, 3, 9, 13, 4	13
2	1,8	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	10
2	1,9	24035,27	13, 4, 11, 10, 0, 3, 9, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2	11
2	2	24480,23	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10	9

Pada Tabel 4.9, ditemukan jarak terpendek yang dihasilkan adalah 24035,27 dengan rute terpendek 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 11, 4, 13 pada iterasi ke 9. Di mana hal tersebut terjadi ketika nilai α sebesar 1,1 dan β sebesar 1,5.

2. Hasil Kedua

Tabel 4.10 Graf Kedua Hasil Kedua

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1	1	25205,6	6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 3, 9, 13, 4, 11, 10, 0	18
1	1,1	25775,14	0, 3, 9, 13, 4, 7, 6, 11, 10, 2, 1, 5, 8, 12	20
1	1,2	25722,27	0, 10, 12, 8, 5, 1, 2, 11, 6, 7, 4, 13, 9, 3	15
1	1,3	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	20
1	1,4	24480,23	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10	19
1	1,5	24860,53	0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 3, 9	15
1	1,6	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	18
1	1,7	24860,53	0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 3, 9	19
1	1,8	24935,36	8, 12, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 7, 6, 11, 2, 1, 5	20
1	1,9	24035,27	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 11, 4, 13	16
1	2	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	19
1,1	1	24741,14	13, 4, 11, 6, 7, 12, 8, 1, 5, 9, 3, 0, 10, 2	17
1,1	1,1	24887,45	2, 1, 5, 8, 12, 7, 4, 13, 3, 9, 6, 11, 10, 0	14
1,1	1,2	24035,27	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 11, 4, 13	19

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1,1	1,3	24470,24	13, 4, 11, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 10, 0, 3, 9	13
1,1	1,4	24985,99	2, 11, 6, 7, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 12, 8, 1, 5	15
1,1	1,5	24749,08	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 10, 0, 3, 9, 13, 4	15
1,1	1,6	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	16
1,1	1,7	24444,34	2, 1, 5, 8, 12, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 7, 6, 11	16
1,1	1,8	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	11
1,1	1,9	24749,08	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 10, 0, 3, 9, 13, 4	10
1,1	2	24035,27	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 11, 4, 13	10
1,2	1	24860,53	0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 3, 9	16
1,2	1,1	24364,12	5, 1, 2, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 11, 6, 7, 12, 8	19
1,2	1,2	24749,08	4, 13, 9, 3, 0, 10, 11, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2	17
1,2	1,3	25151,03	0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3	17
1,2	1,4	24444,34	2, 1, 5, 8, 12, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 7, 6, 11	16
1,2	1,5	24480,23	10, 0, 3, 9, 13, 4, 11, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2	17
1,2	1,6	24760,25	11, 4, 13, 3, 9, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 10, 0	17
1,2	1,7	24035,27	13, 4, 11, 10, 0, 3, 9, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2	17
1,2	1,8	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	17
1,2	1,9	24816,88	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 3, 9, 0, 10, 2, 1, 5	14
1,2	2	24035,27	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 11, 4, 13	9
1,3	1	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	20
1,3	1,1	25941,69	5, 1, 2, 11, 10, 0, 3, 9, 6, 7, 4, 13, 8, 12	20
1,3	1,2	24741,14	13, 4, 11, 6, 7, 12, 8, 1, 5, 9, 3, 0, 10, 2	15
1,3	1,3	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	17
1,3	1,4	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	14
1,3	1,5	24480,23	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10	14
1,3	1,6	24935,36	5, 1, 2, 11, 6, 7, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 12, 8	18
1,3	1,7	24749,08	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 10, 0, 3, 9, 13, 4	9
1,3	1,8	24985,99	5, 1, 8, 12, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 7, 6, 11, 2	19
1,3	1,9	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	15
1,3	2	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	12
1,4	1	25041,48	13, 4, 7, 6, 11, 2, 1, 5, 8, 12, 10, 0, 3, 9	18
1,4	1,1	24425,56	0, 10, 11, 4, 13, 3, 9, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2	9
1,4	1,2	25130,48	13, 4, 7, 12, 8, 6, 11, 10, 0, 3, 9, 5, 1, 2	14
1,4	1,3	24760,25	0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 13, 4, 11	17
1,4	1,4	24364,12	5, 1, 2, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 11, 6, 7, 12, 8	12
1,4	1,5	25636,23	4, 13, 3, 9, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 11, 10, 0	13
1,4	1,6	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	13
1,4	1,7	24480,23	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10	17
1,4	1,8	24749,08	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 10, 0, 3, 9, 13, 4	11
1,4	1,9	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	16

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1,4	2	24364,12	5, 1, 2, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 11, 6, 7, 12, 8	12
1,5	1	25587,91	11, 10, 0, 3, 9, 5, 1, 2, 12, 8, 6, 7, 4, 13	14
1,5	1,1	26700,85	9, 3, 0, 10, 2, 11, 4, 13, 1, 5, 8, 12, 7, 6	14
1,5	1,2	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	15
1,5	1,3	24749,08	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 10, 0, 3, 9, 13, 4	16
1,5	1,4	25201,84	4, 13, 3, 9, 0, 10, 11, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2	17
1,5	1,5	24444,34	2, 1, 5, 8, 12, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 7, 6, 11	17
1,5	1,6	24741,14	2, 10, 0, 3, 9, 5, 1, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	15
1,5	1,7	24035,27	13, 4, 11, 10, 0, 3, 9, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2	10
1,5	1,8	25339,07	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 11	11
1,5	1,9	24749,08	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 10, 0, 3, 9, 13, 4	16
1,5	2	24749,08	4, 13, 9, 3, 0, 10, 11, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2	13
1,6	1	25339,31	6, 7, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 12, 8, 5, 1, 2, 11	20
1,6	1,1	26643,61	2, 1, 8, 12, 7, 6, 11, 10, 0, 3, 9, 5, 4, 13	15
1,6	1,2	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	14
1,6	1,3	24860,53	0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 3, 9	13
1,6	1,4	24831,85	13, 4, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 10, 0, 3, 9, 6, 11	11
1,6	1,5	24035,27	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 11, 4, 13	18
1,6	1,6	24749,08	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 10, 0, 3, 9, 13, 4	13
1,6	1,7	24035,27	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 11, 4, 13	12
1,6	1,8	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	11
1,6	1,9	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	17
1,6	2	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	12
1,7	1	24760,25	0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 13, 4, 11	11
1,7	1,1	24364,12	5, 1, 2, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 11, 6, 7, 12, 8	12
1,7	1,2	24414,75	2, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 11, 6, 7, 12, 8, 1, 5	18
1,7	1,3	26178,32	2, 11, 6, 7, 12, 8, 1, 5, 9, 3, 0, 10, 4, 13	5
1,7	1,4	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	11
1,7	1,5	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	14
1,7	1,6	25083,77	11, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 10, 0, 3, 9, 13, 4	15
1,7	1,7	24749,08	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 10, 0, 3, 9, 13, 4	12
1,7	1,8	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	15
1,7	1,9	24035,27	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 11, 4, 13	12
1,7	2	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	11
1,8	1	24363,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	13
1,8	1,1	24480,23	10, 0, 3, 9, 13, 4, 11, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2	13
1,8	1,2	24444,34	2, 1, 5, 8, 12, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 7, 6, 11	14
1,8	1,3	24480,23	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10	18
1,8	1,4	24977,09	13, 4, 11, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10	12
1,8	1,5	25339,31	6, 7, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 12, 8, 5, 1, 2, 11	8

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1,8	1,6	24749,08	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 10, 0, 3, 9, 13, 4	14
1,8	1,7	24035,27	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 11, 4, 13	10
1,8	1,8	25431,77	0, 10, 12, 8, 5, 1, 2, 11, 6, 7, 4, 13, 3, 9	15
1,8	1,9	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	20
1,8	2	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	14
1,9	1	24749,08	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 10, 0, 3, 9, 13, 4	13
1,9	1,1	24470,24	13, 4, 11, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 10, 0, 3, 9	14
1,9	1,2	24480,23	10, 0, 3, 9, 13, 4, 11, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2	18
1,9	1,3	24749,08	4, 13, 9, 3, 0, 10, 11, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2	14
1,9	1,4	25041,48	9, 3, 0, 10, 12, 8, 5, 1, 2, 11, 6, 7, 4, 13	10
1,9	1,5	24425,56	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 13, 4, 11, 10, 0	12
1,9	1,6	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	10
1,9	1,7	25256,1	12, 8, 5, 1, 2, 11, 10, 0, 3, 9, 6, 7, 4, 13	9
1,9	1,8	24035,27	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 11, 4, 13	10
1,9	1,9	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	10
1,9	2	24895,27	6, 11, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 7, 12, 8, 5, 1, 2	13
2	1	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	13
2	1,1	24816,88	5, 1, 2, 10, 0, 9, 3, 13, 4, 11, 6, 7, 12, 8	16
2	1,2	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	18
2	1,3	24749,08	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 10, 0, 3, 9, 13, 4	10
2	1,4	24760,25	11, 4, 13, 3, 9, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 10, 0	11
2	1,5	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	12
2	1,6	25138,78	11, 6, 8, 12, 7, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	9
2	1,7	24444,34	2, 1, 5, 8, 12, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 7, 6, 11	13
2	1,8	24035,27	13, 4, 11, 10, 0, 3, 9, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2	14
2	1,9	24470,24	13, 4, 11, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 10, 0, 3, 9	15
2	2	24895,27	2, 1, 5, 8, 12, 7, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 11, 6	10

Pada Tabel 4.10, ditemukan jarak terpendek yang dihasilkan adalah 24035,27 dengan rute terpendek 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 11, 4, 13 pada iterasi ke 9. Di mana hal tersebut terjadi ketika nilai α sebesar 1,2 dan β sebesar 2.

3. Hasil Ketiga

Tabel 4.11 Graf Kedua Hasil Ketiga

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1	1	25914,21	4, 7, 6, 11, 2, 1, 5, 8, 12, 10, 0, 3, 9, 13	18
1	1,1	25375,2	6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10	18
1	1,2	25201,84	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 10, 0, 9, 3, 13, 4	15
1	1,3	24831,85	11, 6, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 4, 13	19
1	1,4	24749,08	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 10, 0, 3, 9, 13, 4	20
1	1,5	24470,24	13, 4, 11, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 10, 0, 3, 9	19
1	1,6	24935,36	5, 1, 2, 11, 6, 7, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 12, 8	20
1	1,7	25578,31	2, 1, 5, 8, 12, 10, 11, 6, 7, 4, 13, 3, 9, 0	12
1	1,8	24364,12	5, 1, 2, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 11, 6, 7, 12, 8	20
1	1,9	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	15
1	2	25080,8	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 3, 9, 5, 1, 2, 10, 0	14
1,1	1	25216,56	11, 6, 7, 4, 13, 9, 3, 2, 1, 5, 8, 12, 10, 0	15
1,1	1,1	26240,53	8, 12, 10, 0, 3, 9, 6, 7, 4, 13, 11, 2, 1, 5	14
1,1	1,2	25348,03	2, 1, 5, 8, 12, 7, 4, 13, 3, 9, 0, 10, 11, 6	16
1,1	1,3	25546,69	12, 8, 5, 1, 2, 10, 0, 9, 3, 13, 4, 7, 6, 11	20
1,1	1,4	24860,53	0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 3, 9	16
1,1	1,5	24985,99	2, 11, 6, 7, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 12, 8, 1, 5	10
1,1	1,6	24816,88	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 3, 9, 0, 10, 2, 1, 5	17
1,1	1,7	24035,27	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 11, 4, 13	19
1,1	1,8	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	20
1,1	1,9	24035,27	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 11, 4, 13	12
1,1	2	24444,34	11, 6, 7, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 12, 8, 5, 1, 2	9
1,2	1	25513,36	0, 10, 2, 3, 9, 5, 1, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	19
1,2	1,1	24035,27	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 11, 4, 13	18
1,2	1,2	24768,07	6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 11	19
1,2	1,3	24932,99	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 3, 9, 0, 10	19
1,2	1,4	25041,48	13, 4, 7, 6, 11, 2, 1, 5, 8, 12, 10, 0, 3, 9	16
1,2	1,5	25261,75	8, 12, 10, 0, 3, 9, 5, 1, 2, 11, 6, 7, 4, 13	14
1,2	1,6	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	18
1,2	1,7	24741,14	13, 4, 11, 6, 7, 12, 8, 1, 5, 9, 3, 0, 10, 2	20
1,2	1,8	24444,34	2, 1, 5, 8, 12, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 7, 6, 11	18
1,2	1,9	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	12
1,2	2	24470,24	13, 4, 11, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 10, 0, 3, 9	13
1,3	1	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	16
1,3	1,1	24035,27	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 11, 4, 13	17
1,3	1,2	25041,48	9, 3, 0, 10, 12, 8, 5, 1, 2, 11, 6, 7, 4, 13	18
1,3	1,3	24470,24	13, 4, 11, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 10, 0, 3, 9	13

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1,3	1,4	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	11
1,3	1,5	24480,23	10, 0, 3, 9, 13, 4, 11, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2	16
1,3	1,6	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	15
1,3	1,7	24035,27	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 11, 4, 13	11
1,3	1,8	24470,24	13, 4, 11, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 10, 0, 3, 9	9
1,3	1,9	25388,12	8, 12, 10, 0, 9, 3, 13, 4, 7, 6, 11, 2, 1, 5	8
1,3	2	24741,14	2, 10, 0, 3, 9, 5, 1, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	13
1,4	1	24816,88	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 3, 9, 0, 10, 2, 1, 5	14
1,4	1,1	25093,93	11, 6, 7, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12	19
1,4	1,2	24364,12	5, 1, 2, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 11, 6, 7, 12, 8	14
1,4	1,3	25269,38	13, 4, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 3, 9, 6, 11, 10, 0	17
1,4	1,4	24749,08	4, 13, 9, 3, 0, 10, 11, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2	16
1,4	1,5	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	14
1,4	1,6	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	16
1,4	1,7	25205,6	6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 3, 9, 13, 4, 11, 10, 0	11
1,4	1,8	24444,34	2, 1, 5, 8, 12, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 7, 6, 11	16
1,4	1,9	24816,88	5, 1, 2, 10, 0, 9, 3, 13, 4, 11, 6, 7, 12, 8	10
1,4	2	24749,08	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 10, 0, 3, 9, 13, 4	14
1,5	1	25456,32	2, 1, 5, 9, 3, 0, 10, 12, 8, 13, 4, 7, 6, 11	17
1,5	1,1	25080,8	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 3, 9, 5, 1, 2, 10, 0	18
1,5	1,2	24760,25	11, 4, 13, 3, 9, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 10, 0	13
1,5	1,3	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	14
1,5	1,4	24816,88	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 3, 9, 0, 10, 2, 1, 5	16
1,5	1,5	25130,48	13, 4, 7, 12, 8, 6, 11, 10, 0, 3, 9, 5, 1, 2	11
1,5	1,6	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	16
1,5	1,7	24035,27	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 11, 4, 13	15
1,5	1,8	24444,34	11, 6, 7, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 12, 8, 5, 1, 2	18
1,5	1,9	25587,91	11, 10, 0, 3, 9, 5, 1, 2, 12, 8, 6, 7, 4, 13	15
1,5	2	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	18
1,6	1	25093,93	11, 6, 7, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12	17
1,6	1,1	26339,57	6, 7, 1, 5, 8, 12, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 11, 2	15
1,6	1,2	24444,34	11, 6, 7, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 12, 8, 5, 1, 2	19
1,6	1,3	26082,5	0, 10, 4, 13, 9, 3, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11	15
1,6	1,4	24444,34	11, 6, 7, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 12, 8, 5, 1, 2	17
1,6	1,5	25041,48	9, 3, 0, 10, 12, 8, 5, 1, 2, 11, 6, 7, 4, 13	12
1,6	1,6	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	15
1,6	1,7	24932,99	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 3, 9, 0, 10	13
1,6	1,8	25055,55	11, 4, 13, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	7
1,6	1,9	24932,99	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 3, 9, 0, 10	10
1,6	2	24749,08	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 10, 0, 3, 9, 13, 4	11

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1,7	1	25593,93	13, 4, 7, 6, 11, 10, 0, 9, 3, 2, 1, 5, 8, 12	15
1,7	1,1	25339,31	11, 2, 1, 5, 8, 12, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 7, 6	18
1,7	1,2	24768,07	6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 11	12
1,7	1,3	24749,08	4, 13, 9, 3, 0, 10, 11, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2	20
1,7	1,4	24425,56	0, 10, 11, 4, 13, 3, 9, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2	16
1,7	1,5	25636,11	6, 7, 12, 8, 1, 5, 9, 3, 0, 10, 2, 11, 4, 13	18
1,7	1,6	24768,07	6, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 11	14
1,7	1,7	24831,85	13, 4, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 10, 0, 3, 9, 6, 11	14
1,7	1,8	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	10
1,7	1,9	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	17
1,7	2	24364,12	5, 1, 2, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 11, 6, 7, 12, 8	14
1,8	1	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	14
1,8	1,1	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	11
1,8	1,2	24749,08	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 10, 0, 3, 9, 13, 4	13
1,8	1,3	25041,48	13, 4, 7, 6, 11, 2, 1, 5, 8, 12, 10, 0, 3, 9	16
1,8	1,4	24444,34	2, 1, 5, 8, 12, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 7, 6, 11	12
1,8	1,5	25782,42	6, 9, 3, 13, 4, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 11, 10, 0	12
1,8	1,6	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	12
1,8	1,7	24035,27	13, 4, 11, 10, 0, 3, 9, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2	9
1,8	1,8	24035,27	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 11, 4, 13	13
1,8	1,9	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	2
1,8	2	25219,17	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 0, 10, 11, 4, 13, 3, 9	14
1,9	1	25216,56	0, 10, 12, 8, 5, 1, 2, 3, 9, 13, 4, 7, 6, 11	17
1,9	1,1	25392,13	6, 9, 3, 0, 10, 11, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 4, 13	14
1,9	1,2	24831,85	13, 4, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 10, 0, 3, 9, 6, 11	10
1,9	1,3	25446,76	5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 11, 4, 13, 1, 2	15
1,9	1,4	24897,1	2, 1, 5, 8, 12, 10, 0, 9, 3, 13, 4, 7, 6, 11	19
1,9	1,5	24768,07	11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6	12
1,9	1,6	24760,25	0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 13, 4, 11	11
1,9	1,7	24035,27	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 11, 4, 13	13
1,9	1,8	24932,99	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 3, 9, 0, 10	14
1,9	1,9	24035,27	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 9, 3, 0, 10, 11, 4, 13	10
1,9	2	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	12
2	1	25269,38	13, 4, 7, 12, 8, 5, 1, 2, 3, 9, 6, 11, 10, 0	12
2	1,1	25080,8	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 3, 9, 5, 1, 2, 10, 0	13
2	1,2	25507,33	5, 1, 2, 11, 4, 7, 6, 8, 12, 10, 0, 3, 9, 13	11
2	1,3	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	18
2	1,4	24470,24	9, 3, 0, 10, 2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 4, 13	14
2	1,5	24035,27	13, 4, 11, 10, 0, 3, 9, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2	12
2	1,6	24444,34	11, 6, 7, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 12, 8, 5, 1, 2	12

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
2	1,7	24935,36	8, 12, 10, 0, 3, 9, 13, 4, 7, 6, 11, 2, 1, 5	18
2	1,8	24749,08	2, 1, 5, 8, 12, 7, 6, 11, 10, 0, 3, 9, 13, 4	8
2	1,9	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	10
2	2	24364,12	8, 12, 7, 6, 11, 4, 13, 9, 3, 0, 10, 2, 1, 5	18

Pada Tabel 4.11, ditemukan jarak terpendek yang dihasilkan adalah 24035,27 dengan rute terpendek 13, 4, 11, 10, 0, 3, 9, 6, 7, 12, 8, 5, 1, 2 pada iterasi ke 9. Di mana hal tersebut terjadi ketika nilai α sebesar 1,8 dan β sebesar 1,7.

4.3.3 Graf Ketiga

1. Hasil Pertama

Tabel 4.12 Graf Ketiga Hasil Pertama

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1	1	19090,12	5, 11, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 8, 0, 1, 2, 13, 9	19
1	1,1	19555,4	3, 12, 6, 5, 11, 10, 7, 4, 8, 0, 1, 2, 13, 9	17
1	1,2	18808,37	6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8, 9, 13, 2, 1	20
1	1,3	18158	11, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	17
1	1,4	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	16
1	1,5	18223,23	5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 0, 8	18
1	1,6	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	19
1	1,7	18233,23	5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 0, 8	12
1	1,8	17910,79	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 1, 2, 13	20
1	1,9	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	11
1	2	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	15
1,1	1	18629,71	5, 11, 10, 8, 0, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7	19
1,1	1,1	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	15
1,1	1,2	17910,79	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 1, 2, 13	19
1,1	1,3	18158	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 8, 0, 5, 11	18
1,1	1,4	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	18
1,1	1,5	17910,79	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 1, 2, 13	18

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1,1	1,6	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	16
1,1	1,7	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	16
1,1	1,8	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	15
1,1	1,9	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	14
1,1	2	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	17
1,2	1	19425,29	8, 0, 5, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 11	20
1,2	1,1	18727,43	4, 7, 10, 11, 5, 0, 8, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	18
1,2	1,2	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	19
1,2	1,3	18825,68	9, 13, 2, 1, 0, 5, 11, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 8	14
1,2	1,4	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	16
1,2	1,5	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	18
1,2	1,6	17910,79	13, 2, 1, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	17
1,2	1,7	18158	11, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	18
1,2	1,8	18158	11, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	12
1,2	1,9	18158	11, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	15
1,2	2	18167,19	3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	16
1,3	1	17910,79	13, 2, 1, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	14
1,3	1,1	18223,23	5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 0, 8	16
1,3	1,2	18246,91	3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 0, 5, 11, 4, 7, 10, 8	20
1,3	1,3	18629,65	8, 0, 5, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 6, 9, 13, 2, 1	13
1,3	1,4	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	12
1,3	1,5	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	13
1,3	1,6	18658,25	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 11, 5, 0, 8, 10, 7, 4	10
1,3	1,7	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	11
1,3	1,8	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	11
1,3	1,9	17910,79	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 1, 2, 13	20
1,3	2	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	15
1,4	1	18718,55	11, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3	17
1,4	1,1	18536,08	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 11, 5, 0, 8, 10, 7	20
1,4	1,2	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	14
1,4	1,3	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	14
1,4	1,4	18846,96	1, 2, 13, 9, 5, 0, 8, 10, 11, 4, 7, 6, 12, 3	10
1,4	1,5	18846,96	3, 12, 6, 7, 4, 11, 10, 8, 0, 5, 9, 13, 2, 1	12
1,4	1,6	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	9
1,4	1,7	17910,79	13, 2, 1, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	15
1,4	1,8	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	16
1,4	1,9	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	15
1,4	2	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	12
1,5	1	18333,77	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 13, 2, 1, 9	14
1,5	1,1	18167,19	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3	16

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1,5	1,2	18727,43	4, 7, 10, 11, 5, 0, 8, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	17
1,5	1,3	18158	11, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	19
1,5	1,4	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	17
1,5	1,5	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	15
1,5	1,6	17910,79	13, 2, 1, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	11
1,5	1,7	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	12
1,5	1,8	18183,75	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 13, 9, 1, 2	10
1,5	1,9	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	10
1,5	2	18405,08	1, 2, 13, 9, 6, 11, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 3, 12	12
1,6	1	19153,3	12, 3, 4, 7, 6, 9, 1, 2, 13, 10, 11, 5, 0, 8	15
1,6	1,1	18511,35	3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 0, 8, 10, 7, 4, 11, 5	13
1,6	1,2	18917,29	1, 2, 13, 9, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 11, 5, 0, 8	12
1,6	1,3	19221,92	3, 12, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 11, 6, 9, 1, 2, 13	16
1,6	1,4	18246,91	8, 10, 7, 4, 11, 5, 0, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3	10
1,6	1,5	19444,93	8, 0, 5, 12, 3, 6, 9, 13, 2, 1, 4, 7, 10, 11	18
1,6	1,6	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	12
1,6	1,7	18158	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 8, 0, 5, 11	14
1,6	1,8	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	12
1,6	1,9	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	12
1,6	2	18183,75	2, 1, 9, 13, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	13
1,7	1	19434,74	5, 0, 8, 10, 11, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 1, 2, 13	20
1,7	1,1	18246,91	8, 10, 7, 4, 11, 5, 0, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3	15
1,7	1,2	18158	11, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	13
1,7	1,3	19304,67	3, 12, 5, 0, 8, 10, 11, 4, 7, 6, 9, 1, 2, 13	8
1,7	1,4	18727,43	4, 7, 10, 11, 5, 0, 8, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	10
1,7	1,5	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	14
1,7	1,6	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	16
1,7	1,7	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	14
1,7	1,8	18246,91	8, 10, 7, 4, 11, 5, 0, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3	13
1,7	1,9	18246,91	8, 10, 7, 4, 11, 5, 0, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3	11
1,7	2	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	12
1,8	1	18223,23	8, 0, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5	17
1,8	1,1	19512,33	9, 6, 13, 2, 1, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	14
1,8	1,2	19027,45	1, 2, 13, 9, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 11	19
1,8	1,3	18246,91	8, 10, 7, 4, 11, 5, 0, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3	13
1,8	1,4	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	14
1,8	1,5	18727,43	4, 7, 10, 11, 5, 0, 8, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	7
1,8	1,6	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	12
1,8	1,7	18158	11, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	10
1,8	1,8	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	13

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1,8	1,9	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	15
1,8	2	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	11
1,9	1	19104,42	12, 3, 4, 7, 6, 9, 13, 2, 1, 0, 8, 10, 11, 5	11
1,9	1,1	19499,89	12, 6, 9, 13, 2, 1, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8, 3	2
1,9	1,2	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	10
1,9	1,3	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	13
1,9	1,4	18167,19	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3	12
1,9	1,5	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	11
1,9	1,6	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	11
1,9	1,7	18789,74	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 11, 4, 7, 10, 8, 0, 5	10
1,9	1,8	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	9
1,9	1,9	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	9
1,9	2	18405,08	12, 3, 4, 7, 10, 8, 0, 5, 11, 6, 9, 13, 2, 1	9
2	1	18905,43	8, 10, 7, 4, 11, 5, 0, 13, 2, 1, 9, 6, 12, 3	17
2	1,1	19093,66	12, 6, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8, 9, 13, 2, 1	18
2	1,2	18491,01	3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 10, 7, 4, 11, 5, 0, 8	13
2	1,3	17910,79	13, 2, 1, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	12
2	1,4	18992,82	8, 0, 5, 11, 4, 7, 10, 1, 2, 13, 9, 6, 3, 12	9
2	1,5	18905,43	3, 12, 6, 9, 1, 2, 13, 0, 5, 11, 4, 7, 10, 8	12
2	1,6	18511,35	3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 0, 8, 10, 7, 4, 11, 5	11
2	1,7	18629,65	8, 0, 5, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 6, 9, 13, 2, 1	11
2	1,8	18246,91	3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 0, 5, 11, 4, 7, 10, 8	13
2	1,9	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	13
2	2	18560,23	3, 12, 6, 9, 1, 2, 13, 10, 7, 4, 11, 5, 0, 8	8

Pada Tabel 4.12, ditemukan jarak terpendek yang dihasilkan adalah 17606,64 dengan rute terpendek 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8 pada saat nilai α dan β sebesar (1,9, 1,8), dan (1,9, 1,9). Selain itu, 8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1 dengan nilai α sebesar 1,4 dan β sebesar 1,6. Di mana hal tersebut terjadi ketika pada iterasi ke 9.

2. Hasil Kedua

Tabel 4.13 Graf Ketiga Hasil Kedua

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1	1	20026,36	0, 8, 10, 7, 4, 6, 12, 3, 11, 5, 9, 13, 2, 1	12
1	1,1	19310,86	5, 7, 4, 11, 10, 8, 0, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3	19
1	1,2	19360,68	8, 0, 5, 9, 13, 2, 1, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6	17
1	1,3	18884,85	3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 0, 8, 4, 7, 10, 11, 5	18
1	1,4	18882,57	1, 2, 13, 9, 5, 0, 8, 10, 11, 6, 12, 3, 4, 7	19
1	1,5	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	17
1	1,6	18158	11, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	20
1	1,7	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	20
1	1,8	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	18
1	1,9	18629,71	7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 0, 8, 10, 11, 5	20
1	2	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	14
1,1	1	18183,75	2, 1, 9, 13, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	18
1,1	1,1	19185,52	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 8, 10, 7, 4, 11, 5, 0	19
1,1	1,2	18333,77	9, 1, 2, 13, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	15
1,1	1,3	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	20
1,1	1,4	18965,12	6, 9, 13, 2, 1, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	14
1,1	1,5	18808,37	6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8, 9, 13, 2, 1	13
1,1	1,6	18158	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 8, 0, 5, 11	13
1,1	1,7	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	15
1,1	1,8	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	20
1,1	1,9	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	12
1,1	2	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	18
1,2	1	18620,41	3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 8	18
1,2	1,1	17910,79	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 1, 2, 13	20
1,2	1,2	18158	11, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	17
1,2	1,3	18462,15	13, 2, 1, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 8, 0, 5, 11	10
1,2	1,4	18405,08	12, 3, 4, 7, 10, 8, 0, 5, 11, 6, 9, 13, 2, 1	19
1,2	1,5	17910,79	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 1, 2, 13	19
1,2	1,6	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	12
1,2	1,7	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	13
1,2	1,8	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	14
1,2	1,9	17910,79	13, 2, 1, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	15
1,2	2	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	13
1,3	1	19162,05	8, 0, 5, 10, 7, 4, 11, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3	18
1,3	1,1	18405,08	1, 2, 13, 9, 6, 11, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 3, 12	18
1,3	1,2	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	16
1,3	1,3	18158	11, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	16

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1,3	1,4	18183,75	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 13, 9, 1, 2	19
1,3	1,5	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	12
1,3	1,6	19404,81	10, 7, 4, 3, 12, 6, 11, 5, 0, 8, 9, 13, 2, 1	13
1,3	1,7	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	19
1,3	1,8	18158	11, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	12
1,3	1,9	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	12
1,3	2	18167,19	3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	16
1,4	1	19708,29	3, 12, 6, 4, 7, 10, 8, 0, 1, 2, 13, 9, 5, 11	19
1,4	1,1	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	15
1,4	1,2	18560,23	3, 12, 6, 9, 1, 2, 13, 10, 7, 4, 11, 5, 0, 8	20
1,4	1,3	18158	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 8, 0, 5, 11	13
1,4	1,4	18167,19	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3	10
1,4	1,5	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	14
1,4	1,6	18629,71	7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 0, 8, 10, 11, 5	16
1,4	1,7	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	14
1,4	1,8	18167,19	3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	12
1,4	1,9	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	12
1,4	2	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	11
1,5	1	17910,79	13, 2, 1, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	10
1,5	1,1	18560,23	8, 0, 5, 11, 4, 7, 10, 13, 2, 1, 9, 6, 12, 3	15
1,5	1,2	19356,78	9, 1, 2, 13, 6, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 5, 0, 8	19
1,5	1,3	17910,79	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 1, 2, 13	16
1,5	1,4	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	10
1,5	1,5	18510,15	8, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 0, 5, 11	19
1,5	1,6	18333,77	9, 1, 2, 13, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	13
1,5	1,7	18365,27	8, 10, 11, 5, 0, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7	13
1,5	1,8	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	11
1,5	1,9	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	14
1,5	2	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	13
1,6	1	18560,23	3, 12, 6, 9, 1, 2, 13, 10, 7, 4, 11, 5, 0, 8	15
1,6	1,1	18669	12, 3, 6, 9, 13, 2, 1, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	13
1,6	1,2	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	11
1,6	1,3	18678,59	7, 4, 3, 12, 6, 9, 1, 2, 13, 10, 11, 5, 0, 8	10
1,6	1,4	18223,23	5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 0, 8	14
1,6	1,5	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	15
1,6	1,6	18462,15	11, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 1, 2, 13	13
1,6	1,7	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	15
1,6	1,8	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	10
1,6	1,9	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	14
1,6	2	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	16

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1,7	1	19420	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 13, 2, 1, 9, 6	13
1,7	1,1	18405,08	1, 2, 13, 9, 6, 11, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 3, 12	13
1,7	1,2	18223,23	8, 0, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5	14
1,7	1,3	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	14
1,7	1,4	18158	11, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	14
1,7	1,5	18246,91	3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 0, 5, 11, 4, 7, 10, 8	13
1,7	1,6	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	12
1,7	1,7	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	8
1,7	1,8	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	11
1,7	1,9	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	11
1,7	2	18365,27	7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 0, 5, 11, 10, 8	10
1,8	1	19000,52	1, 2, 13, 9, 6, 7, 4, 11, 10, 8, 0, 5, 12, 3	16
1,8	1,1	18997,19	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 5, 11, 10, 8, 0	12
1,8	1,2	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	17
1,8	1,3	18846,96	1, 2, 13, 9, 5, 0, 8, 10, 11, 4, 7, 6, 12, 3	12
1,8	1,4	18183,75	2, 1, 9, 13, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	11
1,8	1,5	19038,62	3, 12, 6, 13, 2, 1, 9, 8, 0, 5, 11, 10, 7, 4	14
1,8	1,6	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	14
1,8	1,7	18158	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 8, 0, 5, 11	10
1,8	1,8	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	12
1,8	1,9	18223,23	5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 0, 8	13
1,8	2	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	11
1,9	1	18839,98	8, 10, 11, 5, 0, 1, 2, 13, 9, 6, 7, 4, 3, 12	20
1,9	1,1	18183,75	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 13, 9, 1, 2	11
1,9	1,2	18718,55	3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 4, 7, 10, 8, 0, 5, 11	14
1,9	1,3	19030,93	7, 4, 11, 10, 8, 0, 5, 9, 1, 2, 13, 6, 12, 3	16
1,9	1,4	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	12
1,9	1,5	17910,79	13, 2, 1, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	13
1,9	1,6	18405,08	12, 3, 4, 7, 10, 8, 0, 5, 11, 6, 9, 13, 2, 1	10
1,9	1,7	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	13
1,9	1,8	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	9
1,9	1,9	18536,08	7, 10, 8, 0, 5, 11, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	13
1,9	2	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	10
2	1	19038,62	3, 12, 6, 13, 2, 1, 9, 8, 0, 5, 11, 10, 7, 4	11
2	1,1	18536,08	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 11, 5, 0, 8, 10, 7	16
2	1,2	18669	12, 3, 6, 9, 13, 2, 1, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	11
2	1,3	18678,59	7, 4, 3, 12, 6, 9, 1, 2, 13, 10, 11, 5, 0, 8	12
2	1,4	18511,35	3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 0, 8, 10, 7, 4, 11, 5	11
2	1,5	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	10
2	1,6	18246,91	3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 0, 5, 11, 4, 7, 10, 8	9

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
2	1,7	18246,91	8, 10, 7, 4, 11, 5, 0, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3	11
2	1,8	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	12
2	1,9	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	9
2	2	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	12

Pada Tabel 4.13, ditemukan jarak terpendek yang dihasilkan adalah 17606,64 dengan rute terpendek 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8 pada iterasi ke 8. Di mana hal tersebut terjadi ketika pada saat nilai α sebesar 1,7 dan β sebesar 1,7.

3. Hasil Ketiga

Tabel 4.14 Graf Ketiga Hasil Ketiga

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1	1	19380,8	5, 9, 13, 2, 1, 0, 8, 10, 7, 4, 11, 6, 12, 3	13
1	1,1	19332,33	13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 8, 0, 5, 11, 1, 2	19
1	1,2	19151,11	13, 2, 1, 9, 5, 0, 8, 10, 11, 4, 7, 6, 12, 3	20
1	1,3	18929,11	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 11, 10, 7, 5, 0, 8	15
1	1,4	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	15
1	1,5	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	14
1	1,6	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	13
1	1,7	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	18
1	1,8	18629,65	8, 0, 5, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 6, 9, 13, 2, 1	18
1	1,9	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	12
1	2	18789,74	5, 0, 8, 10, 7, 4, 11, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	19
1,1	1	18909,58	7, 10, 11, 5, 0, 8, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	18
1,1	1,1	18897,49	7, 4, 11, 5, 0, 8, 10, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3	17
1,1	1,2	17910,79	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 1, 2, 13	20
1,1	1,3	17910,79	13, 2, 1, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	14
1,1	1,4	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	14
1,1	1,5	18510,15	8, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 0, 5, 11	19
1,1	1,6	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	17
1,1	1,7	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	15
1,1	1,8	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	13
1,1	1,9	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	14

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1,1	2	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	13
1,2	1	19304,54	4, 7, 10, 11, 5, 0, 8, 3, 12, 6, 13, 9, 1, 2	15
1,2	1,1	19553,17	10, 7, 4, 11, 5, 0, 8, 9, 1, 2, 13, 6, 12, 3	20
1,2	1,2	18881,75	5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 1, 2, 13, 0, 8	14
1,2	1,3	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	17
1,2	1,4	18365,27	8, 10, 11, 5, 0, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7	19
1,2	1,5	18246,91	8, 10, 7, 4, 11, 5, 0, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3	15
1,2	1,6	17910,79	13, 2, 1, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	13
1,2	1,7	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	20
1,2	1,8	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	10
1,2	1,9	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	13
1,2	2	18223,23	5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 0, 8	13
1,3	1	19567,91	13, 2, 1, 9, 6, 7, 4, 3, 12, 5, 0, 8, 10, 11	20
1,3	1,1	18808,37	1, 2, 13, 9, 8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6	17
1,3	1,2	18333,77	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 13, 2, 1, 9	15
1,3	1,3	18223,23	8, 0, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5	20
1,3	1,4	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	16
1,3	1,5	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	18
1,3	1,6	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	15
1,3	1,7	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	13
1,3	1,8	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	11
1,3	1,9	18223,23	5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 0, 8	12
1,3	2	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	13
1,4	1	18727,43	4, 7, 10, 11, 5, 0, 8, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	15
1,4	1,1	18365,27	8, 10, 11, 5, 0, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7	16
1,4	1,2	19112,52	13, 2, 1, 9, 8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6	15
1,4	1,3	18158	11, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	15
1,4	1,4	18658,25	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 11, 5, 0, 8, 10, 7, 4	16
1,4	1,5	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	14
1,4	1,6	18992,82	12, 3, 6, 9, 13, 2, 1, 10, 7, 4, 11, 5, 0, 8	16
1,4	1,7	17910,79	13, 2, 1, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	14
1,4	1,8	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	14
1,4	1,9	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	8
1,4	2	18620,41	3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 8	20
1,5	1	19221,92	13, 2, 1, 9, 6, 11, 4, 7, 10, 8, 0, 5, 12, 3	15
1,5	1,1	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	16
1,5	1,2	18620,41	3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 8	13
1,5	1,3	18748,72	8, 10, 7, 4, 11, 5, 0, 1, 2, 13, 9, 6, 3, 12	12
1,5	1,4	18246,91	8, 10, 7, 4, 11, 5, 0, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3	20
1,5	1,5	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	15

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1,5	1,6	17910,79	13, 2, 1, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	16
1,5	1,7	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	10
1,5	1,8	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	18
1,5	1,9	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	10
1,5	2	18917,77	3, 12, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 11, 6, 9, 13, 2, 1	18
1,6	1	17910,79	13, 2, 1, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	19
1,6	1,1	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	13
1,6	1,2	18511,35	5, 11, 4, 7, 10, 8, 0, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3	17
1,6	1,3	18510,15	11, 5, 0, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 8	19
1,6	1,4	18982,19	12, 3, 4, 7, 10, 8, 0, 5, 11, 6, 13, 9, 1, 2	15
1,6	1,5	18405,08	12, 3, 4, 7, 10, 8, 0, 5, 11, 6, 9, 13, 2, 1	11
1,6	1,6	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	13
1,6	1,7	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	16
1,6	1,8	17910,79	13, 2, 1, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	11
1,6	1,9	18158	11, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	11
1,6	2	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	9
1,7	1	18167,19	3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	15
1,7	1,1	18727,43	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 8, 0, 5, 11, 10, 7, 4	12
1,7	1,2	18158	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 8, 0, 5, 11	10
1,7	1,3	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	19
1,7	1,4	18223,23	8, 0, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5	11
1,7	1,5	18158	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 8, 0, 5, 11	15
1,7	1,6	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	12
1,7	1,7	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	10
1,7	1,8	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	11
1,7	1,9	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	9
1,7	2	18159	11, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	18
1,8	1	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	16
1,8	1,1	18246,91	8, 10, 7, 4, 11, 5, 0, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3	18
1,8	1,2	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	17
1,8	1,3	18962,4	13, 2, 1, 9, 6, 12, 3, 11, 5, 0, 8, 10, 7, 4	13
1,8	1,4	18609,37	7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 10, 11, 5, 0, 8	11
1,8	1,5	18491,01	8, 0, 5, 11, 4, 7, 10, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3	15
1,8	1,6	18629,65	1, 2, 13, 9, 6, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 5, 0, 8	17
1,8	1,7	18462,15	11, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 1, 2, 13	16
1,8	1,8	18158	11, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	11
1,8	1,9	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	12
1,8	2	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	11
1,9	1	18462,15	11, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 1, 2, 13	14
1,9	1,1	18365,27	8, 10, 11, 5, 0, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7	12

α	β	Jarak terpendek	Rute terpendek	Keterangan (berhenti pada iterasi ke-)
1,9	1,2	18917,77	3, 12, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 11, 6, 9, 13, 2, 1	14
1,9	1,3	18365,27	8, 10, 11, 5, 0, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7	11
1,9	1,4	18158	11, 5, 0, 8, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	11
1,9	1,5	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	12
1,9	1,6	18223,23	5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 0, 8	12
1,9	1,7	18223,23	5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1, 0, 8	13
1,9	1,8	18158	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 8, 0, 5, 11	10
1,9	1,9	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	14
1,9	2	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	11
2	1	18962,4	13, 2, 1, 9, 6, 12, 3, 11, 5, 0, 8, 10, 7, 4	15
2	1,1	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	13
2	1,2	18223,23	8, 0, 1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5	17
2	1,3	18846,96	3, 12, 6, 7, 4, 11, 10, 8, 0, 5, 9, 13, 2, 1	14
2	1,4	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	10
2	1,5	17910,79	13, 2, 1, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	13
2	1,6	17910,79	13, 2, 1, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	8
2	1,7	18962,4	13, 2, 1, 9, 6, 12, 3, 11, 5, 0, 8, 10, 7, 4	12
2	1,8	17606,64	8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1	8
2	1,9	19000,52	3, 12, 5, 0, 8, 10, 11, 4, 7, 6, 9, 13, 2, 1	12
2	2	17606,64	1, 2, 13, 9, 6, 12, 3, 4, 7, 10, 11, 5, 0, 8	10

Pada Tabel 4.14, ditemukan jarak terpendek yang dihasilkan adalah 17606,64 dengan rute terpendek 8, 0, 5, 11, 10, 7, 4, 3, 12, 6, 9, 13, 2, 1 pada iterasi ke 8. Di mana hal tersebut terjadi ketika pada saat nilai α sebesar 2 dan β sebesar 1,8.

4.4 Analisis Data

4.4.1 Uji Statistik

Pada uji statistik ini, akan menggunakan uji ANOVA jika data yang dihasilkan berdistribusi normal, tapi jika data berdistribusi tidak normal maka uji statistik akan menggunakan uji Kruskal Wallis. Uji statistik ini digunakan untuk

mengetahui seberapa pengaruh nilai α dan β pada pencarian rute terpendek yang dihasilkan oleh *ant system*.

1. Uji kenormalan data

Pengujian ini menggunakan uji normalitas lilliefors dengan hipotesis awal adalah

H_0 : Berdistribusi normal

H_1 : Berdistribusi tidak normal

Dengan,

Jika nilai $L_{hitung} < L_{tabel}$ maka H_0 diterima dan H_1 ditolak

Jika nilai $L_{hitung} > L_{tabel}$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima

Pada data graf pertama hasil pertama akan dibuat menjadi satu kolom untuk memudahkan pengujian. Selanjutnya akan dicari nilai rata-rata dan standar deviasinya, dimana didapatkan nilai rata-ratanya sebesar 34595,8 dan nilai standar deviasinya sebesar 590,7173. Berikutnya untuk mencari nilai Z

$$Z = \frac{Xi - \bar{X}}{S}$$

Di mana nilai $F(z)$ digunakan untuk menghitung distribusi kumulatif normal standar (CDF) dari Z . Sedangkan nilai $S(z)$ adalah pendekatan distribusi kumulatif empiris, yang diperoleh dengan membagi suatu nilai dengan total observasi.

Selanjutnya akan dicari nilai paling besar untuk $|F(z) - S(z)|$, dimana ditemukan 0,26424. Untuk mengetahui data tersebut normal atau tidak adalah dengan membandingkan dengan L_{tabel} , dimana L_{tabel} yang didapatkan dengan nilai $\alpha = 0,05$ adalah

$$\frac{0,886}{\sqrt{n}} = \frac{0,886}{\sqrt{121}} = \frac{0,886}{11} = 0,080545$$

Dari hasil tersebut didapatkan bahwa nilai L . hitung $> L$. Tabel, artinya H_0 ditolak dan H_1 diterima. Maka dapat disimpulkan bahwa data pada graf pertama hasil pertama adalah tidak normal. Perhitungan tersebut dilakukan kepada seluruh hasil yang diperoleh, maka akan didapatkan bahwa semua hasilnya merupakan data yang tidak normal.

2. Uji Kruskal Wallis

Pada uji Kruskal Wallis menggunakan SPSS ini dengan hipotesis awal adalah

H_0 : Tidak ada perbedaan signifikan

H_1 : Ada perbedaan signifikan

Di mana,

Jika nilai $p\text{-value} > 0,05$ maka H_0 diterima dan H_1 ditolak

Jika nilai $p\text{-value} < 0,05$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima

Pengujian akan dibagi menjadi dua, di mana untuk uji pertama adalah untuk menguji nilai α , kemudian setelah itu akan diuji untuk nilai β . Langkah pertama adalah dengan membuat kolom dari hasil graf pertama yang memuat nilai α dan β dari hasil pertama sampai ketiga. Input data akan dimasukkan ke dalam program SPSS untuk di uji Kruskal Wallis, maka akan didapatkan hasilnya sebagai berikut.

Test Statistics ^{a,b}						
	Jarak11	Jarak12	Jarak13	Jarak14	Jarak15	Jarak16
Kruskal-Wallis H	10.918	18.152	7.185	10.597	8.621	12.270
df	10	10	10	10	10	10
Asymp. Sig.	.364	.052	.708	.390	.568	.267

a. Kruskal Wallis Test
b. Grouping Variable: Model

Gambar 4.4 Hasil Uji Kruskal Wallis Graf Pertama

Test Statistics ^{a,b}						
	Jarak21	Jarak22	Jarak23	Jarak24	Jarak25	Jarak26
Kruskal-Wallis H	13.624	11.696	4.898	15.392	9.252	24.657
df	10	10	10	10	10	10
Asymp. Sig.	.191	.306	.898	.118	.508	.006

a. Kruskal Wallis Test
b. Grouping Variable: Model

Gambar 4.5 Hasil Uji Kruskal Wallis Graf Kedua

Test Statistics ^{a,b}						
	Jarak31	Jarak32	Jarak33	Jarak34	Jarak35	Jarak36
Kruskal-Wallis H	14.247	36.726	4.085	48.068	5.124	30.762
df	10	10	10	10	10	10
Asymp. Sig.	.162	.000	.943	.000	.883	.001

a. Kruskal Wallis Test
b. Grouping Variable: Model

Gambar 4.6 Hasil Uji Kruskal Wallis Graf Ketiga

Pada jarak bernomor ganjil, merupakan nilai α dan untuk yang bernilai genap adalah β , maka dari hasil uji Kruskal Wallis dapat disimpulkan bahwa:

- Berdasarkan hipotesis awal, karena nilai p-value $> 0,05$ maka H_0 diterima dan H_1 ditolak. Maka dapat disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan terhadap hasil yang dihasilkan oleh nilai α yang berbeda untuk Gambar 4.4 sampai 4.6 yang berbeda.
- Berdasarkan hipotesis awal, karena nilai p-value $> 0,05$ maka H_0 diterima dan H_1 ditolak. Maka dapat disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan terhadap hasil yang dihasilkan oleh nilai β yang berbeda untuk

Gambar 4.4, akan tetapi pada Gambar 4.5 dan 4.6 memiliki hasil yang berbeda. Di mana nilai $p\text{-value} < 0,05$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima, maka pada graf kedua pada hasil percobaan ketiga memiliki perbedaan yang signifikan. Begitu pula pada graf ketiga ini memiliki perbedaan yang signifikan untuk nilai β di semua percobaannya.

4.4.2 Pola Persebaran Rute Terpendek

Analisis dilakukan menggunakan *heatmap* di Excel guna membaca nilai persebaran dari rute terpendek, di mana nilai terendah menggunakan warna hijau dan nilai yang tertinggi menggunakan warna merah. Setelah itu, hasil dapat disimpulkan untuk setiap graf yang diuji. Berikut hasil dari untuk setiap graf.

1. Graf Pertama

Tabel 4.15 Jarak Rute Terpendek dari Graf Pertama Hasil Pertama

		β										
		1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
α	1	35430,4	34290,6	34094,2	34290,6	34290,6	34290,6	34303,6	34428,7	34067,9	34067,9	34341,1
	1,1	34067,9	34428,7	35814	35854,2	34428,7	34290,6	34290,6	34094,2	34802,4	34094,2	34067,9
	1,2	34745	34303,6	34234,5	34341,1	35361,3	34379,4	34234,5	34094,2	34094,2	34341,1	34486,9
	1,3	34094,2	35105,9	34094,2	36185,8	34766,5	34290,6	34776,1	33948,4	35105,9	34067,9	34094,2
	1,4	36131,9	35892	34967,8	34428,7	34428,7	34094,2	36181,2	34290,6	34290,6	34428,7	33948,4
	1,5	34428,7	34094,2	34303,6	34428,7	34341,1	34817,3	34067,9	34067,9	34341,1	34303,6	34802,4
	1,6	34428,7	35132,9	34525,2	36088,8	34067,9	34290,6	34428,7	34373,8	33948,4	34067,9	33948,4
	1,7	35930,7	35372,7	34664,4	34428,7	34428,7	34428,7	33948,4	33948,4	35376,9	34486,9	35558,4
	1,8	35136,9	34303,6	34303,6	34290,6	35132,9	34290,6	34303,6	34809,3	34341,1	34809,3	34341,1
	1,9	35769,9	34290,6	35764,1	34664,4	34428,7	34067,9	35376,9	34303,6	34290,6	35814	34094,2
	2	34967,8	34486,9	36080,6	35132,9	34379,4	34290,6	34834,9	35726,9	34303,6	34428,7	34303,6

Tabel 4.16 Jarak Rute Terpendek dari Graf Pertama Hasil Kedua

		β										
		1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
α	1	35846,4	34341,1	35108,4	35136,9	34715,3	34766,5	35372,7	34234,5	34428,7	33948,4	34290,6
	1,1	35846,4	34290,6	33948,4	35892	34664,4	34067,9	34303,6	34664,4	34234,5	34664,4	34094,2
	1,2	36667,1	35874,4	34664,4	35136,9	34341,1	34290,6	34341,1	34067,9	34428,7	34967,8	34373,8
	1,3	34234,5	34094,2	34094,2	34715,3	34766,5	34852,8	34664,4	34580,8	34486,9	34341,1	34715,3
	1,4	34290,6	35820,4	34428,7	34067,9	34428,7	34664,4	34379,4	34341,1	34745	34067,9	34290,6
	1,5	35195,7	34290,6	34373,8	35362	34967,8	35820,4	34290,6	34290,6	34094,2	35376,9	34428,7
	1,6	34341,1	34664,4	34290,6	33948,4	35976,4	34094,2	36333,9	34946,8	34967,8	33948,4	34290,6
	1,7	34664,4	34290,6	35136,9	34094,2	35479	34373,8	34428,7	35105,9	34664,4	33948,4	34721,6
	1,8	34094,2	34428,7	34379,4	35789,1	34094,2	34486,9	35908,5	34664,4	35233,4	34428,7	34860,4
	1,9	34664,4	34428,7	34715,3	34486,9	36561,5	34721,6	35462,4	35916,6	35105,9	34234,5	34341,1
	2	35739,3	34379,4	35738,6	35195,7	35791,2	34290,6	34094,2	34852,8	34428,7	34341,1	36561,5

Tabel 4.17 Jarak Rute Terpendek Dari Graf Pertama Hasil Ketiga

		β										
		1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
α	1	34303,6	34834,9	34094,2	34290,6	34067,9	34580,8	34428,7	33948,4	35006,3	34664,4	34486,9
	1,1	35026,4	33948,4	35644,7	35820,4	33948,4	34094,2	34303,6	35184,5	35132,9	34664,4	33948,4
	1,2	36181,2	35132,9	34766,5	34766,5	34290,6	33948,4	36377	33948,4	34094,2	34290,6	34664,4
	1,3	34486,9	33948,4	33948,4	34341,1	34715,3	34303,6	36061,4	34094,2	34290,6	34067,9	34967,8
	1,4	34234,5	34303,6	34745	35100,2	34303,6	34290,6	34067,9	34341,1	35988,9	34486,9	34664,4
	1,5	34817,3	34290,6	35005,6	35823,7	33948,4	34303,6	33948,4	34428,7	34290,6	34428,7	34721,6
	1,6	36222	36293	34428,7	34067,9	34290,6	34094,2	34234,5	34341,1	35159,6	34373,8	34486,9
	1,7	34525,2	34303,6	34580,8	34303,6	36470,6	34486,9	34303,6	34852,8	34721,6	34067,9	36889,4
	1,8	34290,6	34525,2	34486,9	34094,2	36842	34067,9	35132,9	35904	34486,9	34290,6	34303,6
	1,9	35788,2	34067,9	34379,4	33948,4	34290,6	34290,6	34094,2	34094,2	36080,6	34094,2	34341,1
	2	34852,8	34776,1	35100,2	34852,8	34428,7	35105,9	34303,6	34341,1	35539,4	35395,8	34303,6

Pada Tabel 4.15 sampai 4.17, jika dilihat dari pola persebaran warnanya untuk warna hijau atau nilai rute paling pendek, tidak memiliki pola persebaran yang berarti. Hal ini memiliki arti bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan dengan hasil rute terpendek yang dihasilkan oleh *ant system* pada graf pertama dengan probabilitas titik terhubung sebesar 0,3.

2. Graf Kedua

Tabel 4.18 Jarak Rute Terpendek Dari Graf Kedua Hasil Pertama

		β										
		1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
α	1	25261,8	26651,4	25456,3	24364,1	24425,6	24364,1	24897,1	24480,2	24035,3	25080,8	24470,2
	1,1	25598,5	25222,1	24895,3	24816,9	24749,1	24035,3	24364,1	24470,2	24035,3	24480,2	24470,2
	1,2	24749,1	25151	25580,8	24364,1	24470,2	24470,2	24425,6	24425,6	24470,2	24749,1	24749,1
	1,3	24470,2	25563	25205,6	25325,8	24364,1	25261,8	25220,8	24860,5	24444,3	25083,8	24425,6
	1,4	25261,5	24895,3	24444,3	24470,2	24364,1	24816,9	24897,1	24470,2	25201,8	24741,1	24444,3
	1,5	25041,5	24768,1	24935,4	24444,3	24364,1	25205,6	24941,2	24364,1	24897,1	24470,2	24364,1
	1,6	24935,4	24364,1	24749,1	24817	25854,4	24749,1	25220,8	24941,2	24470,2	25205,6	24444,3
	1,7	25219,2	25749,5	25261,8	25268,1	25205,6	24760,3	24035,3	24425,6	24741,1	24444,3	25051,2
	1,8	25761,1	24470,2	24364,1	24470,2	25598,5	24895,3	25536,5	24977,1	24816,9	24364,1	25080,8
	1,9	24470,2	25348	25941,7	26832,4	24470,2	26170,3	25521,3	25578,3	25375,2	25125,6	24470,2
	2	24364,1	24035,3	25080,8	25314,9	26593	24444,3	24897,1	24749,1	24364,1	24035,3	24480,2

Tabel 4.19 Jarak Rute Terpendek Dari Graf Kedua Hasil Kedua

		β										
		1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
α	1	25205,6	25775,1	25722,3	24364,1	24480,2	24860,5	24364,1	24860,5	24935,4	24035,3	24364,1
	1,1	24741,1	24887,5	24035,3	24470,2	24986	24749,1	24470,2	24444,3	24364,1	24749,1	24035,3
	1,2	24860,5	24364,1	24749,1	25151	24444,3	24480,2	24760,3	24035,3	24470,2	24816,9	24035,3
	1,3	24470,2	25941,7	24741,1	24364,1	24470,2	24480,2	24935,4	24749,1	24986	24470,2	24364,1
	1,4	25041,5	24425,6	25130,5	24760,3	24364,1	25636,2	24364,1	24480,2	24749,1	24364,1	24364,1
	1,5	25587,9	26700,9	24470,2	24749,1	25201,8	24444,3	24741,1	24035,3	25339,1	24749,1	24749,1
	1,6	25339,3	26643,6	24470,2	24860,5	24831,9	24035,3	24749,1	24035,3	24364,1	24364,1	24364,1
	1,7	24760,3	24364,1	24414,7	26178,3	24364,1	24364,1	25083,8	24749,1	24364,1	24035,3	24470,2
	1,8	24363,1	24480,2	24444,3	24480,2	24977,1	25339,3	24749,1	24035,3	25431,8	24364,1	24364,1
	1,9	24749,1	24470,2	24480,2	24749,1	25041,5	24425,6	24470,2	25256,1	24035,3	24470,2	24895,3
	2	24364,1	24816,9	24364,1	24749,1	24760,3	24364,1	25138,8	24444,3	24035,3	24470,2	24895,3

Tabel 4.20 Jarak Rute Terpendek Dari Graf Kedua Hasil Ketiga

		β										
		1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
α	1	25914,2	25375,2	25201,8	24831,9	24749,1	24470,2	24935,4	25578,3	24364,1	24470,2	25080,8
	1,1	25216,6	26240,5	25348	25546,7	24860,5	24986	24816,9	24035,3	24364,1	24035,3	24444,3
	1,2	25513,4	24035,3	24768,1	24933	25041,5	25261,7	24470,2	24741,1	24444,3	24470,2	24470,2
	1,3	24364,1	24035,3	25041,5	24470,2	24364,1	24480,2	24364,1	24035,3	24470,2	25388,1	24741,1
	1,4	24816,9	25093,9	24364,1	25269,4	24749,1	24364,1	24364,1	25205,6	24444,3	24816,9	24749,1
	1,5	25456,3	25080,8	24760,3	24470,2	24816,9	25130,5	24364,1	24035,3	24444,3	25587,9	24364,1
	1,6	25093,9	26339,6	24444,3	26082,5	24444,3	25041,5	24364,1	24933	25055,6	24933	24749,1
	1,7	25593,9	25339,3	24768,1	24749,1	24425,6	25636,1	24768,1	24831,9	24364,1	24470,2	24364,1
	1,8	24470,2	24364,1	24749,1	25041,5	24444,3	25782,4	24470,2	24035,3	24035,3	24364,1	25219,2
	1,9	25216,6	25392,1	24831,9	25446,8	24897,1	24768,1	24760,3	24035,3	24933	24035,3	24364,1
	2	25269,4	25080,8	25507,3	24364,1	24470,2	24035,3	24444,3	24935,4	24749,1	24364,1	24364,1

Pada Tabel 4.18 sampai 4.20, jika dilihat dari pola persebaran warnanya untuk warna hijau atau nilai rute paling pendek, tidak memiliki pola persebaran yang berarti. Hal ini memiliki arti bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan dengan hasil rute terpendek yang dihasilkan oleh *ant system* pada graf pertama dengan probabilitas titik terhubung sebesar 0,6.

3. Graf Ketiga

Tabel 4.21 Jarak Rute Terpendek Dari Graf Ketiga Hasil Pertama

		β										
		1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
α	1	19090,1	19555,4	18808,4	18158	17606,6	18223,2	17606,6	18233,2	17910,8	17606,6	17606,6
	1,1	18629,7	17606,6	17910,8	18158	17606,6	17910,8	17606,6	17606,6	17606,6	17606,6	17606,6
	1,2	19425,3	18727,4	17606,6	18825,7	17606,6	17606,6	17910,8	18158	18158	18158	18167,2
	1,3	17910,8	18223,2	18246,9	18629,6	17606,6	17606,6	18658,3	17606,6	17606,6	17910,8	17606,6
	1,4	18718,6	18536,1	17606,6	17606,6	18847	18847	17606,6	17910,8	17606,6	17606,6	17606,6
	1,5	18333,8	18167,2	18727,4	18158	17606,6	17606,6	17910,8	17606,6	18183,7	17606,6	18405,1
	1,6	19153,3	18511,4	18917,3	19221,9	18246,9	19444,9	17606,6	18158	17606,6	17606,6	18183,8
	1,7	19434,7	18246,9	18158	19304,7	18727,4	17606,6	17606,6	17606,6	18246,9	18246,9	17606,6
	1,8	18223,2	19512,3	19027,4	18246,9	17606,6	18727,4	17606,6	18158	17606,6	17606,6	17606,6
	1,9	19104,4	19499,9	17606,6	17606,6	18167,2	17606,6	17606,6	18789,7	17606,6	17606,6	18405,1
	2	18905,4	19093,7	18491	17910,8	18992,8	18905,4	18511,4	18629,6	18246,9	17606,6	18560,2

Tabel 4.22 Jarak Rute Terpendek Dari Graf Ketiga Hasil Kedua

		β										
		1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
α	1	20026,4	19310,9	19360,7	18884,9	18882,6	17606,6	18158	17606,6	17606,6	18629,7	17606,6
	1,1	18183,8	19185,5	18333,8	17606,6	18965,1	18808,4	18158	17606,6	17606,6	17606,6	17606,6
	1,2	18620,4	17910,8	18158	18462,2	18405,1	17910,8	17606,6	17606,6	17606,6	17910,8	17606,6
	1,3	19162,1	18405,1	17606,6	18158	18183,7	17606,6	19404,8	17606,6	18158	17606,6	18167,2
	1,4	19708,3	17606,6	18560,2	18158	18167,2	17606,6	18629,7	17606,6	18167,2	17606,6	17606,6
	1,5	17910,8	18560,2	19356,8	17910,8	17606,6	18510,2	18333,8	18365,3	17606,6	17606,6	17606,6
	1,6	18560,2	18669	17606,6	18678,6	18223,2	17606,6	18462,1	17606,6	17606,6	17606,6	17606,6
	1,7	19420	18405,1	18223,2	17606,6	18158	18246,9	17606,6	17606,6	17606,6	17606,6	18365,3
	1,8	19000,5	18997,2	17606,6	18847	18183,8	19038,6	17606,6	18158	17606,6	18223,2	17606,6
	1,9	18840	18183,7	18718,6	19030,9	17606,6	17910,8	18405,1	17606,6	17606,6	18536,1	17606,6
	2	19038,6	18536,1	18669	18678,6	18511,4	17606,6	18246,9	18246,9	17606,6	17606,6	17606,6

Tabel 4.23 Jarak Rute Terpendek Dari Graf Ketiga Hasil Ketiga

		β										
		1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
α	1	19380,8	19332,3	19151,1	18929,1	17606,6	17606,6	17606,6	17606,6	18629,6	17606,6	18789,7
	1,1	18909,6	18897,5	17910,8	17910,8	17606,6	18510,2	17606,6	17606,6	17606,6	17606,6	17606,6
	1,2	19304,5	19553,2	18881,8	17606,6	18365,3	18246,9	17910,8	17606,6	17606,6	17606,6	18223,2
	1,3	19567,9	18808,4	18333,8	18223,2	17606,6	17606,6	17606,6	17606,6	17606,6	18223,2	17606,6
	1,4	18727,4	18365,3	19112,5	18158	18658,3	17606,6	18992,8	17910,8	17606,6	17606,6	18620,4
	1,5	19221,9	17606,6	18620,4	18748,7	18246,9	17606,6	17910,8	17606,6	17606,6	17606,6	18917,8
	1,6	17910,8	17606,6	18511,4	18510,1	18982,2	18405,1	17606,6	17606,6	17910,8	18158	17606,6
	1,7	18167,2	18727,4	18158	17606,6	18223,2	18158	17606,6	17606,6	17606,6	17606,6	18159
	1,8	17606,6	18246,9	17606,6	18962,4	18609,4	18491	18629,7	18462,1	18158	17606,6	17606,6
	1,9	18462,1	18365,3	18917,8	18365,3	18158	17606,6	18223,2	18223,2	18158	17606,6	17606,6
	2	18962,4	17606,6	18223,2	18847	17606,6	17910,8	17910,8	18962,4	17606,6	19000,5	17606,6

Pada Tabel 4.21 sampai 4.23, jika dilihat dari pola persebaran warnanya untuk warna hijau atau nilai rute paling pendek, lebih condong ke kanan. Hal ini memiliki arti bahwa nilai β pada graf ketiga ini memiliki perbedaan yang signifikan dengan hasil rute terpendek yang dihasilkan oleh *ant system* pada graf ketiga dengan probabilitas titik terhubung sebesar 0,9.

4.5 Kajian Penelitian dalam Perspektif Islam

Penelitian mengenai dampak perubahan tetapan pengendali intensitas feromon dan visibilitas terhadap rute terpendek yang dihasilkan oleh *ant system* memiliki keterkaitan erat dengan konsep kesempurnaan penciptaan Allah yang dijelaskan dalam Al-Qur'an. Salah satu ayat yang relevan dengan penelitian ini adalah Surat Al-Mulk ayat 3-4, di mana Allah menegaskan bahwa tidak ada cacat dalam ciptaan-Nya, dan manusia diajak untuk mengamati secara berulang-ulang agar menyadari keseimbangan serta keteraturan yang telah ditetapkan oleh-Nya:

Yang menciptakan tujuh langit berlapis-lapis. Tidak akan kamu lihat sesuatu yang tidak seimbang pada ciptaan Tuhan Yang Maha Pengasih. Maka lihatlah sekali lagi, adakah kamu lihat sesuatu yang cacat? (4) Kemudian ulangi pandangan(mu) sekali lagi (dan) sekali lagi, niscaya pandanganmu akan kembali kepadamu tanpa menemukan cacat dan ia (pandanganmu) dalam keadaan letih.” (QS. Al-Mulk: 3-4).

Ayat ini menunjukkan bahwa seluruh ciptaan Allah, baik yang ada di langit maupun di bumi, memiliki keteraturan yang sempurna. Tidak ada kesalahan dalam sistem yang telah Allah tetapkan, termasuk dalam mekanisme kehidupan makhluk kecil seperti semut yang menjadi inspirasi dalam penelitian ini.

Prinsip dasar *ant system* yang digunakan dalam penelitian ini meniru perilaku semut dalam mencari jalur optimal menuju sumber makanan. Semut secara alami mengandalkan feromon sebagai sinyal komunikasi dan menggunakan faktor visibilitas untuk mempertimbangkan jarak dalam menentukan jalur yang lebih efisien. Mekanisme ini menunjukkan bahwa Allah telah menganugerahkan makhluk sekecil semut dengan sistem navigasi cerdas yang mampu mencari rute terpendek tanpa perlu algoritma buatan manusia.

Dalam hadits juga disebutkan bahwa semut adalah makhluk yang diberi kemampuan luar biasa oleh Allah. Rasulullah SAW bersabda:

عَنْ عُمَرَ بْنِ الْخَطَّابِ - رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُ - عَنِ النَّبِيِّ - صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ - قَالَ ((لَوْ أَنَّكُمْ تَوَكَّلُونَ عَلَى اللَّهِ حَقَّ تَوَكُّلِهِ لَرَزَقَكُمْ كَمَا يَرْزُقُ الطَّيْرَ ، تَغْدُو خِمَاصًا ، وَتَرُوحُ بِطَانًا)) رَوَاهُ الْإِمَامُ أَحْمَدُ وَالتِّرْمِذِيُّ وَالتَّسَائِيُّ وَابْنُ مَاجَهَ وَابْنُ حِبَّانَ فِي "صَحِيحِهِ" وَ"الْحَاكِمُ" ، وَقَالَ التِّرْمِذِيُّ : حَسَنٌ صَحِيحٌ

"Seandainya kalian bertawakal kepada Allah dengan sebenar-benar tawakal, niscaya Dia akan memberi rezeki kepada kalian sebagaimana Dia memberi rezeki kepada burung. Burung pergi di pagi hari dalam keadaan lapar dan pulang di sore hari dalam keadaan kenyang." (HR. At-Tirmidzi, no. 2344, Ahmad 1/30, Ibnu Majah, no. 4164)

Hadits ini mengajarkan bahwa makhluk kecil seperti burung dan semut pun telah diberi sistem yang sempurna oleh Allah untuk bertahan hidup. Semut menggunakan feromon untuk mencari makanan dengan metode optimal, sementara burung mencari makanan dengan tawakal. Prinsip ini juga berlaku dalam ilmu optimasi, di mana kita meniru mekanisme yang telah Allah tetapkan di alam agar dapat menyelesaikan permasalahan kompleks secara efisien.

Dalam *ant system*, algoritma terus memperbarui jalur terbaik melalui proses iterasi, di mana jalur yang lebih optimal semakin diperkuat oleh feromon yang ditinggalkan oleh semut. Proses ini mirip dengan konsep evaluasi berulang yang disebutkan dalam QS. Al-Mulk ayat 4, di mana Allah menyuruh manusia untuk mengamati kembali ciptaan-Nya agar semakin yakin akan kesempurnaan-Nya.

Selain itu, dalam Islam, proses perbaikan secara terus-menerus juga ditekankan dalam banyak ajaran, salah satunya dalam hadits:

مَنْ كَانَ يَوْمُهُ خَيْرًا مِنْ أَمْسِهِ فَهُوَ رَابِحٌ. وَمَنْ كَانَ يَوْمُهُ مِثْلَ أَمْسِهِ فَهُوَ مَعْبُودٌ. وَمَنْ كَانَ يَوْمُهُ شَرًّا مِنْ أَمْسِهِ فَهُوَ مَلْعُونٌ

"Orang yang hari ini lebih baik dari kemarin adalah orang yang beruntung. Orang yang hari ini sama seperti kemarin adalah orang yang merugi. Dan orang yang hari ini lebih buruk dari kemarin adalah orang yang celaka." (HR. Al-Hakim)

Konsep ini sesuai dengan iterasi dalam optimasi, di mana sistem harus selalu mengalami perbaikan dari waktu ke waktu agar menghasilkan solusi yang lebih baik. Sama seperti semut yang memperbaiki jalurnya dari waktu ke waktu, manusia juga diperintahkan untuk terus belajar dan meningkatkan kualitas hidupnya.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi dalam bidang optimasi rute dan kecerdasan buatan, tetapi juga membuktikan bahwa ilmu pengetahuan dapat diambil dari kaidah-kaidah yang telah Allah tetapkan dalam alam semesta. *ant system* merupakan salah satu contoh bagaimana manusia dapat meniru mekanisme alami untuk menciptakan solusi yang lebih efisien, sekaligus menyadari betapa luar biasanya sistem yang telah Allah ciptakan dalam kehidupan makhluk-Nya.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini berfokus pada kombinasi nilai $\alpha, \beta \in \{1,0, 1,1, 1,2, 1,3, 1,4, 1,5, 1,6, 1,7, 1,8, 1,9, 2,0\}$, dengan tiga graf yang masing-masing memiliki probabilitas keterhubungan titik yang berbeda. Setiap graf diuji sebanyak tiga kali untuk menghindari bias atau kebetulan data, sehingga diperoleh total 1.089 data rute terpendek. Data tersebut kemudian diuji menggunakan uji normalitas dan dianalisis lebih lanjut menggunakan uji Kruskal-Wallis untuk setiap nilai α dan β , guna menentukan apakah terdapat perbedaan signifikan dalam hasil yang diperoleh.

Pada graf pertama dengan nilai probabilitas 0,3, tidak ditemukan perbedaan yang signifikan pada hasil *ant system* untuk berbagai kombinasi nilai α dan β . Pada graf kedua dengan nilai probabilitas 0,6, nilai α tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan di setiap percobaan. Untuk nilai β , hasil pertama dan kedua juga tidak menunjukkan perbedaan signifikan, namun pada hasil ketiga ditemukan adanya perbedaan signifikan pada nilai β . Pada graf ketiga dengan nilai probabilitas 0,9, nilai α tetap tidak menunjukkan perbedaan signifikan di setiap hasilnya, sedangkan nilai β menunjukkan perbedaan signifikan di setiap hasilnya.

5.2 Saran untuk Penelitian Lanjutan

Penelitian ini menggunakan algoritma *ant system* dengan nilai $\alpha, \beta \in \{1,0, 1,1, 1,2, 1,3, 1,4, 1,5, 1,6, 1,7, 1,8, 1,9, 2,0\}$. Disarankan penelitian lanjutannya menggunakan nilai α dan β yang lebih bervariasi dengan interval yang lebih besar,

karena perbedaan yang lebih besar mungkin dapat mempengaruhi hasil dari rute terpendek yang dihasilkan. Penelitian ini juga menggunakan iterasi sampai dengan 20 pada pencarian rute terpendek. Disarankan penelitian selanjutnya untuk menggunakan iterasi yang lebih panjang. Penelitian ini menggunakan nilai yang relatif positif untuk semua variabel. Disarankan penelitian selanjutnya untuk menggunakan nilai variabel yang lebih beragam.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Mukhtashar. (2024). *Tafsir Web Surat Al-Mulk Ayat 3*. Available at: <https://tafsirweb.com/11031-surat-al-mulk-ayat-3.html> (Accessed: 15 October 2024).
- Al-Mukhtashar. (2024). *Tafsir Web Surat Al-Mulk Ayat 4*. Available at: <https://tafsirweb.com/11031-surat-al-mulk-ayat-3.html> (Accessed: 15 October 2024).
- Blum, C. (2005). Ant colony optimization: Introduction and recent trends. *Physics of Life Reviews*, 2(4), 353–373. <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2005.10.001>
- Botee, H. M., & Bonabeau, E. (1998). Evolving Ant Colony Optimization. *Advances in Complex Systems*, 01(02n03), 149–159. <https://doi.org/10.1142/s0219525998000119>
- Bullnheimer, B., Kotsis, G., & Strauß, C. (1998). *Parallelization Strategies for the Ant System*. 87–100.
- Chong, E. K. P., & Zak, S. H. (2013). *An Introduction To Optimization* (2nd ed.).
- Cohen, M. A., Cohen, H., Eisenbud, D., Singer, M. F., & Sturmfels, B. (2007). *Graphs, Networks and Algorithms*.
- Dorigo, M., Birrattari, M., & Stutzle, T. (2006). Ant Colony Optimization. *The Industrial Electronics Handbook - Five Volume Set*, 28–39. <https://doi.org/10.4249/scholarpedia.1461>
- Dorigo, M., & Blum, C. (2005). Ant colony optimization theory: A survey. *Theoretical Computer Science*, 344(2–3), 243–278. <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2005.05.020>
- Dorigo, M., Maniezzo, V., & Coloni, A. (1991). *Ant System : An Autocatalytic Optimizing Process*. 1–21.
- Dorigo, M., Maniezzo, V., Coloni, A., & IEEE. (1996). *Ant System : Optimization by a Colony of Cooperating Agents*. 26(1).
- Dorigo, M., Senior, M., IEEE, & Gambardella, L. M. (1997). Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem. *Computation*, 1(1), 53. <http://people.idsia.ch/~luca/acs-ec97.pdf>
- Dorigo, M., & Socha, K. (2006). *An Introduction to Ant Colony Optimization*. 1–19.
- Erdős, L., Knowles, A., Yau, H. T., & Yin, J. (2013). Spectral statistics of Erdos-Rényi graphs i: Local semicircle law. *Annals of Probability*, 41(3 B), 2279–

2375. <https://doi.org/10.1214/11-AOP734>

- Foong, W. K., Maier, H. R., & Simpson, A. R. (2005). Ant colony optimization for power plant maintenance scheduling optimization. *GECCO 2005 - Genetic and Evolutionary Computation Conference*, 249–256. <https://doi.org/10.1145/1068009.1068046>
- Gutjahr, W. J. (2000). *A Graph-based Ant System and its convergence*. 16, 873–888.
- Hidayatul Insan bi Tafsiril Qur'an. (2024). *Tafsir Web Surat Ar-Rahman Ayat 29*. <https://tafsirweb.com/1928-surat-al-maidah-ayat-44.html>
- Katiyar, S., Ibraheem, & Ansari, A. Q. (2015). *Ant Colony Optimization : A Tutorial Review*. August.
- Kementrian Agama, R. (2017). *Al-Quran dan Terjemahan dilengkapi Panduan Waqaf & Ibtida'*. PT. Suara Agung.
- Leal, W. S. (2005). *Pheromone Reception*. 1–36. <https://doi.org/10.1007/b98314>
- Lusiani, A., Sartika, E., Habinuddin, E., Binarto, A., & Azis, I. (2021). *Algoritma Prim dalam Penentuan Lintasan Terpendek dan Lintasan Tercepat pada Pendistribusian Logistik Bulog Jawa Barat*. 4–5.
- Marcos, H., Studi, P., & Informatika, T. (2017). *Mata Kuliah Dan Jadwal Asisten Study Kasus Forum Asisten*. 8(2), 825–832.
- Samudra, I. M. (2018). Feromon Serangga dan Aplikasinya untuk Pengendalian Serangga Hama. *Pemanfaatan SDG Dan Bioteknologi Untuk Mendukung Pertanian Berkelanjutan*, 481–496.
- Stiitzle, T., & Hoos, H. (1998). *Improvements on the Ant-System: Introducing the MAX-MIN Ant System*.
- Tafsir Al-Wajiz (2024). *Tafsir Web Surat Ar-Rahman Ayat 29*. Available at: <https://tafsirweb.com/1928-surat-al-maidah-ayat-44.html> (Accessed: 19 October 2024).
- Tafsir as-Sa'di (2024). *Tafsir Web Surat Ar-Rahman Ayat 29*. Available at: <https://tafsirweb.com/1928-surat-al-maidah-ayat-44.html> (Accessed: 19 October 2024).
- Watts, D. J., & Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of “small-world” networks. *Nature*, 393, 440–442.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Program Membuat Graf Berbobot Dan Menyimpannya

```
import networkx as nx
import matplotlib.pyplot as plt
import random
import pickle

# Parameter untuk G(n, p)
n = 14 # Jumlah simpul
p = 0.3 # Probabilitas koneksi

# Membuat graf menggunakan G(n, p)
G = nx.erdos_renyi_graph(n, p)

# Pastikan graf memiliki sisi
if G.number_of_edges() == 0:
    print("Graf kosong. Coba tingkatkan probabilitas (p).")
else:
    # Menambahkan bobot ke setiap sisi
    for (u, v) in G.edges():
        G[u][v]['weight'] = random.uniform(1000, 5000)

    # Menampilkan daftar bobot untuk setiap sisi
    print("Daftar bobot setiap sisi:")
    for (u, v, weight) in G.edges(data="weight"):
        print(f"Sisi ({u}, {v}) memiliki bobot: {weight:.2f}")

    # Visualisasi graf dengan bobot
    pos = nx.spring_layout(G, seed=1234)
    nx.draw(G, pos, with_labels=True, node_color="skyblue", node_size=1000, edge_color="gray")
    edge_labels = nx.get_edge_attributes(G, 'weight')
    plt.show()

# Menyimpan graf ke file menggunakan pickle
with open("G1.pkl", "wb") as file:
    pickle.dump(G, file)
print("Graf berhasil disimpan ke file 'G1.pkl'.")
```

Lampiran 2 Program Untuk Membuat Graf Matriks

```
import networkx as nx
import pickle
import numpy as np

# Memuat graf dari file menggunakan pickle
with open("G1.pkl", "rb") as file:
    loaded_graph = pickle.load(file)

# Membuat matriks berbobot dari graf
adj_matrix = nx.to_numpy_array(loaded_graph, weight="weight")

# Mengganti nilai 0 dengan np.inf kecuali pada diagonal
adj_matrix[adj_matrix == 0] = np.inf # Mengganti semua 0 menjadi inf
np.fill_diagonal(adj_matrix, 0)      # Mengembalikan nilai diagonal menjadi 0

# Menampilkan matriks berbobot
print("\nMatriks berbobot dengan nilai 0 diganti inf kecuali diagonal:")
print(adj_matrix)

# Menyimpan matriks berbobot ke file CSV
np.savetxt("graf1_matrix.csv", adj_matrix, delimiter=",", fmt="%.2f")
print("\nMatriks berbobot telah disimpan ke file 'graf1_matrix.csv'.")
```

Lampiran 3 Program Mencari Rute Terpendek Dengan Algoritma Ant System

```

import numpy as np
import pandas as pd

# Mengonversi DataFrame menjadi numpy array (mengasumsikan tanpa header tambahan)
distance_matrix = np.genfromtxt('graf1_matrix.csv', delimiter=',')

# Inisialisasi parameter
alpha = 2 # Pengaruh pheromone
beta = 2 # Pengaruh visibilitas
rho = 0.5 # Tingkat evaporasi pheromone
Q = 100 # Konstanta pheromone

# Inisialisasi pheromone awal
pheromone = np.ones((num_nodes, num_nodes))

# Menghitung visibilitas (1/jarak) dengan menghindari nilai inf
visibility = np.where(distance_matrix != np.inf, 1 / distance_matrix, 0)

# Fungsi untuk menghitung probabilitas pemilihan jalur
def calculate_probabilities(pheromone, visibility, current_node, visited):
    probabilities = np.zeros(num_nodes)
    valid_nodes = []

    for j in range(num_nodes):
        if j not in visited and distance_matrix[current_node][j] != np.inf:
            probabilities[j] = (pheromone[current_node][j] ** alpha) * (visibility[current_node][j] ** beta)
            valid_nodes.append(j)

    total = np.sum(probabilities)
    if total > 0:
        probabilities /= total

    if total > 0:
        probabilities /= total
    else:
        probabilities = np.zeros(num_nodes)

    return probabilities, valid_nodes

# Algoritma Ant System
def ant_colony_optimization(num_ants=14, num_iterations=20):
    global pheromone
    best_route = None
    best_length = float('inf')

    for iteration in range(num_iterations):
        all_routes = []
        all_lengths = []

        for ant in range(num_ants):
            current_node = np.random.randint(num_nodes)
            visited = [current_node]
            length = 0

            while len(visited) < num_nodes:
                probabilities, valid_nodes = calculate_probabilities(pheromone, visibility, current_node, visited)
                if len(valid_nodes) == 0:
                    # Jika tidak ada pilihan, cari node yang belum dikunjungi dengan koneksi terpendek
                    unvisited = [node for node in range(num_nodes) if node not in visited]
                    if unvisited:
                        next_node = min(unvisited, key=lambda node: distance_matrix[current_node][node])
                    else:
                        break # Jika tidak ada lagi yang bisa dikunjungi, berhenti
                else:
                    # Pilih node berdasarkan probabilitas
                    next_node = np.random.choice(valid_nodes, p=probabilities)
                    length += distance_matrix[current_node][next_node]
                    visited.append(next_node)
                    current_node = next_node

            all_routes.append(visited)
            all_lengths.append(length)

        # Update pheromone
        for i in range(num_nodes):
            for j in range(num_nodes):
                pheromone[i][j] = rho * pheromone[i][j] + Q / all_lengths[i]

        # Simpan rute terbaik
        if min(all_lengths) < best_length:
            best_length = min(all_lengths)
            best_route = all_routes[all_lengths.index(min(all_lengths))]

    return best_route, best_length

```



```

        else:
            break # Jika tidak ada lagi yang bisa dikunjungi, berhenti
    else:
        next_node = np.random.choice(valid_nodes, p=probabilities[valid_nodes] / np.sum(probabilities[valid_nodes]))
        length += distance_matrix[current_node][next_node]
        visited.append(next_node)
        current_node = next_node

    all_routes.append(visited)
    all_lengths.append(length)

# Memperbarui pheromone
pheromone *= (1 - rho) # Evaporasi pheromone
for i in range(num_ants):
    for j in range(len(all_routes[i]) - 1):
        pheromone[all_routes[i][j]][all_routes[i][j+1]] += Q / all_lengths[i]

# Menyimpan rute terbaik
min_length = min(all_lengths)
if min_length < best_length:
    best_length = min_length
    best_route = all_routes[all_lengths.index(min_length)]

print(f"Iterasi {iteration+1}: Rute terbaik {[int(node) for node in best_route]} dengan panjang {best_length}")

return best_route, best_length

# Menjalankan algoritma
best_route, best_length = ant_colony_optimization()
print("Rute terbaik yang ditemukan:", list(map(int, best_route)))
print("Panjang rute terbaik:", best_length)

```

Lampiran 4 Perhitungan Uji Normalisasi

	X	Z	$F(z)$	$S(z)$	$ F(z) - S(z) $
1	33948,38	-1,096	0,13654	0,049587	0,086953
2	33948,38	-1,096	0,13654	0,049587	0,086953
3	33948,38	-1,096	0,13654	0,049587	0,086953
4	33948,38	-1,096	0,13654	0,049587	0,086953
5	33948,38	-1,096	0,13654	0,049587	0,086953
6	33948,38	-1,096	0,13654	0,049587	0,086953
7	34067,89	-0,89368	0,185746	0,132231	0,053514
8	34067,89	-0,89368	0,185746	0,132231	0,053514
9	34067,89	-0,89368	0,185746	0,132231	0,053514
10	34067,89	-0,89368	0,185746	0,132231	0,053514
11	34067,89	-0,89368	0,185746	0,132231	0,053514
12	34067,89	-0,89368	0,185746	0,132231	0,053514
13	34067,89	-0,89368	0,185746	0,132231	0,053514
14	34067,89	-0,89368	0,185746	0,132231	0,053514
15	34067,89	-0,89368	0,185746	0,132231	0,053514
16	34067,89	-0,89368	0,185746	0,132231	0,053514
17	34094,22	-0,84911	0,19791	0,22314	0,025231
18	34094,22	-0,84911	0,19791	0,22314	0,025231
19	34094,22	-0,84911	0,19791	0,22314	0,025231
20	34094,22	-0,84911	0,19791	0,22314	0,025231
21	34094,22	-0,84911	0,19791	0,22314	0,025231
22	34094,22	-0,84911	0,19791	0,22314	0,025231
23	34094,22	-0,84911	0,19791	0,22314	0,025231
24	34094,22	-0,84911	0,19791	0,22314	0,025231

25	34094,22	-0,84911	0,19791	0,22314	0,025231
26	34094,22	-0,84911	0,19791	0,22314	0,025231
27	34094,22	-0,84911	0,19791	0,22314	0,025231
28	34234,5	-0,61164	0,270389	0,239669	0,03072
29	34234,5	-0,61164	0,270389	0,239669	0,03072
30	34290,63	-0,51662	0,302712	0,363636	0,060924
31	34290,63	-0,51662	0,302712	0,363636	0,060924
32	34290,63	-0,51662	0,302712	0,363636	0,060924
33	34290,63	-0,51662	0,302712	0,363636	0,060924
34	34290,63	-0,51662	0,302712	0,363636	0,060924
35	34290,63	-0,51662	0,302712	0,363636	0,060924
36	34290,63	-0,51662	0,302712	0,363636	0,060924
37	34290,63	-0,51662	0,302712	0,363636	0,060924
38	34290,63	-0,51662	0,302712	0,363636	0,060924
39	34290,63	-0,51662	0,302712	0,363636	0,060924
40	34290,63	-0,51662	0,302712	0,363636	0,060924
41	34290,63	-0,51662	0,302712	0,363636	0,060924
42	34290,63	-0,51662	0,302712	0,363636	0,060924
43	34290,63	-0,51662	0,302712	0,363636	0,060924
44	34290,63	-0,51662	0,302712	0,363636	0,060924
45	34303,57	-0,49471	0,310402	0,446281	0,135879
46	34303,57	-0,49471	0,310402	0,446281	0,135879
47	34303,57	-0,49471	0,310402	0,446281	0,135879
48	34303,57	-0,49471	0,310402	0,446281	0,135879
49	34303,57	-0,49471	0,310402	0,446281	0,135879
50	34303,57	-0,49471	0,310402	0,446281	0,135879
51	34303,57	-0,49471	0,310402	0,446281	0,135879
52	34303,57	-0,49471	0,310402	0,446281	0,135879
53	34303,57	-0,49471	0,310402	0,446281	0,135879
54	34303,57	-0,49471	0,310402	0,446281	0,135879
55	34341,07	-0,43123	0,333151	0,504132	0,170981
56	34341,07	-0,43123	0,333151	0,504132	0,170981
57	34341,07	-0,43123	0,333151	0,504132	0,170981
58	34341,07	-0,43123	0,333151	0,504132	0,170981
59	34341,07	-0,43123	0,333151	0,504132	0,170981
60	34341,07	-0,43123	0,333151	0,504132	0,170981
61	34341,07	-0,43123	0,333151	0,504132	0,170981
62	34373,81	-0,3758	0,353531	0,512397	0,158866
63	34379,39	-0,36636	0,357049	0,528926	0,171877
64	34379,39	-0,36636	0,357049	0,528926	0,171877
65	34428,73	-0,28283	0,388653	0,652893	0,26424
66	34428,73	-0,28283	0,388653	0,652893	0,26424
67	34428,73	-0,28283	0,388653	0,652893	0,26424

68	34428,73	-0,28283	0,388653	0,652893	0,26424
69	34428,73	-0,28283	0,388653	0,652893	0,26424
70	34428,73	-0,28283	0,388653	0,652893	0,26424
71	34428,73	-0,28283	0,388653	0,652893	0,26424
72	34428,73	-0,28283	0,388653	0,652893	0,26424
73	34428,73	-0,28283	0,388653	0,652893	0,26424
74	34428,73	-0,28283	0,388653	0,652893	0,26424
75	34428,73	-0,28283	0,388653	0,652893	0,26424
76	34428,73	-0,28283	0,388653	0,652893	0,26424
77	34428,73	-0,28283	0,388653	0,652893	0,26424
78	34428,73	-0,28283	0,388653	0,652893	0,26424
79	34428,73	-0,28283	0,388653	0,652893	0,26424
80	34486,91	-0,18434	0,426872	0,677686	0,250813
81	34486,91	-0,18434	0,426872	0,677686	0,250813
82	34486,91	-0,18434	0,426872	0,677686	0,250813
83	34525,23	-0,11947	0,452451	0,68595	0,2335
84	34664,41	0,11614	0,546229	0,702479	0,15625
85	34664,41	0,11614	0,546229	0,702479	0,15625
86	34745,01	0,252584	0,599705	0,710744	0,111039
87	34766,5	0,288964	0,613695	0,719008	0,105313
88	34776,07	0,305164	0,61988	0,727273	0,107393
89	34802,4	0,349737	0,636732	0,743802	0,10707
90	34802,4	0,349737	0,636732	0,743802	0,10707
91	34809,27	0,361367	0,641088	0,760331	0,119243
92	34809,27	0,361367	0,641088	0,760331	0,119243
93	34817,32	0,374995	0,646168	0,768595	0,122427
94	34834,85	0,404671	0,65714	0,77686	0,119719
95	34967,75	0,629651	0,735539	0,793388	0,05785
96	34967,75	0,629651	0,735539	0,793388	0,05785
97	35105,85	0,863435	0,806051	0,809917	0,003867
98	35105,85	0,863435	0,806051	0,809917	0,003867
99	35132,92	0,90926	0,818394	0,834711	0,016317
100	35132,92	0,90926	0,818394	0,834711	0,016317
101	35132,92	0,90926	0,818394	0,834711	0,016317
102	35136,91	0,916015	0,82017	0,842975	0,022805
103	35361,3	1,295875	0,902491	0,85124	0,051251
104	35372,69	1,315157	0,905771	0,859504	0,046267
105	35376,89	1,322267	0,90696	0,876033	0,030927
106	35376,89	1,322267	0,90696	0,876033	0,030927
107	35430,37	1,412801	0,921143	0,884298	0,036845
108	35558,35	1,629453	0,948391	0,892562	0,055829
109	35726,85	1,914699	0,972235	0,900826	0,071408
110	35764,11	1,977775	0,976023	0,909091	0,066932

111	35769,89	1,98756	0,97657	0,917355	0,059214
112	35814,03	2,062282	0,98041	0,933884	0,046525
113	35814,03	2,062282	0,98041	0,933884	0,046525
114	35854,2	2,130285	0,983426	0,942149	0,041277
115	35892,02	2,194308	0,985893	0,950413	0,03548
116	35930,73	2,259839	0,988084	0,958678	0,029407
117	36080,63	2,513598	0,994025	0,966942	0,027083
118	36088,84	2,527497	0,994256	0,975207	0,019049
119	36131,94	2,600459	0,995345	0,983471	0,011874
120	36181,24	2,683917	0,996362	0,991736	0,004626
121	36185,78	2,691602	0,996445	1	0,003555

RIWAYAT HIDUP



Daniel Fais Bil Nadzari lahir di Blitar pada tanggal 5 Desember 2002. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara, putra dari pasangan Bapak Dwi Atmoko dan Ibu Yusningsih. Pendidikan formal penulis dimulai di TK Pertiwi Rejowinangun dan diselesaikan pada tahun 2009. Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan di SDN 02 Rejowinangun dan lulus pada tahun 2015. Pendidikan jenjang menengah pertama ditempuh di SMPN 02 Kademangan dan diselesaikan pada tahun 2018. Selanjutnya, penulis melanjutkan ke jenjang menengah atas di SMAN 01 Sutojayan dan lulus pada tahun 2021. Pada tahun yang sama, penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang dengan memilih Program Studi Matematika pada Fakultas Sains dan Teknologi. Selama menjalani masa perkuliahan, penulis aktif dalam berbagai kegiatan, baik akademik maupun non-akademik. Penulis pernah menjadi anggota himpunan mahasiswa Program Studi Matematika serta terlibat dalam berbagai kepanitiaan kegiatan kampus, yang memberikan pengalaman berharga dalam hal organisasi dan manajemen acara. Selain itu, penulis juga mengikuti berbagai seminar dan pelatihan, baik di lingkungan kampus maupun di luar kampus, guna memperluas wawasan serta meningkatkan kemampuan akademik dan profesional. Penulis juga memiliki pengalaman Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Badan Perencanaan Pembangunan, Penelitian, dan Pengembangan Daerah (Bappelitbangda) Kota Batu. Melalui kegiatan ini, penulis memperkuat keterampilan dalam bidang analisis data dan perencanaan pembangunan daerah. Selama menjalani praktik, penulis berperan dalam pengolahan data statistik, penyusunan laporan, serta melakukan observasi langsung terhadap proses perumusan kebijakan, yang semakin mempertajam kemampuan penulis dalam mengaplikasikan ilmu matematika terhadap persoalan nyata di bidang pemerintahan dan pembangunan.



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 : Daniel Fais Bil Nadzari
NIM : 210601110093
Fakultas / Jurusan : Sains dan Teknologi / Matematika
Judul Skripsi : Dampak Perubahan Tetapan Pengendali Intensitas Feromon dan Visibilitas terhadap Rute Terpendek yang Dihasilkan oleh *Ant System*
Pembimbing I : Mohammad Nafie Jauhari, M.Si.
Pembimbing II : Abdul Aziz, M.Si.

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	25 September 2024	Konsultasi Topik dan Data	1.
2.	30 September 2024	Konsultasi Bab I, II, dan III	2.
3.	03 Oktober 2024	Konsultasi Bab I, II, dan III	3.
4.	07 Oktober 2024	Konsultasi Bab I, II, dan III	4.
5.	09 Oktober 2024	Konsultasi Kajian Agama Bab I dan II	5.
6.	11 Oktober 2024	Konsultasi Bab I, II, dan III	6.
7.	16 Oktober 2024	Konsultasi Bab I, II, dan III	7.
8.	04 November 2024	ACC Kajian Agama Bab I dan II	8.
9.	13 November 2024	ACC Bab I, II, dan III	9.
10.	13 November 2024	ACC Seminar Proposal	10.
11.	06 Januari 2025	Konsultasi Revisi Seminar Proposal	11.
12.	10 Januari 2025	Konsultasi Bab IV dan V	12.
13.	16 Januari 2025	Konsultasi Bab IV dan V	13.
14.	24 Januari 2025	Konsultasi Bab IV dan V	14.
15.	18 Februari 2025	Konsultasi Bab IV dan V	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

16.	06 Maret 2025	Konsultasi Bab IV dan V	16. 16.
17.	13 Maret 2025	ACC Bab IV dan V	17. 17.
18.	14 Maret 2025	Konsultasi Kajian Agama Bab IV	18. 18.
19.	19 Maret 2025	ACC Kajian Agama Bab IV	19. 19.
20.	19 Maret 2025	ACC Seminar Hasil	20. 20.
21.	28 April 2025	Konsultasi Revisi Seminar Hasil	21. 21.
22.	05 Mei 2025	Konsultasi Revisi Seminar Hasil	22. 22.
23.	07 Mei 2025	ACC Sidang Skripsi	23. 23.
24.	22 Mei 2025	ACC Keseluruhan	24. 24.

Malang, 22 Mei 2025

Mengetahui,

Ketua Program Studi Matematika

Dr. Elly Susanti, M.Sc.

NIP. 19741129 200012 2 005