

**IMPLEMENTASI ALGORITMA *ANT COLONY OPTIMIZATION*  
UNTUK MENENTUKAN RUTE TERPENDEK  
DESTINASI WISATA BANYUWANGI**

**SKRIPSI**

**OLEH  
OKMI KLIWEN INDRAWATI  
NIM. 18610084**



**PROGRAM STUDI MATEMATIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2022**

**IMPLEMENTASI ALGORITMA *ANT COLONY OPTIMIZATION*  
UNTUK MENENTUKAN RUTE TERPENDEK  
DESTINASI WISATA BANYUWANGI**

**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  
Okmi Kliwen Indrawati  
NIM. 18610084**

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2022**

**IMPLEMENTASI ALGORITMA *ANT COLONY OPTIMIZATION*  
UNTUK MENENTUKAN RUTE TERPENDEK  
DESTINASI WISATA BANYUWANGI**

**SKRIPSI**

**Oleh  
Okmi Kliwen Indrawati  
NIM. 18610084**

Telah Diperiksa dan Disetujui Untuk Diuji  
Malang, 17 Juni 2022

Dosen Pembimbing I



Hisyam Fahmi, M.Kom  
NIP. 19890727 201903 1 018

Dosen Pembimbing II



Ari Kusumastuti, M.Pd., M.Si  
NIP. 19770521 200501 2 004

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Matematika



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

**IMPLEMENTASI ALGORITMA *ANT COLONY OPTIMIZATION*  
UNTUK MENENTUKAN RUTE TERPENDEK  
DESTINASI WISATA BANYUWANGI**

**SKRIPSI**

**Oleh  
Okmi Kliwen Indrawati  
NIM. 18610084**

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi  
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)  
Tanggal 24 Juni 2022

Ketua Penguji : Juhari, M.Si



Anggota Penguji I : Intan Nisfulaila, M.Si



Anggota Penguji II : Hisyam Fahmi, M.Kom



Anggota Penguji III : Ari Kusumastuti, M.Pd., M.Si



Mengetahui,  
Ketua Program Studi Matematika



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

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Okmi Kliwen Indrawati

NIM : 18610084

Jurusan : Matematika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Skripsi : Implementasi Algoritma *Ant Colony Optimization* untuk  
Menentukan Rute Terpendek Destinasi Wisata Banyuwangi

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan dan pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 16 Juni 2022

Yang membuat pernyataan,



Okmi Kliwen Indrawati

NIM. 18610084

## MOTO

وَمَنْ يَتَّقِ اللَّهَ يَجْعَلْ لَهُ مَخْرَجًا وَيَرْزُقْهُ مِنْ حَيْثُ لَا يَحْتَسِبُ

*“Barangsiapa bertaqwa kepada Allah niscaya Dia akan mengadakan baginya jalan keluar. Dan memberinya rezeki dari arah yang tiada disangka-sangka”*

(QS. At-Tholaq/65:2-3)

## **PERSEMBAHAN**

Segala puji bagi Allah SWT, dengan segala kerendahan hati, skripsi ini penulis persembahkan untuk:

Ayah tercinta Bambang Eko Saryono dan ibu tercinta Muzawaroh yang senantiasa ikhlas mendo'akan, memberi nasihat dengan kasih sayang dan motivasi, adik tersayang Listya Suci Suryani, kakak-kakak tersayang Ika Putri Tresnaning dan Ali Gufron Kurniawan yang selalu memberi semangat bagi penulis untuk selalu menuntut ilmu.

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Implementasi Algoritma *Ant Colony Optimization* untuk Menentukan Rute Terpendek Destinasi Wisata Banyuwangi”. Shalawat serta salam kepada baginda Nabi Muhammad SAW yang telah menunjukkan dan membimbing kita dari zaman Jahiliah menuju zaman yang terang benderang.

Penyusunan skripsi ini ditujukan sebagai salah satu persyaratan dalam menyelesaikan program Sarjana Matematika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bimbingan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A., selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si, selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Elly Susanti, S.Pd., M.Sc, selaku Ketua Program Studi Matematika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Hisyam Fahmi, M.Kom, selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan arahan, bimbingan, motivasi, dan pengalaman yang berharga kepada penulis.
5. Ari Kusumastuti, M.Pd., M.Si, selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan, nasehat, semangat, dan pengalaman yang berharga kepada penulis.
6. Juhari, M.Si, selaku dosen penguji dalam ujian skripsi yang telah memberikan saran dan kritikan yang bermanfaat bagi penulis.
7. Intan Nisfulaila, M.Si, selaku dosen penguji dalam ujian skripsi yang telah memberikan saran dan kritikan yang bermanfaat bagi penulis.

8. Seluruh Dosen Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang atas segala ilmu dan bimbingannya.
9. Orang tua, keluarga dan sahabat yang selalu memberikan semangat dan do'a kepada penulis.
10. Seluruh mahasiswa Program Studi Matematika angkatan 2018 yang telah memberikan bantuan dan motivasi kepada penulis.

Semoga Allah SWT melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada kita semua. Selain itu, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Malang, 16 Juni 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGAJUAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN</b> .....	<b>v</b>
<b>MOTO</b> .....	<b>vi</b>
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xvi</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xviii</b>
<b>مستخلص البحث</b> .....	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
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 .....	6
<b>BAB II KAJIAN TEORI</b> .....	<b>8</b>
2.1 Teori Pendukung .....	8
2.1.1 Graf .....	8
2.1.2 Optimasi .....	11
2.1.3 <i>Traveling Salesman Problem (TSP)</i> .....	12
2.1.4 <i>Ant Colony Optimization (ACO)</i> .....	14
2.1.5 <i>Ant System (AS)</i> .....	16
2.1.6 Nilai Efektifitas .....	21
2.1.7 Destinasi Ekowisata Banyuwangi .....	21
2.2 Kajian Integrasi Topik dengan Al-Quran/Hadits .....	22
2.3 Kajian Topik dengan Teori Pendukung .....	26
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>29</b>
3.1 Jenis Penelitian .....	29
3.2 Tahapan Penelitian .....	29
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>34</b>
4.1 Deskripsi Data .....	34
4.2 Pemodelan Graf .....	36
4.3 Implementasi Algoritma <i>Ant Colony Optimization</i> .....	38
4.4 Evaluasi Hasil .....	104
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	<b>113</b>
5.1 Kesimpulan .....	113
5.2 Saran untuk Penelitian Lanjutan .....	114

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>115</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>118</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>129</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Lintasan Terpendek .....	12
Tabel 2.2	Nilai Parameter Algoritma <i>Ant Colony Optimization</i> .....	27
Tabel 4.1	Data Titik Destinasi Wisata .....	34
Tabel 4.2	Data Titik Lokasi Umum .....	35
Tabel 4.3	Probabilitas Semut ke-1 Antara Simpul N26 ke Simpul Lainnya .....	40
Tabel 4.4	Probabilitas Semut ke-1 Antara Simpul N27 ke Simpul Lainnya .....	42
Tabel 4.5	Probabilitas Semut ke-2 Antara Simpul N26 ke Simpul Lainnya .....	43
Tabel 4.6	Probabilitas Semut ke-3 Antara Simpul N26 ke Simpul Lainnya .....	45
Tabel 4.7	Probabilitas Semut ke-3 Antara Simpul N25 ke Simpul Lainnya .....	46
Tabel 4.8	Probabilitas Semut ke-4 Antara Simpul N26 ke Simpul Lainnya .....	48
Tabel 4.9	Probabilitas Semut ke-4 Antara Simpul N25 ke Simpul Lainnya .....	49
Tabel 4.10	Probabilitas Semut ke-4 Antara Simpul N24 ke Simpul Lainnya .....	51
Tabel 4.11	Probabilitas Semut ke-4 Antara Simpul N21 ke Simpul Lainnya .....	53
Tabel 4.12	Probabilitas Semut ke-4 Antara Simpul N20 ke Simpul Lainnya .....	54
Tabel 4.13	Probabilitas Semut ke-5 Antara Simpul N26 ke Simpul Lainnya .....	56
Tabel 4.14	Probabilitas Semut ke-5 Antara Simpul N27 ke Simpul Lainnya .....	57
Tabel 4.15	Probabilitas Semut ke-6 Antara Simpul N26 ke Simpul Lainnya .....	59
Tabel 4.16	Probabilitas Semut ke-6 Antara Simpul N25 ke Simpul Lainnya .....	61
Tabel 4.17	Probabilitas Semut ke-6 Antara Simpul N24 ke Simpul Lainnya .....	62
Tabel 4.18	Probabilitas Semut ke-6 Antara Simpul N23 ke Simpul Lainnya .....	64
Tabel 4.19	Probabilitas Semut ke-6 Antara Simpul N22 ke Simpul Lainnya .....	66
Tabel 4.20	Probabilitas Semut ke-6 Antara Simpul N30 ke Simpul Lainnya .....	68
Tabel 4.21	Probabilitas Semut ke-7 Antara Simpul N26 ke Simpul Lainnya .....	70
Tabel 4.22	Probabilitas Semut ke-7 Antara Simpul N25 ke Simpul Lainnya .....	71

Tabel 4.23	Probabilitas Semut ke-8 antara Simpul N26 ke Simpul Lainnya .....	73
Tabel 4.24	Probabilitas Semut ke-8 Antara Simpul N25 ke Simpul Lainnya .....	74
Tabel 4.25	Probabilitas Semut ke-8 Antara Simpul N24 ke Simpul Lainnya .....	76
Tabel 4.26	Probabilitas Semut ke-8 Antara Simpul N21 ke Simpul Lainnya .....	77
Tabel 4.27	Probabilitas Semut ke-8 Antara Simpul N20 ke Simpul Lainnya .....	79
Tabel 4.28	Probabilitas Semut ke-8 Antara Simpul N19 ke Simpul Lainnya .....	81
Tabel 4.29	Probabilitas Semut ke-8 Antara Simpul N18 ke Simpul Lainnya .....	83
Tabel 4.30	Probabilitas Semut ke-8 Antara Simpul N14 ke Simpul Lainnya .....	84
Tabel 4.31	Probabilitas Semut ke-8 Antara Simpul N12 ke Simpul Lainnya .....	86
Tabel 4.32	Probabilitas Semut ke-8 Antara Simpul N13 ke Simpul Lainnya .....	88
Tabel 4.33	Probabilitas Semut ke-8 Antara Simpul N11 ke Simpul Lainnya .....	90
Tabel 4.34	Probabilitas Semut ke-9 Antara Simpul N26 ke Simpul Lainnya .....	92
Tabel 4.35	Probabilitas Semut ke-9 Antara Simpul N25 ke Simpul Lainnya .....	93
Tabel 4.36	Probabilitas Semut ke-10 Antara Simpul N26 ke Simpul Lainnya .....	95
Tabel 4.37	Probabilitas Semut ke-11 Antara Simpul N26 ke Simpul Lainnya .....	97
Tabel 4.38	Rute Perjalanan Semut dan Perubahan Intensitas <i>Pheromone</i> ...	98
Tabel 4.39	Harga Pembaruan Intensitas <i>Pheromone</i> Antar Simpul .....	99
Tabel 4.40	Perbandingan Hasil Rute .....	105
Tabel 4.41	Hasil Rute pada Penelitian dan <i>Google Maps</i> .....	107
Tabel 4.42	Hasil Nilai Efektifitas .....	108
Tabel 4.43	Hasil Nilai Efektifitas Siklus ke-2.....	111

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Contoh Graf (Munir, 2010) .....	8
Gambar 2.2	Graf untuk Lintasan Terpendek (Munir, 2010) .....	11
Gambar 2.3	Graf Ilustrasi <i>Traveling Salesman Problem</i> (Munir, 2010).....	13
Gambar 2.4	Sirkuit Hamilton (Munir, 2010).....	13
Gambar 2.5	Perjalanan Semut dari Sarang ke Sumber Makanan (Mutakhiroh, Saptono, Hasanah, & Wiryadinata, 2007).....	15
Gambar 3.1	Tahapan Penelitian .....	29
Gambar 3.2	<i>Flowchart</i> Algoritma <i>Ant Colony Optimization</i> .....	31
Gambar 4.1	<i>Screenshot</i> Data Titik-Titik Destinasi Wisata dan Lokasi Umum .....	36
Gambar 4.2	Graf Denah Destinasi Wisata Banyuwangi .....	38
Gambar 4.3	Visualisasi Rute Terpendek pada Graf.....	103
Gambar 4.4	Hasil Pencarian Rute Menggunakan Algoritma <i>Ant Colony Optimization</i> .....	105
Gambar 4.5	Hasil Pencarian Rute Menggunakan <i>Google Maps</i> .....	106
Gambar 4.6	Visualisasi Hasil Rute Siklus ke-2 .....	110

## DAFTAR SIMBOL

$\tau_{ij}$	:	Intensitas <i>pheromone</i> antara lokasi <i>i</i> dan <i>j</i>
$\tau_0$	:	Intensitas <i>pheromone</i> awal
$n$	:	Banyak lokasi
$d_{ij}$	:	Jarak antara lokasi <i>i</i> dan <i>j</i>
$Q$	:	Tetapan siklus semut
$\alpha$	:	Tetapan pengendali intensitas jejak semut
$\beta$	:	Tetapan pengendali visibilitas
$\eta_{ij}$	:	Visibilitas antara lokasi lokasi <i>i</i> dan <i>j</i>
$m$	:	Banyak semut
$\rho$	:	Tetapan penguapan jejak semut atau <i>pheromone</i>
$NCmax$	:	Jumlah siklus maksimum
$tabu_k$	:	<i>Tabu list</i> untuk semut <i>k</i>
$tabu_k(i)$	:	Lokasi ke- <i>i</i> yang dikunjungi oleh semut <i>k</i> pada suatu <i>tour</i>
$P_{ij}^k$	:	Probabilitas semut ke- <i>k</i> untuk mengunjungi lokasi <i>j</i> dari lokasi <i>i</i>
$J_i^k$	:	Kumpulan lokasi yang dikunjungi oleh semut yang berada pada lokasi <i>i</i>
$s$	:	Indeks urutan kunjungan
$k$	:	Indeks semut
$kumulatif_n$	:	Probabilitas kumulatif indeks lokasi 1 sampai <i>n</i>
$kumulatif_{n-1}$	:	Probabilitas kumulatif indeks lokasi sebelumnya
$q$	:	Bilangan random
$L_k$	:	Panjang lintasan tertutup
$d_{tabu_k(n), tabu_k(1)}$	:	Jarak lokasi akhir ( <i>n</i> ) dan lokasi awal yang tercatat di dalam <i>tabu list</i> oleh semut <i>k</i>
$d_{tabu_k(s), tabu_k(s+1)}$	:	Jarak antara lokasi <i>s</i> hingga lokasi <i>s + 1</i> yang tercatat di dalam <i>tabu list</i> oleh semut <i>k</i>
$L_{minNC}$	:	Panjang lintasan tertutup minimal setiap siklus
$L_{min}$	:	Panjang lintasan tertutup minimal secara keseluruhan
$\Delta\tau_{ij}^k$	:	Perubahan harga intensitas <i>pheromone</i> antara lokasi <i>i</i> dan <i>j</i> untuk semut <i>k</i>
$G = (V, E)$	:	Graf dengan himpunan simpul <i>V</i> dan himpunan sisi <i>E</i>
$V$	:	Himpunan simpul <i>V</i>
$E$	:	Himpunan sisi <i>E</i>
JM	:	Jarak yang ditampilkan pada <i>google maps</i>
JP	:	Jarak yang ditampilkan pada penelitian

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data Jarak Antar Lokasi (km).....	118
Lampiran 2	Hasil Rute Perjalanan Setiap Semut.....	119
Lampiran 3	Hasil Rute untuk Siklus Kedua.....	121
Lampiran 4	Hasil Rute pada <i>Google Maps</i> .....	122
Lampiran 5	Perubahan Intensitas Jejak Semut atau <i>Pheromone</i> .....	123
Lampiran 6	Harga Pembaruan Intensitas Jejak Semut atau <i>Pheromone</i> ....	124

## ABSTRAK

Indrawati, Okmi Kliwen. 2022. **Implementasi Algoritma *Ant Colony Optimization* untuk Menentukan Rute Terpendek Destinasi Wisata Banyuwangi**. Skripsi. Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Hisyam Fahmi, M.Kom. (II) Ari Kusumastuti, M.Pd., M.Si.

**Kata Kunci:** destinasi wisata Banyuwangi, rute terpendek, *Traveling Salesman Problem*, algoritma *Ant Colony Optimization*

Perjalanan wisata yang optimal menjadi aspek yang penting bagi wisatawan dalam berwisata khususnya di Banyuwangi. Biasanya wisatawan ingin berkunjung tidak hanya ke salah satu tempat, namun ke beberapa tempat dengan mempertimbangkan efisiensi waktu dan biaya yang dikeluarkan. Akibatnya dibutuhkan cara untuk menentukan rute perjalanan wisata optimal yaitu melalui pencarian rute terpendek. Pencarian rute terpendek yang dikaji dalam penelitian ini adalah pencarian rute terpendek dari Hotel El Royale menuju 11 destinasi wisata di Banyuwangi tepat satu kali lalu kembali ke lokasi asal dapat disebut sebagai *Traveling Salesman Problem*. Permasalahan tersebut dapat diselesaikan menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization*. Algoritma ini diadopsi dari perilaku koloni semut yang dapat menemukan jalur terpendek dari semua kemungkinan jalur yang dapat dilalui semut. Awalnya koloni semut berjalan dari lokasi awalnya yaitu Hotel El Royale menuju ke 11 destinasi wisata tepat satu kali lalu kembali ke lokasi awal. Rute perjalanan setiap semut ditentukan berdasarkan pada fungsi probabilitas yaitu dengan mempertimbangkan invers dari jarak dan jumlah *pheromone* antara dua lokasi. Perbedaan urutan kunjungan lokasi yang diperoleh setiap semut mengakibatkan panjang lintasan yang diperoleh setiap semut berbeda-beda. Pada akhirnya rute terpendek yang dihasilkan akan mempunyai panjang lintasan terpendek dan intensitas jejak semut atau *pheromone* terbanyak dibandingkan dengan lintasan lainnya. Rute terpendek yang dihasilkan dari Hotel El Royale menuju 11 destinasi wisata di Banyuwangi tepat satu kali lalu kembali ke lokasi asal mempunyai panjang lintasan terpendek yaitu 409,6 kilometer dengan perubahan intensitas jejak semut terbanyak yaitu sebesar 0,0024. Rute tersebut menghasilkan jarak relatif pendek yaitu sebesar 9,26% dibandingkan dengan pencarian rute menggunakan *google maps*. Hal tersebut dikarenakan perhitungan menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* didasarkan pada fungsi probabilitas sehingga titik-titik lokasi yang dilalui berbeda dengan *google maps* dan mengakibatkan rute memiliki jarak tempuh yang lebih pendek.

## ABSTRACT

Indrawati, Okmi Kliwen. 2022. **An Implementation of Ant Colony Optimization Algorithm to Determine The Shortest Route of Banyuwangi Tourism Destinations**. Thesis. Mathematics Study Program, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor: (I) Hisyam Fahmi, M.Kom (II) Ari Kusumastuti, M.Pd., M.Sc.

**Keywords:** Banyuwangi tourist destinations, shortest route, Traveling Salesman Problem, Ant Colony Optimization algorithm

Optimal travel is an important aspect for tourists in traveling, especially in Banyuwangi. Usually tourists want to visit not only to one place but to several places by considering the efficiency of time and costs incurred. As a result, a method is needed to determine the optimal travel route, namely through the search for the shortest route. The search for the shortest route studied in this study is the search for the shortest route from Hotel El Royale to 11 tourist destinations in Banyuwangi exactly once and then back to the original location can be referred to as the Traveling Salesman Problem. These problems can be solved using the Ant Colony Optimization algorithm. This algorithm is adopted from the behavior of the ant colony which can find the shortest path of all possible paths that can be traversed by ants. Initially the ant colony walked from its initial location, namely Hotel El Royale, to 11 tourist destinations exactly once and then returned to the initial location. The travel route of each ant is determined based on a probability function that is by considering the inverse of the distance and the amount of pheromone between two locations. The difference in the order of site visits obtained by each ant resulted in the length of the route obtained by each ant being different. In the end, the shortest route generated will have the shortest path length and the highest intensity of ant trails or pheromones compared to other paths. The shortest route generated from the El Royale Hotel to 11 tourist destinations in Banyuwangi exactly once and then back to the original location has the shortest path length of 409.6 kilometers with the most changes in the intensity of the ant trail, which is 0.0024. This route results in a relatively short distance of 9.26% compared to route search using google maps. This is because the calculation using the Ant Colony Optimization algorithm is based on a probability function so that the location points traversed are different from google maps and result in the route having a shorter distance.

## مستخلص البحث

إندراواتي أوكمي كليوين. ٢٠٢٢. تطبيق تحسين مستعمرة النمل (*Ant Colony Optimization*) لتعيين أقصر الطريق لوجهات السياحة بانبيوانجي. البحث الجامعي. قسم الرياضيات، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: هشام فهمي الماجستير. المشرفة الثانية: أري كوسوماستوتي الماجستير

**الكلمات المفتاحية:** مكان السياحة بانبيوانجي، أقصر الطريق، مشكلة مروج السفر، خوارزمية تحسين مستعمرة النمل

السفر الأمثل هو أمر مهم للسياح في السفر ، وخاصة في بانبيوانجي. عادة لا يريد السائحون في زيارة مكان واحد فحسب، بل زيارة عدة أماكن بمراعاة فعالية الوقت والتكاليف المدفوعة. لذلك، هناك حاجة إلى طريقة لتعيين طريق السفر الأمثل، أي من خلال البحث عن أقصر طريق. والبحث عن أقصر طريق تمت دراسته في هذا البحث هو البحث عن أقصر الطريق من فندق *El Royale* إلى 11 وجهة سياحية في بانبيوانجي مرة واحدة بالضبط ثم العودة إلى الموقع الأصلي يسمى باسم مشكلة مروج السفر. ويستطيع حل هذه المشكلة بخوارزمية تحسين مستعمرة النمل. واعتمدت هذه الخوارزمية من سلوك مستعمرة النمل التي يمكنها العثور على أقصر الطريق لجميع الطرق الممكنة التي يجتازها النمل. في البداية، سارت مستعمرة النمل من موقعها الأولي، وهو فندق *El Royale* ، إلى 11 وجهة سياحية بالضبط مرة واحدة ثم عادت إلى الموقع الأصلي. وعينت طريق السفر لكل نملة بناءً على مهمة احتمالية تكون من خلال مراعاة عكس المسافة وكمية الفرغون بين الموقعين. ويسبب الفرق في ترتيب زيارة الموقع التي حصلت عليها كل نملة إلى الفرق في طول الطريق الذي حصلت عليه كل نملة. وفي النهاية، سيكون أقصر الطريق المحصول هو أقصر طول للطريق وأكثر كثافة لطرق أو فرمونات مقارنة بالطريقة الأخرى. وأقصر الطريق المحصول من فندق *El Royale* إلى 11 وجهة سياحية في بانبيوانجي مرة واحدة بالضبط ثم العودة إلى الموقع الأصلي لديه أقصر الطريق بطول 409.6 كيلومترًا بمعظم التغيير في شدة طريق النمل، وهو 0.0024. ويحصل هذا الطريق مسافة قصيرة نسبيًا بنسبة 9.26٪ مقارنةً بالبحث عن الطريق باستخدام خريطة غوغل. وخوارزمية تحسين مستعمرة النمل تستند إلى مهمة احتمالية بحيث تختلف نقط الموقع التي تم اجتيازها عن خريطة غوغل وتؤدي إلى مسافة أقصر للطريق.

# **BAB I PENDAHULUAN**

## **1.1 Latar Belakang**

Banyuwangi mempunyai beragam destinasi wisata berdasarkan daya tarik wisatanya masing-masing. Sebagian besar jarak antardestinas wisata di Banyuwangi cukup jauh sehingga kadangkala wisatawan yang berwisata dalam waktu singkat tidak dapat mengunjungi semua tempat yang diinginkan. Banyaknya destinasi wisata yang ingin dikunjungi dengan jarak tempuh yang berbeda mengakibatkan penentuan lokasi yang akan dituju menjadi acak. Selain itu, wisatawan juga perlu menghemat biaya yang dikeluarkan dalam melakukan perjalanan wisata.

Bersikap hemat erat kaitannya dengan perintah Allah untuk menjauhi sikap mubazir dan berlebih-lebihan (Katsir, 2003). Perintah tersebut terkandung dalam surat Al-Isra' ayat 27 yang artinya:

*“Sesungguhnya orang-orang yang pemboros itu adalah saudara setan dan setan itu sangat ingkar kepada Tuhannya” (QS. Al-Isra' 17:27).*

Ayat tersebut menyatakan bahwa para pemboros adalah saudara setan. Ungkapan serupa ini biasa dipergunakan oleh orang-orang Arab. Orang yang membiasakan diri mengikuti peraturan suatu kaum atau mengikuti jejak langkahnya, disebut saudara kaum itu. Jadi orang-orang yang memboroskan hartanya berarti orang-orang yang mengikuti langkah setan. Sedangkan yang dimaksud pemboros dalam ayat ini ialah orang-orang yang menghambur-hamburkan harta bendanya dalam perbuatan maksiat yang tentunya di luar perintah Allah. Orang-orang yang serupa inilah yang disebut kawan-kawan setan (Kemenag, 2019).

QS. Al-Isra' 17:27 diturunkan Allah dalam rangka menjelaskan perbuatan orang-orang Jahiliyah. Telah menjadi kebiasaan orang-orang Arab menumpuk harta yang mereka peroleh dari rampasan perang, perampokan, dan penyamunan. Harta itu kemudian mereka gunakan untuk berfoya-foya supaya mendapat kemasyhuran. Orang-orang musyrik Quraisy pun menggunakan harta mereka untuk menghalangi penyebaran agama islam, melemahkan pemeluk-pemeluknya, dan membantu musuh-musuh islam. Ayat itu turun untuk menyatakan betapa jeleknya usaha mereka (Kemenag, 2019).

Berdasarkan QS Al-Isra' 17:27 tersebut, implementasi dalam bersikap hemat salah satunya adalah mencari rute perjalanan yang optimal sehingga waktu dan biaya yang dikeluarkan menjadi efisien. Perjalanan yang optimal dapat diperoleh melalui pencarian rute terpendek. Permasalahan pencarian rute terpendek pada destinasi wisata di Banyuwangi berkaitan dengan graf yaitu mengenai denah lokasi destinasi wisata Banyuwangi. Lokasi destinasi wisata Banyuwangi dapat direpresentasikan sebagai simpul-simpul pada graf yang dapat dihubungkan dengan simpul-simpul bantuan yang merepresentasikan lokasi umum. Selanjutnya dengan menghubungkan simpul-simpul tersebut akan dicari solusi bagaimana jika dipilih satu simpul akan menghasilkan rute terpendek menuju semua destinasi wisata yang ingin dikunjungi lalu kembali ke simpul awal. Permasalahan dalam menentukan rute terpendek dari lokasi asal menuju ke semua destinasi wisata tepat satu kali lalu kembali ke lokasi asal dapat disebut sebagai *Traveling Salesman Problem (TSP)* (Greco, 2008).

*Traveling Salesman Problem* (TSP) dapat diselesaikan menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* (Dorigo & Stützle, 2004). Algoritma *Ant Colony Optimization* diadopsi dari perilaku koloni semut yang dapat menemukan jalur terpendek dari semua kemungkinan jalur yang dapat dilalui semut. Jalur yang terpendek akan mempunyai jumlah *pheromone* terbanyak dibandingkan dengan jalur-jalur lainnya (Chan & Lesmana, 2019). Algoritma ini juga digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dari perluasan *Traveling Salesman Problem* (TSP) yang menghasilkan rute gabungan sejumlah  $m$  kendaraan mengunjungi  $n$  pelanggan dengan biaya atau jarak yang minimum (Othman, Wahab, Alhady, & Wong, 2018). Selain itu, algoritma *Ant Colony Optimization* digunakan untuk menentukan jalur terpendek pada enam perpustakaan perguruan tinggi di Malang. Jalur terpendek yang diperoleh dari salah satu perpustakaan menuju ke lima perpustakaan lainnya lalu kembali ke perpustakaan asal dapat dilihat dari banyaknya jumlah *pheromone* yang terdapat pada suatu jalur. Jalur terpendek merupakan jalur dengan jumlah *pheromone* terbanyak dibandingkan dengan jalur-jalur lainnya (Soetomo, 2018).

Penelitian ini akan mengembangkan penelitian yang dilakukan oleh Soetomo dengan menerapkan aturan transisi status pada algoritma *Ant Colony Optimization* untuk mencari rute terpendek dari lokasi asal menuju semua destinasi wisata tujuan tepat satu kali lalu kembali ke lokasi asal. Aturan transisi status pada algoritma *Ant Colony Optimization* akan menentukan rute perjalanan semut dari lokasi asal untuk menemukan rute terpendek menuju lokasi tujuan berdasarkan pada fungsi probabilitas, yaitu dengan mempertimbangkan invers dari jarak dan jumlah *pheromone* antara dua lokasi. Semut cenderung untuk berjalan menuju lokasi yang dihubungkan dengan jalur yang pendek dan jumlah *pheromone* yang

banyak (Dorigo & Gambardella, 1997). Cara tersebut diterapkan untuk menentukan rute terpendek pada lokasi wisata di Singapura dari lokasi wisata asal menuju ke enam lokasi wisata lainnya lalu kembali ke lokasi wisata asal (Chan & Lesmana, 2019). Algoritma *Ant Colony Optimization* atau algoritma semut juga diterapkan untuk menentukan jalur terpendek menuju ke 10 destinasi wisata di Bali (Septiani, Wardhani, Kustian, & Fitriansyah, 2017). Berdasarkan kedua penelitian tersebut, rute terpendek dapat diperoleh dari satu siklus dengan menerapkan aturan transisi status di mana jumlah semut sama dengan jumlah lokasi yang akan dituju.

Penelitian ini akan mengkaji 11 destinasi ekowisata di Banyuwangi. Alasan pemilihan destinasi wisata tersebut berdasarkan pada pengembangan pariwisata yang dilakukan di Banyuwangi yaitu ekowisata. Pencarian rute terpendek berawal dari salah satu hotel terbaik di Banyuwangi yaitu Hotel El Royale menuju 11 destinasi wisata di Banyuwangi tepat satu kali lalu kembali ke lokasi asal. Dengan demikian, penelitian ini berjudul “Implementasi Algoritma *Ant Colony Optimization* untuk Menentukan Rute Terpendek Destinasi Wisata Banyuwangi”. Penelitian ini penting dilakukan agar memudahkan wisatawan dalam memilih jalur yang optimal untuk mengunjungi destinasi wisata di Banyuwangi.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan pada latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka rumusan masalah yang diambil adalah bagaimana hasil rute terpendek dari Hotel El Royale menuju 11 destinasi wisata di Banyuwangi tepat satu kali lalu kembali ke lokasi asal menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization*?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Pengambilan rumusan masalah tersebut bertujuan untuk mengetahui hasil rute terpendek dari Hotel El Royale menuju 11 destinasi wisata di Banyuwangi tepat satu kali lalu kembali ke lokasi asal menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization*.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh melalui penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah pengetahuan mengenai penerapan algoritma *Ant Colony Optimization* untuk menyelesaikan permasalahan rute terpendek.
2. Memberikan informasi pilihan rute yang dapat mengefisienkan waktu, jarak, dan biaya dalam melakukan perjalanan wisata di Banyuwangi.

### 1.5 Batasan Masalah

Terdapat lima batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Ada 11 destinasi wisata di Banyuwangi yang dikaji dalam penelitian ini yaitu Kawah Ijen, Kendeng Lembu, Pulau Merah, Teluk Hijau, Teluk Pangpang, Savana Sadengan, Rawabayu, Desa Adat Osing Kemiren, Situs Macan Putih, Umpak Songo dan Pantai Watu Dodol.
2. Rute antardestinasi wisata dibangun dengan menghubungkan 32 titik bantuan berupa titik lokasi umum yang diperoleh dari *google maps*. Rute didasarkan pada jalan utama yaitu jalan arteri, kolektor, dan lokal.
3. Rute terpendek ditentukan dari Hotel El Royale menuju 11 destinasi wisata tepat satu kali. Rute akan berakhir kembali ke lokasi awal.
4. Penelitian ini hanya menggunakan bobot jarak. Jarak antarlokasi ditentukan menggunakan *google maps*.

5. Parameter-parameter algoritma *Ant Colony Optimization* yang digunakan adalah  $\alpha = 1$ ,  $\beta = 2$ ,  $\rho = 0,5$ ,  $m = 11$ ,  $Q = 1$ ,  $\tau_{ij} = \tau_0 = 0,01$  dan  $NCmax = 1$ .

## 1.6 Definisi Istilah

Berdasarkan uraian pada bagian latar belakang terdapat beberapa istilah yang dituliskan antara lain:

1. Rute terpendek adalah rute minimum dari suatu lokasi asal menuju ke lokasi tujuan.
2. Graf bisa didefinisikan sebagai himpunan simpul yang dapat terhubung atau tidak terhubung dengan simpul lainnya oleh sisi.
3. *Traveling Salesman Problem* (TSP) adalah permasalahan bagaimana menentukan rute terpendek untuk perjalanan *salesman* dari kota asal menuju semua kota tujuan tepat satu kali lalu kembali ke kota asal.
4. Algoritma merupakan langkah-langkah yang terurut dalam menyelesaikan suatu permasalahan.
5. *Ant Colony Optimization* (ACO) merupakan metode yang diadopsi dari perilaku koloni semut untuk menentukan jalur terpendek dari sarang menuju sumber-sumber makanan.
6. *Pheromone* merupakan zat kimia yang dikeluarkan oleh semut sebagai alat komunikasi dengan semut lainnya.
7. Probabilitas merupakan besarnya kemungkinan terjadinya suatu peristiwa atau kejadian.

8. Ekowisata merupakan suatu jenis wisata dengan mengunjungi tempat-tempat yang masih alami untuk menikmati pemandangan dan belajar tentang budaya lokal serta tetap menjaga kelestarian lingkungan dan budaya.

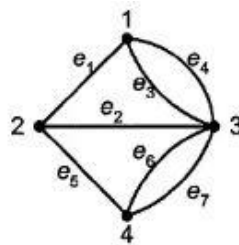
## BAB II KAJIAN TEORI

### 2.1 Teori Pendukung

#### 2.1.1 Graf

Graf dapat digunakan untuk merepresentasikan model dari objek-objek diskrit yang berkaitan atau berhubungan. Objek-objek dapat direpresentasikan sebagai simpul. Hubungan antara dua objek tersebut dapat direpresentasikan sebagai sisi. Dengan demikian, graf bisa didefinisikan sebagai himpunan simpul yang dapat terhubung atau tidak terhubung dengan simpul lainnya oleh sisi (Daniel & Taneo, 2019). Graf dapat ditunjukkan ke dalam bentuk diagram, yaitu setiap simpul pada graf disimbolkan dengan titik atau lingkaran kecil dan setiap sisi pada graf disimbolkan dengan garis atau kurva yang menghubungkan dua simpul (Budayasa, 2016).

Misal graf  $G$  tersusun dari himpunan simpul-simpul (*vertices* atau *nodes*) dan himpunan sisi (*edges* atau *arcs*) yang menghubungkan dua simpul. Himpunan simpul  $V$  berupa himpunan tidak kosong sedangkan himpunan sisi  $E$  dapat berupa himpunan kosong. Dengan demikian, graf  $G$  dapat dituliskan sebagai  $G = (V, E)$  (Munir, 2010).



Gambar 2.1 Contoh Graf (Munir, 2010)

Salah satu contoh graf ditunjukkan pada Gambar 2.1,  $G = (V, E)$  adalah graf dengan  $V = \{1, 2, 3, 4\}$  dan  $E = \{(1, 2), (2, 3), (1, 3), (1, 3), (2, 4), (3, 4), (3, 4)\} = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7\}$ .

Berikut adalah istilah-istilah terkait graf yaitu (Munir, 2010):

1. Bertetangga (*adjacent*)

Dua buah simpul dapat dihubungkan langsung oleh sisi. Jika  $e = (u, v)$  menyatakan sisi pada graf  $G$ , maka  $u$  bertetangga dengan  $v$ . Pada Gambar 2.1 simpul 4 bertetangga dengan simpul 3 dan 2, tetapi tidak bertetangga dengan simpul 1.

2. Bersisian (*incident*)

Sisi  $e$  disebut bersisian dengan simpul  $u$  dan simpul  $v$  untuk sembarang sisi  $e = (u, v)$ . Misalnya pada Gambar 2.1 sisi  $e_1$  bersisian dengan simpul 1 dan 2, sedangkan sisi  $e_1$  tidak bersisian dengan simpul 3. Sisi  $e_3$  dan  $e_4$  bersisian dengan simpul 1 dan 3, tetapi sisi  $e_3$  dan  $e_4$  tidak bersisian dengan simpul 2.

3. Lintasan (*path*)

Misalkan graf  $G$  memiliki  $n$  simpul di mana  $v_0$  adalah simpul awal dan  $v_n$  adalah simpul akhir. Lintasan pada graf  $G$  adalah barisan berselang-seling simpul-simpul dan sisi-sisi yaitu  $v_0, e_1, v_1, e_2, v_2, \dots, v_{n-1}, e_n, v_n$ . Dengan demikian,  $e_1 = (v_0, v_1), e_2 = (v_1, v_2), \dots, e_n = (v_{n-1}, v_n)$  adalah sisi dari graf  $G$ . Jika lintasan memiliki simpul awal dan simpul akhir yang sama, maka lintasan tersebut disebut lintasan tertutup (*closed path*). Jika lintasan

memiliki simpul awal dan simpul akhir yang berbeda maka lintasan tersebut disebut lintasan terbuka (*open path*). Contohnya pada Gambar 2.1 lintasan terbuka pada graf  $G$  adalah  $1, e_3, 3, e_6, 4$  dan lintasan tertutup pada graf  $G$  adalah  $1, e_3, 3, e_6, 4, e_5, 2, e_1, 1$ .

4. Siklus (*cycle*) atau Sirkuit (*circuit*)

Sirkuit adalah lintasan yang mempunyai simpul awal dan simpul akhir sama.

Berdasarkan Gambar 2.1 sirkuit pada graf  $G$  adalah  $1, e_3, 3, e_4, 1$ .

5. Lintasan dan Sirkuit Hamilton

Lintasan yang melalui setiap simpul pada graf tepat satu kali disebut dengan lintasan Hamilton. Sedangkan lintasan yang melalui setiap simpul pada graf tepat satu kali dan simpul awal sama dengan simpul akhir dinamakan sebagai sirkuit Hamilton.

6. Terhubung (*Connected*)

Jika dua buah simpul pada graf memiliki lintasan yang menghubungkannya maka dua buah simpul tersebut dikatakan terhubung.

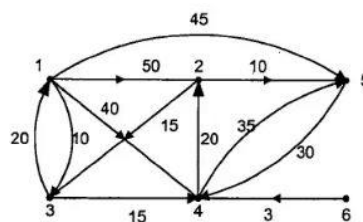
Graf bisa dikelompokkan menjadi dua macam berdasarkan orientasi arah pada sisi, yaitu graf tak berarah (*undirect graph*) dan graf berarah (*directed graph*). Apabila sisi pada graf tidak mempunyai orientasi arah, maka graf tersebut disebut sebagai graf tak berarah sehingga sisi  $(u, v) = (v, u)$ . Namun, apabila sisi pada graf memiliki orientasi arah, maka graf tersebut disebut sebagai graf berarah sehingga sisi  $(u, v) \neq (v, u)$ . Sisi pada graf dapat memiliki bobot atau tidak memiliki bobot. Graf yang sisinya memiliki bobot disebut sebagai graf berbobot. Namun, jika sisi pada graf tidak memiliki bobot, maka graf tersebut disebut graf tidak berbobot. Bobot pada sisi graf dapat menyatakan jarak, waktu, biaya, dan lain-lain bergantung

pada permasalahan yang dimodelkan ke dalam graf. Selanjutnya, terdapat graf yang setiap simpulnya dihubungkan langsung ke semua simpul lainnya oleh sisi. Graf tersebut dinamakan sebagai graf lengkap (Munir, 2010).

### 2.1.2 Optimasi

Optimasi merupakan proses penyelesaian suatu permasalahan secara sistematis yang bertujuan untuk memperoleh nilai optimal (Gunantara, 2018). Nilai optimal dapat berupa nilai maksimum atau minimum bergantung pada permasalahan yang akan diselesaikan. Salah satu permasalahan optimasi adalah permasalahan rute terpendek. Rute terpendek adalah rute minimum dari suatu lokasi asal menuju lokasi tujuan. Permasalahan rute terpendek dapat diubah ke dalam permasalahan dalam graf yaitu mencari lintasan pada graf dengan bobot yang paling minimum. Bobot pada sisi graf dapat menyatakan jarak, waktu, biaya dan lain sebagainya bergantung pada permasalahan yang ingin diselesaikan. Dengan demikian, arti terpendek dapat berupa jarak paling minimum, biaya yang paling minimum, waktu yang paling minimum dan lain sebagainya bergantung pada permasalahan yang ingin diselesaikan (Munir, 2010).

Lintasan terpendek pada graf dapat berupa lintasan terpendek antara dua simpul tertentu, lintasan terpendek antara semua pasangan simpul, lintasan terpendek dari simpul tertentu ke simpul yang lain, dan lintasan terpendek antara dua simpul yang melalui beberapa simpul tertentu.



**Gambar 2.2** Graf untuk Lintasan Terpendek (Munir, 2010)

Misalkan pada Gambar 2.2 yaitu graf berarah dan berbobot  $G = (V, E)$  dengan bobot pada graf menyatakan jarak. Berdasarkan graf tersebut akan ditentukan lintasan terpendek dari simpul asal 1 ke semua simpul tujuan lainnya. Lintasan terpendek simpul asal 1 ke semua simpul tujuan ditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut ini (Munir, 2010):

**Tabel 2.1 Lintasan Terpendek**

<b>Simpul Asal</b>	<b>Simpul Tujuan</b>	<b>Lintasan Terpendek</b>	<b>Jarak</b>
1	3	1,3	10
1	4	1,3,4	25
1	2	1,3,4,2	45
1	5	1,5	45
1	6	tidak ada	-

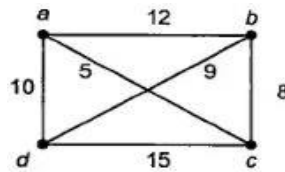
### 2.1.3 *Traveling Salesman Problem (TSP)*

Salah satu model permasalahan rute terpendek dalam matematika adalah *Traveling Salesman Problem (TSP)*. *Traveling Salesman Problem (TSP)* adalah permasalahan bagaimana menentukan rute terpendek perjalanan *salesman* dari kota asal menuju semua kota tujuan tepat satu kali lalu kembali ke kota asal (Hasibuan, 2015). Dengan kata lain permasalahan dalam menentukan *tour* tertutup dari  $n$  lokasi di mana setiap lokasi hanya boleh dikunjungi sebanyak satu kali dengan jarak yang paling minimum disebut sebagai TSP.

TSP dapat direpresentasikan ke dalam graf lengkap dan berbobot  $G = (V, E)$ . Setiap sisi  $(r, s) \in E$  menunjukkan jalur dengan nilai (jarak) atau  $d_{rs}$  dari lokasi  $r$  ke lokasi  $s$ , untuk  $r, s \in V$ . TSP dikatakan sebagai TSP simetris apabila hanya ada satu sisi yang menghubungkan dua lokasi dan jarak dari lokasi  $s$  ke lokasi  $r$  sama dengan jarak lokasi  $r$  ke lokasi  $s$  untuk semua sisi  $(r, s) \in E$ . Sedangkan pada TSP asimetris memiliki dua nilai (jarak) yang berbeda antara dua

lokasi. Apabila TSP simetris direpresentasikan pada graf lengkap dengan  $n$  buah simpul maka akan terdapat  $\frac{(n-1)!}{2}$  *tour* tertutup yang mungkin. Sedangkan TSP asimetris apabila direpresentasikan pada graf lengkap dengan  $n$  buah simpul maka akan terdapat  $(n-1)!$  *tour* tertutup yang mungkin (Greco, 2008).

TSP dapat diubah ke dalam permasalahan pada graf yaitu bagaimana menentukan sirkuit Hamilton pada graf yang mempunyai bobot paling minimum. Jumlah sirkuit Hamilton pada graf lengkap dengan  $n$  simpul dapat dihitung menggunakan rumus  $\frac{(n-1)!}{2}$ .



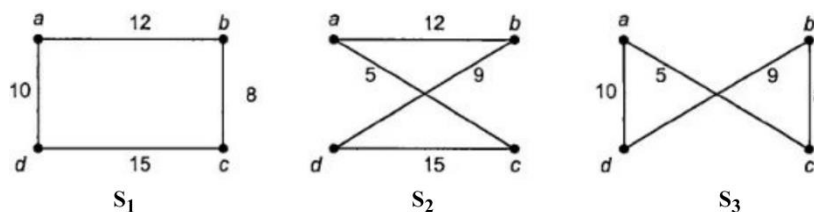
**Gambar 2.3** Graf Ilustrasi *Traveling Salesman Problem* (Munir, 2010)

Berdasarkan pada Gambar 2.3, graf lengkap dan berbobot tersebut mempunyai 4 simpul sehingga graf mempunyai  $\frac{(4-1)!}{2} = 3$  sirkuit Hamilton antara lain:

$$S_1 = (a, b, c, d, a) \text{ atau } (a, d, c, b, a) \text{ dengan panjang} = 12 + 8 + 15 + 10 = 45$$

$$S_2 = (a, c, d, b, a) \text{ atau } (a, b, d, c, a) \text{ dengan panjang} = 5 + 15 + 9 + 12 = 41$$

$$S_3 = (a, c, b, d, a) \text{ atau } (a, d, b, c, a) \text{ dengan panjang} = 5 + 8 + 9 + 10 = 32$$



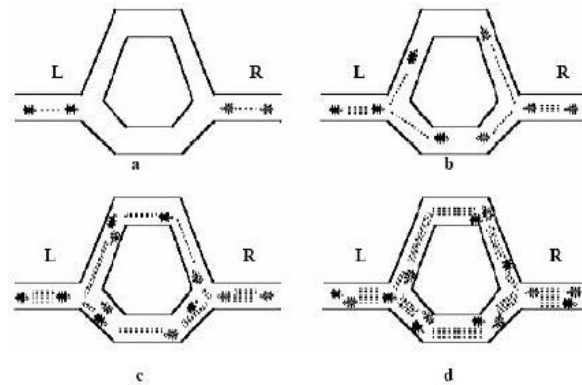
**Gambar 2.4** Sirkuit Hamilton (Munir, 2010)

Berdasarkan tiga sirkuit Hamilton yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 tersebut dapat diketahui bahwa sirkuit Hamilton dengan bobot paling minimum adalah  $S_3 = (a, c, b, d, a)$  atau  $(a, d, b, c, a)$  dengan panjang sirkuit =  $5 + 8 + 9 + 10 = 32$ . Artinya solusi TSP yang diperoleh adalah  $S_3 = (a, c, b, d, a)$  atau  $(a, d, b, c, a)$  dengan panjang sirkuit =  $5 + 8 + 9 + 10 = 32$  (Munir, 2010).

#### 2.1.4 *Ant Colony Optimization (ACO)*

*Ant Colony Optimization (ACO)* mengadopsi perilaku koloni semut yang dikenal sebagai sistem semut (Dorigo, Maniezzo, & Colorni, 1996). Koloni semut dapat menemukan jalur terpendek dari sarang menuju sumber-sumber makanan melalui komunikasi *pheromone* (Karjono, Moedjiono, & Kurniawan, 2016). *Pheromone* merupakan zat kimia yang berasal dari kelenjar endokrin untuk mengenali sesama jenis, individu lain, kelompok dan membantu proses reproduksi. Semut-semut akan meninggalkan *pheromone* pada jalur yang dilewatinya. Proses semut meninggalkan zat *pheromone* disebut sebagai *stigmergy*. *Stigmergy* merupakan suatu proses memodifikasi lingkungan untuk mengingat jalan pulang ke sarang dan sebagai alat komunikasi sesama semut.

Jejak *pheromone* dapat mengalami penguapan dari waktu ke waktu sehingga daya tarik dari jejak *pheromone* akan berkurang. Apabila semakin banyak semut yang melewati suatu jalur maka jejak *pheromone* akan sedikit menguap. Sebaliknya apabila semut yang melewati suatu jalur sedikit maka jejak *pheromone* akan banyak menguap (Mutakhirah, Saptono, Hasanah, & Wiryadinata, 2007).



**Gambar 2.5 Perjalanan Semut dari Sarang ke Sumber Makanan (Mutakhiroh, Saptono, Hasanah, & Wiryadinata, 2007)**

Pada Gambar 2.5 a terdapat dua kelompok semut yaitu kelompok L dan kelompok R. Kelompok L berjalan dari sisi kiri yaitu dari sarang semut dan kelompok R berjalan dari sisi kanan yaitu dari sumber makanan. Setiap kelompok semut dari lokasi asal harus menentukan jalan yang akan dilewati. Kelompok semut L dibagi menjadi dua kelompok yaitu sebagian melalui jalan atas dan sebagian lainnya melalui jalan bawah begitu juga pada kelompok semut R. Berdasarkan Gambar 2.5 b dan Gambar 2.5 c, semut berjalan dengan kecepatan yang sama lalu meninggalkan *pheromone* pada jalur yang telah dilewati. *Pheromone* pada jalan atas mengalami lebih banyak penguapan daripada jalan bawah karena jalan atas dilalui oleh sedikit semut. Hal tersebut merupakan akibat dari jarak yang ditempuh semut melalui jalan atas lebih panjang daripada jalan bawah.

Pada Gambar 2.5 d menunjukkan bahwa jalan bawah dilewati oleh banyak semut karena jumlah *pheromone* yang terdapat pada jalan bawah masih banyak. Sedangkan jalan atas dilalui oleh sedikit semut karena jumlah *pheromone* pada jalan atas sudah mengalami banyak penguapan sehingga jumlah *pheromone* menjadi sedikit bahkan hilang. Pada akhirnya semut lainnya juga akan melewati jalan bawah karena semut cenderung melewati jalur dengan jumlah *pheromone* terbanyak. Dengan demikian, rute terpendek dari sarang menuju sumber makanan adalah jalan

yang memiliki jumlah *pheromone* terbanyak (Mutakhiroh, Saptono, Hasanah, & Wiryadinata, 2007).

### 2.1.5 *Ant System* (AS)

Algoritma *Ant System* (AS) merupakan algoritma *Ant Colony Optimization* yang digunakan dalam penyelesaian *Traveling Salesman Problem*. Algoritma *Ant System* (AS) terdiri dari sebanyak  $m$  semut yang saling bekerja sama dan berkomunikasi melalui komunikasi *pheromone*. Algoritma ini memiliki tahapan sebagai berikut: masing-masing semut melakukan *tour*-nya dari lokasi awalnya masing-masing. Semut melakukan *tour* dengan mengunjungi satu per satu lokasi yang ada secara berulang kali. Lokasi-lokasi yang akan dilalui oleh semut dipilih dengan menerapkan aturan transisi status (*state transition rule*) yaitu berdasarkan pada suatu fungsi probabilitas dengan mempertimbangkan invers dari jarak dan jumlah *pheromone* antara dua lokasi. Aturan transisi status (*state transition rule*) yang diterapkan dalam algoritma *Ant System* (AS) bernama *random proportional rule* (Dorigo, Maniezzo, & Colorni, 1996). Semut cenderung akan berjalan menuju ke lokasi yang dihubungkan dengan jalur yang pendek dan memiliki tingkat *pheromone* yang tinggi (Dorigo & Gambardella, 1997). Masing-masing semut mempunyai memori yang disebut sebagai *tabu list*. Semua lokasi yang telah dikunjungi semut dalam suatu *tour* akan dicatat ke dalam *tabu list*. *Tabu list* berguna agar lokasi yang telah dikunjungi oleh semut tidak dikunjungi kembali sehingga dapat diperoleh solusi mendekati optimal. *Tabu list* akan terisi penuh ketika semut sudah menyelesaikan *tour*-nya.

Setelah itu pada setiap semut diterapkan pembaruan *pheromone* global (*global pheromone updating rule*). Semua jalur mengalami penguapan *pheromone*, selanjutnya berdasarkan panjang *tour* yang telah dilakukan semut, semut akan meninggalkan sejumlah *pheromone* pada *edge-edge* yang merupakan bagian *tour* mereka yang sebanding dengan kualitas dari solusi yang mereka hasilkan. Jika sebuah *tour* yang dihasilkan oleh setiap semut semakin pendek maka jumlah *pheromone* yang ditinggalkan pada *edge-edge* yang dilewati semakin banyak. Dengan demikian, *edge-edge* yang terdapat pada *tour* terpendek merupakan *edge-edge* yang mempunyai jumlah *pheromone* yang lebih banyak. Hal tersebut mengakibatkan *edge-edge* yang memiliki jumlah *pheromone* yang banyak akan cenderung dilalui semut pada *tour-tour* selanjutnya. Sebaliknya untuk *edge-edge* yang tidak diberi *pheromone* menjadi akan cenderung tidak dilalui oleh semut. Pada *tour* selanjutnya *tabu list* akan dikosongkan. Penguapan *pheromone* berfungsi mencegah keadaan di mana pada akhirnya semut melakukan *tour* yang sama yang dikenal sebagai stagnasi. Proses ini dilakukan secara berulang-ulang hingga jumlah maksimum *tour* tercapai atau sistem telah mengalami stagnasi di mana sistem berhenti menemukan solusi alternatif.

Algoritma merupakan langkah-langkah yang terurut dalam menyelesaikan suatu permasalahan (Munir, 2011). Berikut ini merupakan langkah-langkah untuk menentukan rute terpendek menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* (Mutakhiroh, Saptono, Hasanah, & Wiryadinata, 2007):

**Langkah 1:**

- a. Inisialisasi harga parameter-parameter algoritma antara lain:
  1. Intensitas jejak semut atau *pheromone* antar lokasi ( $\tau_{ij}$ )

2. Banyak lokasi ( $n$ ) beserta jarak antar lokasi ( $d_{ij}$ )
  3. Tetapan siklus semut ( $Q$ )
  4. Tetapan pengendali intensitas jejak semut ( $\alpha$ ), nilai  $\alpha > 0$
  5. Tetapan pengendali visibilitas ( $\beta$ ), nilai  $\beta > 0$
  6. Visibilitas antar lokasi  $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$
  7. Banyak semut ( $m$ )
  8. Tetapan penguapan jejak semut atau *pheromone* ( $\rho$ ), nilai  $0 < \rho < 1$
  9. Jumlah siklus maksimum ( $NCmax$ ) bersifat tetap selama algoritma dijalankan, sedangkan  $\tau_{ij}$  akan selalu diperbarui harganya pada setiap siklus algoritma mulai dari siklus pertama ( $NC = 1$ ) sampai tercapai jumlah siklus maksimum ( $NC = NCmax$ ) atau sampai terjadi konvergensi.
- b. Inisialisasi lokasi asal yaitu menempatkan  $m$  semut pada lokasi awalnya masing-masing secara acak.

### **Langkah 2:**

Selanjutnya hasil inisialisasi lokasi awal setiap semut dicatat ke dalam *tabu list* sebagai elemen pertama. *Tabu list* setiap semut akan berisi elemen pertama dengan indeks lokasi tertentu yang artinya masing-masing  $tabu_k(i)$  dapat berisi indeks lokasi antara 1 sampai  $n$  dengan  $tabu_k(i)$  menyatakan elemen ke- $i$  dari  $tabu_k$  (*tabu list* untuk semut  $k$ ). Artinya  $tabu_k(i)$  menyatakan lokasi ke- $i$  yang dikunjungi oleh semut  $k$  pada suatu *tour*.

**Langkah 3:**

Penyusunan rute perjalanan setiap semut menuju ke semua lokasi tujuan. Semut-semut yang telah berada di lokasi awalnya masing-masing akan melakukan perjalanan menuju ke lokasi lainnya sebagai lokasi tujuan. Semut melakukan perjalanan menuju ke lokasi tujuan yang tidak terdapat dalam  $tabu_k$ . Untuk menentukan lokasi tujuan selanjutnya maka dilakukan perhitungan probabilitas masing-masing lokasi menggunakan fungsi probabilitas sebagai berikut (Chan & Lesmana, 2019):

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^k} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}, & \text{untuk } s \in J_i^k \\ 0, & \text{untuk } s \text{ lainnya} \end{cases} \quad (2.1)$$

Probabilitas pada masing-masing lokasi yang telah diperoleh selanjutnya akan dihitung probabilitas kumulatif menggunakan persamaan (UMRAH, n.d):

$$kumulatif_n = P_{ij}^k + kumulatif_{n-1} \quad (2.2)$$

Setelah probabilitas kumulatif masing-masing lokasi diperoleh maka akan dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$ . Selanjutnya semut dari lokasi sebelumnya akan berjalan ke lokasi yang mana  $q \leq kumulatif_n$ .

**Langkah 4:**

- a. Menghitung panjang lintasan perjalanan setiap semut. Setelah satu siklus diselesaikan oleh semua semut maka panjang lintasan tertutup atau  $L_k$  setiap semut akan dihitung. Perhitungan panjang lintasan tertutup berdasarkan  $tabu_k$  masing-masing semut melalui persamaan sebagai berikut:

$$L_k = d_{tabu_k(n), tabu_k(1)} + \sum_{s=1}^{n-1} d_{tabu_k(s), tabu_k(s+1)} \quad (2.3)$$

- b. Setelah dilakukan perhitungan  $L_k$  setiap semut maka akan diperoleh panjang lintasan tertutup minimal setiap siklus atau  $L_{minNC}$  dan panjang lintasan tertutup minimal secara keseluruhan atau  $L_{min}$ .
- c. Koloni semut meninggalkan *pheromone* pada lintasan antar lokasi yang telah dilaluinya. Perubahan *pheromone* antar lokasi dapat terjadi karena adanya penguapan dan perbedaan jumlah semut yang melintas. Oleh karena itu dilakukan perhitungan perubahan *pheromone* melalui suatu persamaan berikut ini:

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad (2.4)$$

Di mana  $\Delta\tau_{ij}^k$  dihitung berdasarkan persamaan:

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k}, & (i, j) \in tabu_k \\ 0, & (i, j) \text{ lainnya} \end{cases} \quad (2.5)$$

#### Langkah 5:

Menghitung harga intensitas jejak semut atau *pheromone* antar lokasi untuk siklus selanjutnya melalui persamaan:

$$\tau_{ij} = (1 - \rho)\tau_{ij} + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad (2.6)$$

#### Langkah 6:

Mengosongkan *tabu list* agar dapat diisi kembali pada siklus selanjutnya. Jika belum tercapai jumlah siklus maksimum yang ditentukan atau belum terjadi

konvergensi maka dilakukan proses yang sama dari langkah dua dengan harga parameter intensitas *pheromone* antar lokasi yang sudah diperbarui.

### 2.1.6 Nilai Efektifitas

Nilai efektifitas merupakan nilai yang digunakan untuk menunjukkan apakah rute yang dihasilkan dari suatu perhitungan relatif lebih panjang atau pendek jika dibandingkan dengan hasil rute pada *google maps*. Berdasarkan jarak tempuh yang dihasilkan dari perhitungan dan *google maps* maka dapat diperoleh nilai efektifitas tersebut melalui persamaan (Syihabuddin, 2021):

$$\text{Nilai Efektifitas} = \frac{|JM-JP|}{JM} \times 100\% \quad (2.7)$$

### 2.1.7 Destinasi Ekowisata Banyuwangi

Banyuwangi adalah salah satu kabupaten yang mempercepat pertumbuhan ekonomi lokal melalui sektor pariwisata. Perkembangan sektor pariwisata di Banyuwangi didukung dengan adanya beragam destinasi wisata seperti pantai, gunung, hutan, taman nasional, budaya, dan lain-lain. Berdasarkan keragaman wisata yang dominan di Banyuwangi pada wisata alam maka pengembangan pariwisata yang dilakukan berbasis ekowisata. Beragam destinasi di Banyuwangi telah mendorong banyak wisatawan untuk berwisata ke Banyuwangi. Hal tersebut ditunjukkan pada catatan Dinas Kebudayaan dan Pariwisata Kabupaten Banyuwangi bahwa jumlah wisatawan domestik dan mancanegara yang berwisata ke Banyuwangi mengalami peningkatan dari tahun ke tahun (Banyuwangikab, 2022).

Ekowisata merupakan suatu jenis wisata dengan mengunjungi tempat-tempat yang masih alami untuk menikmati pemandangan dan belajar tentang budaya lokal serta tetap menjaga kelestarian lingkungan dan budaya (Kristiana,

2019). Penelitian ini menggunakan 11 destinasi wisata berbasis ekowisata yang didapatkan dari website promosi pariwisata Banyuwangi yang dikelola oleh Dinas Kebudayaan dan Pariwisata Kabupaten Banyuwangi antara lain Kawah Ijen, Kendeng Lembu, Pulau Merah, Teluk Hijau, Teluk Pangpang, Savana Sadengan, Rawabayu, Desa Adat Osing Kemiren, Situs Macan Putih, Umpak Songo dan Pantai Watu Dodol (Disbudpar Banyuwangi, 2018). Sebelas destinasi wisata tersebut memiliki daya tarik wisata karena adanya keberagaman biologi, geologi, dan budaya.

Apabila 11 destinasi wisata tersebut dikelompokkan berdasarkan jenis ekowisata maka destinasi wisata Kawah Ijen dan Kendeng Lembu termasuk ke dalam jenis destinasi ekowisata geologi. Pulau Merah, Teluk Hijau, Pantai Watu Dodol dan Teluk Pangpang termasuk ke dalam jenis destinasi ekowisata perairan. Savana Sadengan termasuk ke dalam jenis destinasi ekowisata pada taman nasional. Desa Wisata Adat Osing Kemiren termasuk ke dalam jenis destinasi ekowisata pedesaan. Situs Macan Putih, Umpak Songo dan Rawabayu termasuk ke dalam jenis destinasi ekowisata spiritual.

## **2.2 Kajian Integrasi Topik dengan Al-Quran/Hadits**

Allah memerintahkan manusia untuk menjauhi sikap mubazir dan berlebihan (Katsir, 2003). Berdasarkan dari penjelasan Quraish Shihab (Shihab, 2009) dan al-Jasshas (al-Jasshas, 1405 H) suatu sikap dapat dikatakan sebagai sikap mubazir atau *tabzir* apabila pembelanjaan harta digunakan untuk hak batil atau kerusakan, bukan termasuk sikap *tabzir* apabila berapapun jumlah harta dibelanjakan untuk hal kebaikan. Pendapat lain disampaikan oleh al-Zamakhshari (al-Zamakhshari, 1998), Ibnu jauzy (al-Jauzy, 1983), al-Sa'di (al-Sa'di, n.d.), Ibnu

Asyur (Asyur, 1984), Ibnu Arabi (al-Arabi, 2003), dan Wahbah Zuhaily (Zuhaily, 2000) bahwa apabila pembelanjaan harta digunakan untuk hal batil maka disebut sebagai sikap *tabzir*. Apabila pembelanjaan harta digunakan untuk hal hak atau mubah secara berlebihan (*israf*), melebihi batas kewajaran atau menyebabkan *mudlarat* pada diri si pemberi maupun orang lain maka sikap tersebut dikatakan sebagai sikap *tabzir*. Berdasarkan pendapat-pendapat tersebut maka suatu sikap dapat dinyatakan sebagai sikap *tabzir* apabila:

1. Tidak hak atau batil (haram menurut syara’).

Sikap seseorang membelanjakan hartanya pada hal tidak hak atau batil disebut sebagai sikap *tabzir*. Hal tersebut dikarenakan kebatilan tidak memberikan manfaat tetapi menyebabkan kerusakan dan dosa. Contohnya uang digunakan untuk membeli minuman keras yang mana minuman keras telah diharamkan oleh Allah.

2. Menghambur-hamburkan tanpa ada manfaat (menurut syara’).

Perilaku ini dapat dicontohkan seseorang yang menghamburkan hartanya hanya untuk memperoleh kebanggaan dan kemasyhuran. Perilaku tersebut telah ada pada jaman Jahiliah di mana masyarakatnya menghambur-hamburkan harta hanya agar memperoleh kebanggaan dan kemasyhuran.

3. Berlebihan (*israf*) yang cenderung kepada kemudlaratan/kerusakan.

Perilaku sejenis ini terdapat pada seseorang yang sudah mengetahui kemudlaratan atas sikapnya, tetapi ia tetap melakukan hal tersebut karena ia tidak dapat menahan keinginannya. Misalnya pada seseorang pengidap diabetes, ia sudah tahu bahwa makan makanan dengan kandungan gula

berlebihan akan memperburuk kondisinya, tetapi ia tetap memakannya karena ia menginginkan makanan tersebut.

4. Membelanjakan harta melebihi sepatasnya.

Membelanjakan harta untuk hal-hal yang tidak dibutuhkan atau melebihi sepatasnya merupakan sikap *tabzir*. Sikap tersebut dapat dilihat dari orang tua yang membelikan sepeda motor untuk anaknya yang masih duduk di bangku sekolah dasar. Padahal anak tersebut belum cukup umur untuk mengendarainya sendiri dan belum paham mengenai aturan dalam berkendara sehingga dikhawatirkan akan membahayakan anak tersebut dan orang lain.

Sebelumnya telah dijelaskan bahwa berlebih-lebihan (*israf*) merupakan sikap yang harus di jauhi selain sikap *tabzir*. Mustafa al-Maraghi mengatakan bahwa *israf* merupakan sikap yang membelanjakan harta secara berlebihan dan tidak sesuai dengan batas naluri, batas ekonomi dan batas syar'i (al-Maraghi, 1993). Beberapa hal yang dapat dikatakan berlebihan berdasarkan pada pendapat Syekh Nashir As Sa'di di antaranya yaitu (as-Sa'di, 2007):

1. Melebihi kadar kemampuan dan makan melebihi porsi yang dibutuhkan.
2. Makan, minum, dan lain-lain secara bermewah-mewahan yang didasari oleh hawa nafsu.
3. Tidak mematuhi batasan-batasan yang sudah Allah tentukan.
4. Menimbun harta atau sesuatu hal yang tidak diperlukan oleh diri sendiri maupun orang lain.
5. Melakukan semua hal secara berlebihan atau melebihi batas wajar.
6. Mengerjakan hal yang sifatnya sia-sia.

7. Mengutamakan hawa nafsu daripada kebutuhan.

Allah memerintahkan manusia untuk tidak bersikap *tabzir* dan berlebihan yaitu dengan melakukan semua hal secara sederhana dan proporsional. Berkaitan dengan bersikap sederhana dan proporsional, Rasulullah membimbing umat manusia agar makan, minum, berpakaian secara tidak berlebihan. Hal tersebut terdapat dalam hadist yang diriwayatkan dari Abdullah bin Amr bin al-Ash r.a, Rasulullah SAW bersabda yang artinya:

*“Makanlah, bersedekahlah, dan berpakaianlah dengan tidak berlebihan dan tidak angkuh”* (Hadist Shahih, Riwayat al-Nasa’i: 2512, Ibnu Majah: 3595, dan Ahmad: 6408).

Berdasarkan hadist tersebut umat manusia diperintahkan untuk makan dan minum secara tidak berlebihan yaitu makan sesuai kebutuhan dan kondisi masing-masing. Selanjutnya berpakaian dengan tidak berlebihan dan tidak angkuh yaitu berpakaian dengan pakaian yang sopan dan menutup aurat.

Sama halnya dalam hal membelanjakan harta, Allah telah memerintahkan manusia dalam menggunakan harta secara benar dalam surat Al-Isra’ ayat 29 yang artinya:

*“Dan janganlah engkau jadikan tanganmu terbelenggu pada lehermu dan jangan (pula) engkau terlalu mengulurkannya (sangat pemurah) nanti kamu menjadi tercela dan menyesal”* (QS. Al-Isra’ 17:29).

Cara yang baik dalam membelanjakan harta berdasarkan ayat tersebut adalah dengan cara hemat, layak, dan wajar di mana tidak terlalu bakhil dan tidak terlalu boros. Seseorang menjadi tercela jika membelanjakan hartanya terlalu bakhil dan seseorang akan mengalami pailit atau bangkrut apabila membelanjakan hartanya terlalu boros. Imam Ahmad dan ahli hadis yang lain meriwayatkan dari Ibnu ‘Abbas bahwa Rasulullah SAW bersabda yang artinya (Kemenag, 2019):

“*Tidak akan menjadi miskin orang yang berhemat*” (HR. Ahmad).

Hadist tersebut menerangkan mengenai pentingnya berhemat yang mana Nabi mengatakan bahwa orang yang bersikap hemat tidak menjadi miskin atau menjadi beban orang lain.

### **2.3 Kajian Topik dengan Teori Pendukung**

Graf dapat digunakan untuk merepresentasikan model dari objek-objek diskrit yang berkaitan atau berhubungan. Pada penelitian ini graf digunakan untuk memodelkan denah lokasi destinasi wisata di Banyuwangi. Langkah pertama sebelum pemodelan graf adalah melakukan peninjauan pada objek penelitian yaitu 11 lokasi destinasi wisata menggunakan *google maps*. Rute antarlokasi destinasi wisata dibangun menggunakan titik bantuan berupa titik-titik lokasi umum yang didapatkan dari pencarian arah *google maps* (Soetomo, 2018). Langkah selanjutnya adalah pengumpulan data berupa nama-nama lokasi dan jarak antarlokasi menggunakan pencarian arah *google maps*. Berdasarkan pada hasil peninjauan objek penelitian dan pengumpulan data maka langkah selanjutnya adalah pemodelan graf berdasarkan data.

Berdasarkan graf yang telah terbentuk, pencarian rute terpendek menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* berawal dari Hotel El Royale menuju 11 destinasi wisata tepat satu kali. Rute akan berakhir kembali ke lokasi awal. Aturan transisi status pada algoritma *Ant Colony Optimization* akan menentukan rute perjalanan semut dari lokasi asal untuk menemukan rute terpendek menuju lokasi tujuan berdasarkan pada fungsi probabilitas yaitu dengan mempertimbangkan invers dari jarak dan jumlah *pheromone* antara dua lokasi (Chan & Lesmana, 2019). Perhitungan algoritma ini menggunakan nilai-nilai

parameter untuk mendapatkan hasil yang optimal. Dorigo dan Stützle dalam penelitiannya untuk mengetahui pengaruh parameter  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\rho$  terhadap performa algoritma *Ant System* dalam menyelesaikan permasalahan *Traveling Salesman Problem* mengkaji nilai  $\alpha \in \{0; 0,2; 0,5; 0,7; 1; 1,5; 2\}$ ,  $\beta \in \{0; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20\}$  dan  $\rho \in \{0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9; 1\}$ . Berdasarkan penelitian tersebut nilai parameter terbaik untuk memperoleh hasil mendekati optimal adalah  $\alpha = 1$ ,  $\beta = 2$  sampai 5, dan  $\rho = 0,5$  (Dorigo & Stützle, 2004). Namun, pada beberapa kasus, kombinasi tersebut tidak selalu menghasilkan nilai yang mendekati optimal. Hal tersebut bergantung pada besarnya masalah yang diselesaikan. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan menggunakan salah satu kombinasi nilai parameter  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\rho$  berdasarkan hasil penelitian tersebut seperti yang tertera pada Tabel 2.2. Sedangkan nilai parameter-parameter lainnya merupakan kombinasi nilai yang digunakan untuk mencari rute terpendek menuju 10 lokasi wisata di Bali (Septiani, Wardhani, Kustian, & Fitriansyah, 2017). Nilai parameter-parameter tersebut dipilih selain untuk mendapatkan hasil yang optimal tetapi juga untuk mempersingkat waktu perhitungan secara manual.

**Tabel 2.2 Nilai Parameter Algoritma *Ant Colony Optimization***

No.	Parameter	Nilai	Sumber
1	$\alpha$	1	(Dorigo & Stützle, 2004)
2	$\beta$	2	(Dorigo & Stützle, 2004)
3	$\rho$	0,5	(Dorigo & Stützle, 2004)
4	$m$	11	(Dorigo & Stützle, 2004)
5	$\tau_0$	0,01	(Septiani, Wardhani, Kustian, & Fitriansyah, 2017)
6	$Q$	1	(Septiani, Wardhani, Kustian, & Fitriansyah, 2017)
7	$NCmax$	1	(Septiani, Wardhani, Kustian, & Fitriansyah, 2017)

Tahap terakhir yaitu evaluasi hasil dari rute terpendek yang dihasilkan untuk siklus pertama. Evaluasi hasil bertujuan untuk mengetahui apakah jarak tempuh dari rute tersebut lebih panjang atau pendek jika dibandingkan dengan hasil rute pada *google maps*.

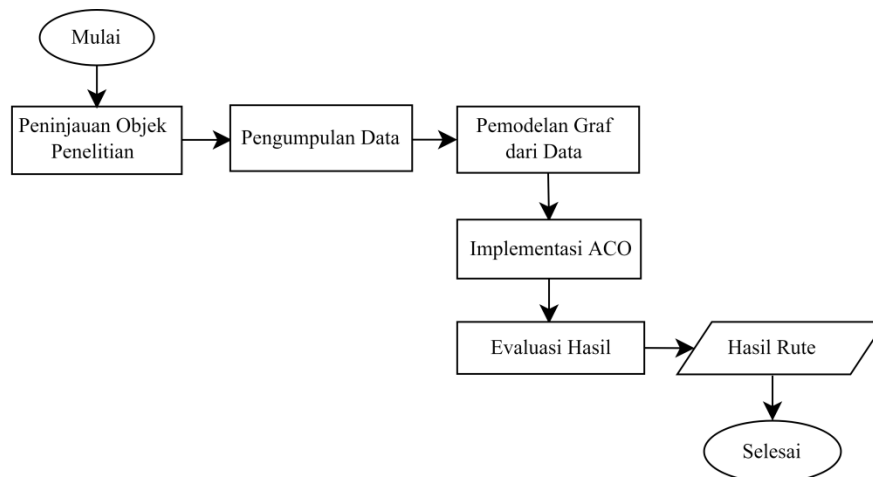
## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif digunakan karena pada penelitian ini akan mengolah data numerik berupa jarak antarlokasi dalam satuan kilometer. Data tersebut akan diolah untuk menyelesaikan rumusan masalah dalam penelitian. Penelitian ini juga menggunakan studi literatur dengan mengumpulkan dan mempelajari literatur terkait topik penelitian.

### 3.2 Tahapan Penelitian

Berikut ini adalah tahap-tahap dalam penelitian:



**Gambar 3.1 Tahapan Penelitian**

#### 1. Peninjauan objek penelitian

Tahap pertama yaitu meninjau objek penelitian. Terdapat beberapa aspek yang perlu ditinjau yaitu titik-titik lokasi yang akan direpresentasikan sebagai simpul pada graf, rute yang akan direpresentasikan sebagai sisi pada graf serta arah setiap rute apakah berlaku satu arah atau dua arah. Peninjauan titik-titik lokasi dan rute tersebut dilakukan menggunakan *google maps*.

## 2. Pengumpulan data

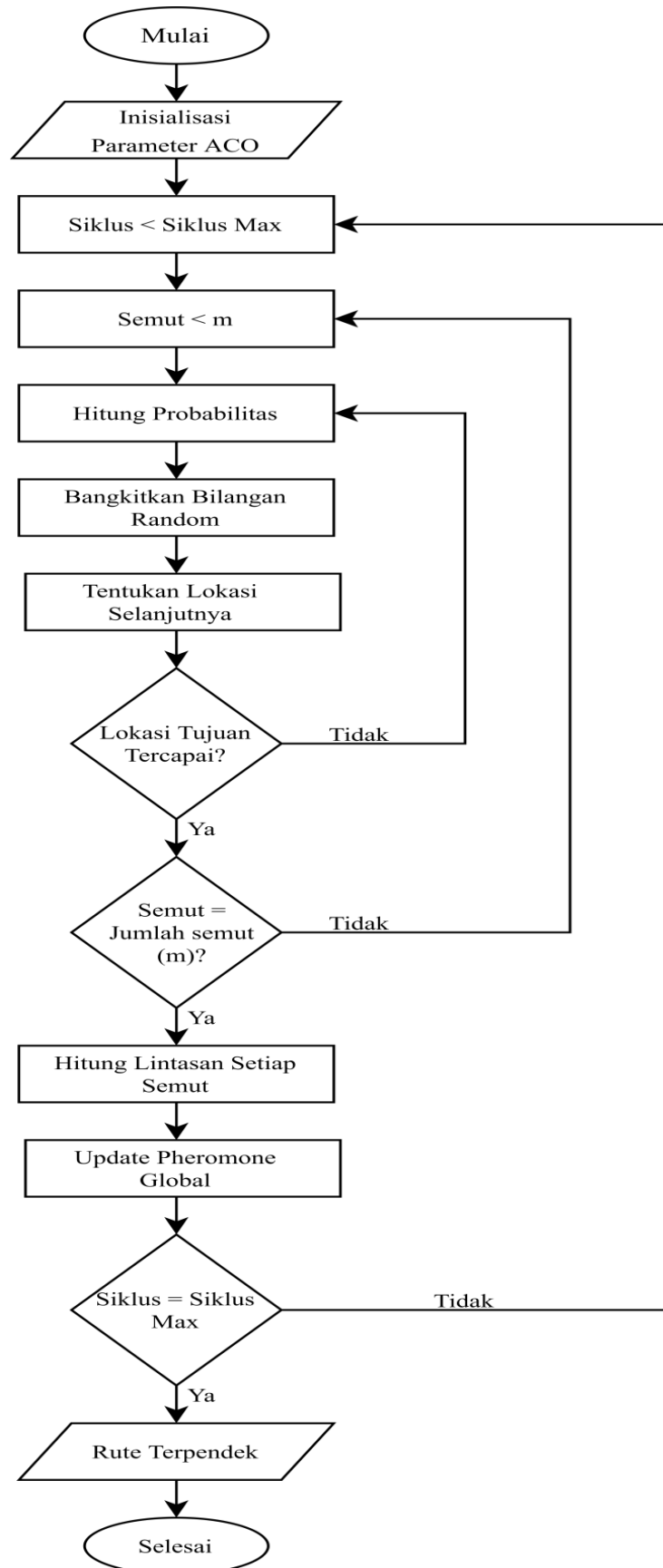
Langkah selanjutnya adalah mengumpulkan data 11 nama destinasi wisata di Kabupaten Banyuwangi dan kumpulan rute antardestinasi wisata. Rute antardestinasi wisata dibangun dengan menghubungkan titik-titik lokasi umum berdasarkan pada pencarian arah *google maps*. Rute didasarkan pada jalan utama yaitu jalan arteri, kolektor dan lokal. Berdasarkan kumpulan rute antar destinasi wisata tersebut dapat diperoleh data kumpulan nama lokasi umum yang tercantum pada Tabel 4.2. Pengumpulan data yang terakhir yaitu data jarak antar lokasi dalam satuan kilometer yang diperoleh dari pencarian arah *google maps*.

## 3. Pemodelan graf dari data

Data yang telah dikumpulkan pada langkah sebelumnya akan direpresentasikan ke dalam graf. Simpul pada graf merepresentasikan destinasi wisata dan lokasi umum. Sisi pada graf merepresentasikan rute yang menghubungkan dua lokasi. Jarak antara dua lokasi dalam satuan kilometer menjadi bobot pada sisi graf.

## 4. Implementasi *Ant Colony Optimization* (ACO)

Setelah diperoleh graf yang merepresentasikan denah lokasi destinasi wisata Banyuwangi, Algoritma *Ant Colony Optimization* diterapkan untuk menyelesaikan permasalahan dalam penelitian. Pada Gambar 3.2 ditunjukkan *flowchart* dari algoritma *Ant Colony Optimization*.



**Gambar 3.2** Flowchart Algoritma Ant Colony Optimization

Tahapan implementasi algoritma *Ant Colony Optimization* pada graf yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

- a. Menginisialisasi parameter-parameter yang digunakan seperti  $\alpha = 1$ ,  $\beta = 2$ ,  $\rho = 0,5$ ,  $m = 11$ ,  $Q = 1$ ,  $\tau_{ij} = \tau_0 = 0,01$ ,  $NCMax = 1$  dan  $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$  dengan  $d_{ij}$  adalah jarak antara lokasi  $i$  dan  $j$ .
- b. Masing-masing semut akan diletakkan dan berjalan dari simpul awal yang merepresentasikan Hotel El Royale.
- c. Semut akan berjalan dari simpul awal menuju simpul-simpul tujuan berdasarkan probabilitas masing-masing simpul. Probabilitas tersebut diperoleh melalui perhitungan menggunakan persamaan (2.1) dan (2.2).
- d. Dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi  $Rand()$  di *microsoft excel* untuk memilih simpul mana yang akan dilewati semut berdasarkan probabilitas kumulatif setiap simpul.
- e. Proses pada langkah tiga akan dilakukan oleh setiap semut hingga semua simpul tujuan dikunjungi tepat satu kali dan kembali ke simpul awal.
- f. Apabila semua semut sudah mengunjungi semua simpul tujuan tepat satu kali dan kembali ke simpul awal atau sudah menyelesaikan satu siklus maka akan dihitung panjang lintasan tertutup masing-masing semut menggunakan persamaan (2.3).
- g. Intensitas jejak semut atau *pheromone* akan diperbarui melalui proses perhitungan menggunakan persamaan (2.4), (2.5), dan (2.6).

- h. Apabila siklus maksimum belum tercapai maka akan dilakukan perhitungan kembali dari langkah tiga menggunakan intensitas jejak semut atau *pheromone* yang telah diperbarui.
- i. Rute terpendek dihasilkan setelah siklus maksimum terpenuhi.

## 5. Evaluasi Hasil

Hasil rute perjalanan masing-masing semut untuk siklus pertama akan dibandingkan dengan hasil pencarian rute menggunakan *google maps*. Perbandingan tersebut didasarkan pada jarak yang diperoleh dari Hotel El Royale menuju 11 destinasi wisata tepat satu kali lalu kembali ke lokasi asal. Selanjutnya untuk mengetahui nilai efektifitas dari rute yang dihasilkan, maka akan dilakukan perhitungan melalui persamaan (2.7). Apabila perhitungan rute untuk siklus pertama menghasilkan jarak yang relatif lebih panjang dibandingkan dengan *google maps*, maka akan dilanjutkan perhitungan untuk siklus kedua dengan cara yang sama seperti siklus pertama pada semut yang menghasilkan rute terpendek untuk siklus pertama. Apabila pada siklus kedua belum menghasilkan jarak yang relatif lebih pendek dibandingkan dengan *google maps*, maka perhitungan akan dilanjutkan untuk siklus ketiga dan seterusnya pada semut tersebut hingga menghasilkan jarak yang relatif lebih pendek dibandingkan dengan *google maps*.

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **4.1 Deskripsi Data**

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data titik destinasi wisata, titik lokasi umum dan jarak antar lokasi. Berikut ini merupakan deskripsi dari masing-masing data:

#### **1. Data Titik Destinasi Wisata**

Penelitian ini mengkaji 11 destinasi ekowisata di Banyuwangi di mana 11 destinasi wisata tersebut terus dikembangkan dan diperkenalkan kepada masyarakat. Namun, informasi mengenai rute menuju ke semua destinasi wisata tersebut belum tersedia. Oleh karena itu, pencarian rute terpendek dalam penelitian ini mengkaji 11 destinasi wisata tersebut. Berikut ini pada Tabel 4.1 berisi 11 nama titik destinasi wisata dengan masing-masing simbolnya.

**Tabel 4.1 Data Titik Destinasi Wisata**

<b>No.</b>	<b>Nama Destinasi Wisata</b>	<b>Simbol</b>
1	Kawah Ijen	W1
2	Rawabayu	W2
3	Pantai Watu Dodol	W3
4	Desa Wisata Adat Osing	W4
5	Situs Macan Putih	W5
6	Umpak Songo	W6
7	Teluk Pangpang	W7
8	Savana Sadengan	W8
9	Pulau Merah	W9
10	Teluk Hijau	W10
11	Kendeng Lembu	W11

## 2. Data Titik Lokasi Umum

Rute antar destinasi wisata pada penelitian ini dibangun dengan menghubungkan titik-titik lokasi umum berdasarkan pada pencarian arah *google maps*. Pemilihan titik-titik lokasi umum tersebut karena letak lokasi umum sudah banyak diketahui masyarakat pada umumnya. Dengan demikian, pembangunan rute antar destinasi wisata menggunakan bantuan titik lokasi umum diharapkan dapat memudahkan pemahaman bagi pembaca mengenai rute yang menghubungkan antar destinasi wisata. Setelah dilakukan pencarian rute antar destinasi wisata menggunakan pencarian arah *google maps* diperoleh 32 titik lokasi umum yang saling menghubungkan antar destinasi wisata. Berikut ini pada Tabel 4.2 berisi 32 nama titik lokasi umum dengan masing-masing simbolnya.

**Tabel 4.2 Data Titik Lokasi Umum**

No.	Nama Lokasi	Simbol	No.	Nama Lokasi	Simbol
1	Kantor Camat Pesanggaran	N1	13	Balai Desa Kedungsari	N13
2	Pasar Pesanggaran	N2	14	Pasar Persen	N14
3	Patung Macan Jajag	N3	15	Ponpes Manbaul Ulum	N15
4	RS. Graha Medika	N4	16	Puskesmas Sumberberas	N16
5	RTH Maron	N5	17	Koramil Muncar	N17
6	IAI Ibrahimy	N6	18	Lampu Merah Benculuk	N18
7	Puskesmas Sempu	N7	19	Pasar Srono	N19
8	Puskesmas Sambirejo	N8	20	SDN 4 Wonosobo	N20
9	RTH Karetan	N9	21	Puskesmas Gladag	N21
10	Balai Desa Sumbersari	N10	22	Kantor Desa Alas Malang	N22
11	Pasar Dambuntung	N11	23	Lapangan Lugjag	N23
12	Balai Desa Glagah Agung	N12	24	Kantor Pos Rogojampi	N24

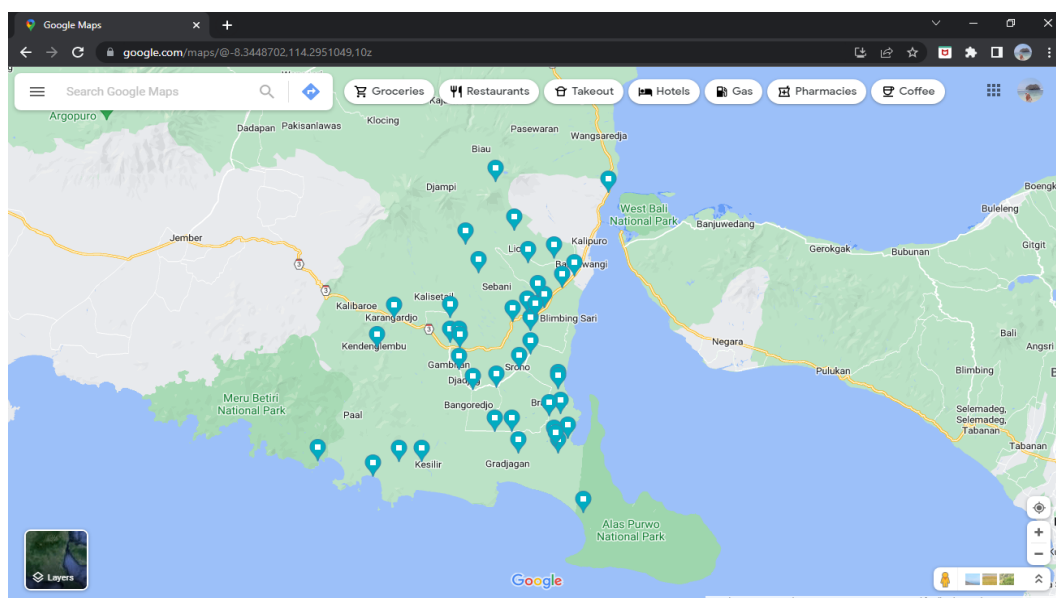
Tabel 4.2 Data Titik Lokasi Umum (Lanjutan)

No.	Nama Lokasi	Simbol	No.	Nama Lokasi	Simbol
25	Politeknik Negeri Banyuwangi	N25	29	Hotel Minak Jinggo	N29
26	Hotel El Royale	N26	30	Kantor Pos Songgon	N30
27	Hotel Santika	N27	31	Homestay Ijen Garden	N31
28	RSUD Genteng	N28	32	Kantor Desa Jelun	N32

### 3. Data Jarak Antar Lokasi

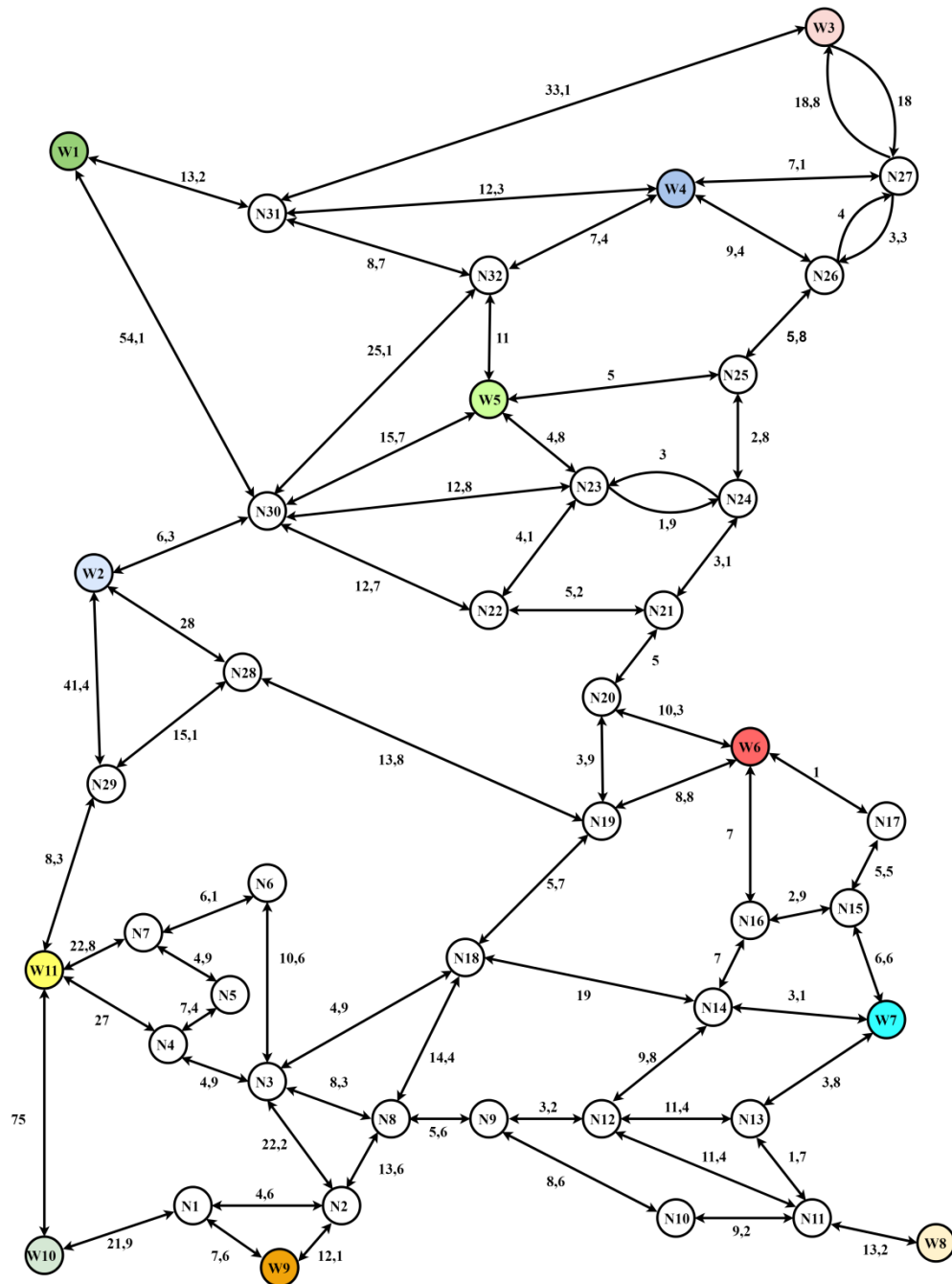
Rute antar lokasi yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan pada jalan utama yaitu jalan arteri, kolektor, dan lokal. Penelitian ini menggunakan ketiga jenis jalan tersebut karena jalan tersebut dapat dilalui oleh berbagai jenis kendaraan. Jarak antar lokasi yang digunakan dalam penelitian ini merupakan jarak dalam satuan kilometer berdasarkan pada jarak rute antar lokasi yang diperoleh dari pencarian arah *google maps*. Data jarak antar lokasi dalam satuan kilometer akan ditunjukkan pada Lampiran 1.

## 4.2 Pemodelan Graf



Gambar 4.1 Screenshot Data Titik-Titik Destinasi Wisata dan Lokasi Umum

Data titik-titik destinasi wisata dan lokasi umum yang telah diperoleh dari *google maps* seperti pada Gambar 4.1 akan direpresentasikan ke dalam sebuah graf. Awalnya dilakukan analisis mengenai keterhubungan antara titik-titik destinasi wisata dengan titik-titik lokasi umum menggunakan *google maps*. Titik-titik tersebut direpresentasikan sebagai simpul pada graf di mana antara dua titik lokasi dapat dihubungkan oleh sisi yang menunjukkan adanya rute yang menghubungkan antara dua titik lokasi tersebut. Selanjutnya dilakukan pengecekan arah setiap rute yang menghubungkan antar titik-titik lokasi tersebut apakah rute berlaku satu arah atau dua arah. Kemudian data jarak antar lokasi dijadikan sebagai bobot pada graf. Berikut ini pada Gambar 4.2 adalah graf denah destinasi wisata Banyuwangi berdasarkan data yang telah diperoleh.



Gambar 4.2 Graf Denah Destinasi Wisata Banyuwangi

### 4.3 Implementasi Algoritma *Ant Colony Optimization*

Graf denah destinasi wisata Banyuwangi yang terbentuk merupakan graf berarah dan berbobot. Melalui graf tersebut akan dicari rute terpendek menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization*. Langkah pertama dalam mengimplementasikan algoritma ini adalah inialisasi harga parameter-parameter

algoritma. Parameter-parameter yang digunakan yaitu  $\alpha = 1$ ,  $\beta = 2$ ,  $\rho = 0,5$ ,  $m = 11$ ,  $Q = 1$ ,  $\tau_{ij} = \tau_0 = 0,01$ ,  $NCmax = 1$  dan  $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$  dengan  $d_{ij}$  adalah jarak antara lokasi  $i$  dan  $j$ .

Langkah selanjutnya adalah mengisi inisialisai lokasi awal setiap semut ke dalam *tabu list* sebagai elemen pertama. Pada penelitian ini, setiap semut akan diletakkan pada lokasi awalnya yaitu pada simpul N26 yang merepresentasikan Hotel El Royale. Selanjutnya setiap semut akan melakukan perjalanan dari Hotel El Royale menuju 11 destinasi wisata tepat satu kali lalu kembali ke lokasi asal. Berikut ini adalah pencarian rute perjalanan masing-masing semut:

**a. Semut ke-1 ( $k_1$ )**

***Tabu list: N26***

Simpul awal adalah N26. Simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N26 adalah simpul N25, N27 dan W4. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum_{u \in J_i^1} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{5,8}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{4}\right)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{9,4}\right)^2 \\
 &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,172414)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 (0,25)^2 + (0,01)^1 (0,106383)^2 \\
 &= 0 + 0,000297 + 0,000625 + 0,000113 \\
 &= 0,001035
 \end{aligned}$$

$$\text{Simpul N26} \quad P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^1} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,001035} = 0$$

$$\text{Simpul N25} \quad P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^1} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000297}{0,001035} = 0,287091$$

$$\text{Simpul N27} \quad P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^1} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000625}{0,001035} = 0,603609$$

$$\text{Simpul W4} \quad P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^1} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000113}{0,001035} = 0,109300$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N26 dengan simpul N25, N27, dan W4 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^1 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^1 + kumulatif_{2-1} = 0,287091 + 0 = 0,287091$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^1 + kumulatif_{3-1} = 0,604 + 0,287 = 0,891$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^1 + kumulatif_{4-1} = 0,109300 + 0,890700 = 1$$

**Tabel 4.3 Probabilitas Semut ke-1 Antara Simpul N26 ke Simpul Lainnya**

	N26	N25	N27	W4
N26	0	0,287091	0,603609	0,109300
Probabilitas Kumulatif	0	0,287091	0,890700	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand* () pada *microsoft excel* maka terpilih 0,767235 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul N27 karena  $0,767235 \leq 0,890700$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-1 adalah

dari simpul N26 menuju ke simpul N27. Selanjutnya semut akan berjalan dari simpul awal yaitu N27, di mana simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N27 adalah simpul N26, W4 dan W3. Simpul N26 sudah tercatat di dalam *tabu list* sehingga semut tidak akan mengunjunginya kembali. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum_{u \in J_i^1} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{7,1}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{18,8}\right)^2 \\
 &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,140845)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 (0,053191)^2 \\
 &= 0 + 0,000198 + 0,000028 \\
 &= 0,000226
 \end{aligned}$$

$$\text{Simpul N27} \quad P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^1} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,000226} = 0$$

$$\text{Simpul W4} \quad P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^1} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000198}{0,000226} = 0,875176$$

$$\text{Simpul W3} \quad P_{ij}^1 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^1} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000028}{0,000226} = 0,124824$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N27 dengan simpul W4 dan W3 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$\text{kumulatif}_1 = P_{ij}^1 + \text{kumulatif}_{1-1} = 0$$

$$\text{kumulatif}_2 = P_{ij}^1 + \text{kumulatif}_{2-1} = 0,875176 + 0 = 0,875176$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^1 + kumulatif_{3-1} = 0,124824 + 0,875176 = 1$$

**Tabel 4.4 Probabilitas Semut ke-1 Antara Simpul N27 ke Simpul Lainnya**

	N27	W4	W3
N27	0	0,875176	0,124824
Probabilitas Kumulatif	0	0,875176	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand* () pada *microsoft excel* maka terpilih 0,942082 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul W3 karena  $0,942082 \leq 1$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-1 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N27 lalu ke simpul W3 dan *tabu list* semut ke-1 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul W3.

**b. Semut ke-2 ( $k_2$ )**

***Tabu list*: N26**

Simpul awal adalah N26. Simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N26 adalah simpul N25, N27 dan W4. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum_{u \in J_i^2} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{5,8}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{4}\right)^2 + \\ &\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{9,4}\right)^2 \\ &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,172414)^2 + \\ &\quad (0,01)^1 (0,25)^2 + (0,01)^1 (0,106383)^2 \\ &= 0 + 0,000297 + 0,000625 + 0,000113 \end{aligned}$$

$$= 0,001035$$

$$\text{Simpul N26} \quad P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^2} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,001035} = 0$$

$$\text{Simpul N25} \quad P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^2} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000297}{0,001035} = 0,287091$$

$$\text{Simpul N27} \quad P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^2} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000625}{0,001035} = 0,603609$$

$$\text{Simpul W4} \quad P_{ij}^2 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^2} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000113}{0,001035} = 0,109300$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N26 dengan simpul N25, N27, dan W4 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^2 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^2 + kumulatif_{2-1} = 0,287091 + 0 = 0,287091$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^2 + kumulatif_{3-1} = 0,604 + 0,287 = 0,891$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^2 + kumulatif_{4-1} = 0,109300 + 0,890700 = 1$$

**Tabel 4.5 Probabilitas Semut ke-2 Antara Simpul N26 ke Simpul Lainnya**

	N26	N25	N27	W4
N26	0	0,287091	0,603609	0,109300
Probabilitas Kumulatif	0	0,287091	0,890700	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand* () pada *microsoft excel* maka terpilih 0,996736 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul W4 karena  $0,996736 \leq 1$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-2 adalah dari

simpul N26 menuju ke simpul W4 dan *tabu list* semut ke-2 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul W4.

**c. Semut ke-3 ( $k_3$ )**

***Tabu list: N26***

Simpul awal adalah N26. Simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N26 adalah simpul N25, N27 dan W4. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum_{u \in J_i^3} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{5,8}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{4}\right)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{9,4}\right)^2 \\
 &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,172414)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 (0,25)^2 + (0,01)^1 (0,106383)^2 \\
 &= 0 + 0,000297 + 0,000625 + 0,000113 \\
 &= 0,001035
 \end{aligned}$$

$$\text{Simpul N26} \quad P_{ij}^3 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^3} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,001035} = 0$$

$$\text{Simpul N25} \quad P_{ij}^3 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^3} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000297}{0,001035} = 0,287091$$

$$\text{Simpul N27} \quad P_{ij}^3 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^3} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000625}{0,001035} = 0,603609$$

$$\text{Simpul W4} \quad P_{ij}^3 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^3} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000113}{0,001035} = 0,109300$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N26 dengan simpul N25, N27, dan W4 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^3 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^3 + kumulatif_{2-1} = 0 + 0,287091 = 0,287091$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^3 + kumulatif_{3-1} = 0,604 + 0,287 = 0,891$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^3 + kumulatif_{4-1} = 0,109300 + 0,890700 = 1$$

**Tabel 4.6 Probabilitas Semut ke-3 Antara Simpul N26 ke Simpul Lainnya**

	N26	N25	N27	W4
N26	0	0,287091	0,603609	0,109300
Probabilitas Kumulatif	0	0,287091	0,890700	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand* () pada *microsoft excel* maka terpilih 0,230348 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul N25 karena  $0,230348 \leq 0,287091$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-3 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N25. Selanjutnya semut akan berjalan dari simpul awal yaitu simpul N25, di mana simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N25 adalah simpul N26, N24 dan W5. Simpul N26 sudah tercatat di dalam *tabu list* sehingga semut tidak akan mengunjunginya kembali. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\sum_{u \in J_i^3} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{2,8}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{5}\right)^2 \\
&= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,357143)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 (0,2)^2 \\
&= 0 + 0,001276 + 0,0004 \\
&= 0,001676
\end{aligned}$$

$$\text{Simpul N25} \quad P_{ij}^3 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^3} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,001676} = 0$$

$$\text{Simpul N24} \quad P_{ij}^3 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^3} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,001276}{0,001676} = 0,761267$$

$$\text{Simpul W5} \quad P_{ij}^3 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^3} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,0004}{0,001676} = 0,238733$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N25 dengan simpul N24 dan W5 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^3 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^3 + kumulatif_{2-1} = 0,761267 + 0 = 0,761267$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^3 + kumulatif_{3-1} = 0,238733 + 0,761267 = 1$$

**Tabel 4.7 Probabilitas Semut ke-3 Antara Simpul N25 ke Simpul Lainnya**

	N25	N24	W5
N25	0	0,761267	0,238733
Probabilitas Kumulatif	0	0,761267	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand* () pada *microsoft excel* maka terpilih 0,864104 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul W5 karena  $0,864104 \leq 1$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-3 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N25 lalu ke simpul W5 dan *tabu list* semut ke-3 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul W5.

**d. Semut ke-4 ( $k_4$ )**

***Tabu list: N26***

Simpul awal adalah N26. Simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N26 adalah simpul N25, N27 dan W4. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum_{u \in J_i^4} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{5,8}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{4}\right)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{9,4}\right)^2 \\
 &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,172414)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 (0,25)^2 + (0,01)^1 (0,106383)^2 \\
 &= 0 + 0,000297 + 0,000625 + 0,000113 \\
 &= 0,001035
 \end{aligned}$$

$$\text{Simpul N26} \quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^4} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,001035} = 0$$

$$\text{Simpul N25} \quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^4} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000297}{0,001035} = 0,287091$$

$$\text{Simpul N27} \quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^4} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000625}{0,001035} = 0,603609$$

$$\text{Simpul W4} \quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^4} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000113}{0,001035} = 0,109300$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N26 dengan simpul N25, N27, dan W4 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^4 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^4 + kumulatif_{2-1} = 0,287091 + 0 = 0,287091$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^4 + kumulatif_{3-1} = 0,604 + 0,287 = 0,891$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^4 + kumulatif_{4-1} = 0,109300 + 0,890700 = 1$$

**Tabel 4.8 Probabilitas Semut ke-4 Antara Simpul N26 ke Simpul Lainnya**

	N26	N25	N27	W4
N26	0	0,287091	0,603609	0,109300
Probabilitas Kumulatif	0	0,287091	0,890700	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand* () pada *microsoft excel* maka terpilih 0,203216 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul N25 karena  $0,203216 \leq 0,287091$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-4 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N25. Selanjutnya semut akan berjalan dari simpul awal yaitu simpul N25, di mana simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N25 adalah simpul N26, N24 dan W5. Simpul N26 sudah tercatat di dalam *tabu list* sehingga semut tidak akan mengunjunginya kembali. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\sum_{u \in J_i^4} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{2,8}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{5}\right)^2 \\
&= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,357143)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 (0,2)^2 \\
&= 0 + 0,001276 + 0,0004 \\
&= 0,001676
\end{aligned}$$

$$\text{Simpul N25} \quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^4} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,001676} = 0$$

$$\text{Simpul N24} \quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^4} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,001276}{0,001676} = 0,761267$$

$$\text{Simpul W5} \quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^4} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,0004}{0,001676} = 0,238733$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N25 dengan simpul N24 dan W5 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^4 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^4 + kumulatif_{2-1} = 0,761267 + 0 = 0,761267$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^4 + kumulatif_{3-1} = 0,238733 + 0,761267 = 1$$

**Tabel 4.9 Probabilitas Semut ke-4 Antara Simpul N25 ke Simpul Lainnya**

	N25	N24	W5
N25	0	0,761267	0,238733
Probabilitas Kumulatif	0	0,761267	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand* () pada *microsoft excel* maka terpilih 0,659922

sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul N24 karena  $0,65992 \leq 0,761267$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-4 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N25 lalu ke simpul N24. Selanjutnya semut akan berjalan dari simpul awal yaitu N24, di mana simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N24 adalah simpul N25, N23 dan N21. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum_{u \in J_i^4} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{2,8}\right)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{1,9}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{3,1}\right)^2 \\
 &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,357143)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 (0,526316)^2 + (0,01)^1 (0,322581)^2 \\
 &= 0 + 0,001275 + 0,002770 + 0,001041 \\
 &= 0,005086
 \end{aligned}$$

$$\text{Simpul N24} \quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^4} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,005086} = 0$$

$$\text{Simpul N25} \quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^4} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,001276}{0,005086} = 0,250780$$

$$\text{Simpul N23} \quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^4} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,002770}{0,005086} = 0,544630$$

$$\text{Simpul N21} \quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^4} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,001041}{0,005086} = 0,204590$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N24 dengan simpul N25, N23, dan N21 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^4 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^4 + kumulatif_{2-1} = 0,250780 + 0 = 0,250780$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^4 + kumulatif_{3-1} = 0,545 + 0,251 = 0,796$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^4 + kumulatif_{4-1} = 0,204590 + 0,795410 = 1$$

**Tabel 4.10 Probabilitas Semut ke-4 Antara Simpul N24 ke Simpul Lainnya**

	N24	N25	N23	N21
N24	0	0,250780	0,544630	0,204590
Probabilitas Kumulatif	0	0,250780	0,795410	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand* () pada *microsoft excel* maka terpilih 0,803409 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul N21 karena  $0,803409 \leq 1$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-4 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N25 lalu ke simpul N24 kemudian ke simpul N21. Selanjutnya semut akan berjalan dari simpul awal yaitu simpul N21, di mana simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N21 adalah simpul N24, N22 dan N20. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\sum_{u \in J_i^4} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{3,1}\right)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{5,2}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{5}\right)^2 \\
&= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,322581)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 (0,192308)^2 + (0,01)^1 (0,2)^2 \\
&= 0 + 0,001041 + 0,000370 + 0,000400 \\
&= 0,00181
\end{aligned}$$

$$\text{Simpul N21} \quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^4} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,00181} = 0$$

$$\text{Simpul N24} \quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^4} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,001041}{0,00181} = 0,574779$$

$$\text{Simpul N22} \quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^4} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000370}{0,00181} = 0,204276$$

$$\text{Simpul N20} \quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^4} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000400}{0,00181} = 0,220945$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N21 dengan simpul N24, N22, dan N20 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^4 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^4 + kumulatif_{2-1} = 0,574779 + 0 = 0,574779$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^4 + kumulatif_{3-1} = 0,575 + 0,204 = 0,779$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^4 + kumulatif_{4-1} = 0,779055 + 0,220945 = 1$$

**Tabel 4.11 Probabilitas Semut ke-4 Antara Simpul N21 ke Simpul Lainnya**

	N21	N24	N22	N20
N21	0	0,574779	0,204276	0,220945
Probabilitas Kumulatif	0	0,574779	0,779055	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi  $Rand()$  pada *microsoft excel* maka terpilih 0,924884 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul N20 karena  $0,924884 \leq 1$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-4 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N25 kemudian ke simpul N24 lalu ke simpul N21 kemudian ke simpul N20. Selanjutnya semut akan berjalan dari simpul awal yaitu N20, di mana simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N20 adalah simpul N21, N19 dan W6. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum_{u \in J_i^4} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{5}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{3,9}\right)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{10,3}\right)^2 \\
 &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,2)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 (0,25641)^2 + (0,01)^1 (0,097087)^2 \\
 &= 0 + 0,0004 + 0,000658 + 0,000094 \\
 &= 0,001152
 \end{aligned}$$

$$\text{Simpul N20} \quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^4} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,001152} = 0$$

$$\text{Simpul N21} \quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^4} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,0004}{0,001152} = 0,347306$$

$$\text{Simpul N19} \quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^4} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000658}{0,001152} = 0,570852$$

$$\text{Simpul W6} \quad P_{ij}^4 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^4} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000094}{0,001152} = 0,081842$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N20 dengan simpul N21, N19, dan W6 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^4 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^4 + kumulatif_{2-1} = 0,347306 + 0 = 0,347306$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^4 + kumulatif_{3-1} = 0,571 + 0,347 = 0,918$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^4 + kumulatif_{4-1} = 0,081842 + 0,918158 = 1$$

**Tabel 4.12 Probabilitas Semut ke-4 Antara Simpul N20 ke Simpul Lainnya**

	N20	N21	N19	W6
N20	0	0,347306	0,570852	0,081842
Probabilitas Kumulatif	0	0,347306	0,918158	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand* () pada *microsoft excel* maka terpilih 0,933134 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul W6 karena  $0,933134 \leq 1$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-4 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N25 lalu ke simpul N24 kemudian ke simpul N21 lalu ke simpul N20 kemudian ke simpul W6 dan *tabu list* semut ke-4 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul W6.

e. **Semut ke-5 ( $k_5$ )**

**Tabu list: N26**

Simpul awal adalah N26. Simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N26 adalah simpul N25, N27 dan W4. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum_{u \in J_i^5} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{5,8}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{4}\right)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{9,4}\right)^2 \\
 &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,172414)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 (0,25)^2 + (0,01)^1 (0,106383)^2 \\
 &= 0 + 0,000297 + 0,000625 + 0,000113 \\
 &= 0,001035
 \end{aligned}$$

$$\text{Simpul N26} \quad P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^5} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,001035} = 0$$

$$\text{Simpul N25} \quad P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^5} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000297}{0,001035} = 0,287091$$

$$\text{Simpul N27} \quad P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^5} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000625}{0,001035} = 0,603609$$

$$\text{Simpul W4} \quad P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^5} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000113}{0,001035} = 0,109300$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N26 dengan simpul N25, N27, dan W4 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^5 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^5 + kumulatif_{2-1} = 0,287091 + 0 = 0,287091$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^5 + kumulatif_{3-1} = 0,604 + 0,287 = 0,891$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^5 + kumulatif_{4-1} = 0,109300 + 0,890700 = 1$$

**Tabel 4.13 Probabilitas Semut ke-5 Antara Simpul N26 ke Simpul Lainnya**

	N26	N25	N27	W4
N26	0	0,287091	0,603609	0,109300
Probabilitas Kumulatif	0	0,287091	0,890700	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand* () pada *microsoft excel* maka terpilih 0,573850 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul N27 karena  $0,573850 \leq 0,890700$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-5 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N27. Selanjutnya semut akan berjalan dari simpul awal yaitu simpul N27, di mana simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N25 adalah simpul N26, W3 dan W4. Simpul N26 sudah tercatat di dalam *tabu list* sehingga semut tidak akan mengunjunginya kembali. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\sum_{u \in J_i^5} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{7,1}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{18,8}\right)^2 \\
&= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,140845)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 (0,053191)^2 \\
&= 0 + 0,000198 + 0,000028 \\
&= 0,000226
\end{aligned}$$

$$\text{Simpul N27} \quad P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^5} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,000226} = 0$$

$$\text{Simpul W4} \quad P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^5} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000198}{0,000226} = 0,875176$$

$$\text{Simpul W3} \quad P_{ij}^5 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^5} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000028}{0,000226} = 0,124824$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N27 dengan simpul W4, dan W3 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^5 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^5 + kumulatif_{2-1} = 0,875176 + 0 = 0,875176$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^5 + kumulatif_{3-1} = 0,124824 + 0,875176 = 1$$

**Tabel 4.14 Probabilitas Semut ke-5 Antara Simpul N27 ke Simpul Lainnya**

	N27	W4	W3
N27	0	0,875176	0,124824
Probabilitas Kumulatif	0	0,875176	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand* () pada *microsoft excel* maka terpilih 0,245471 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul W4 karena  $0,245471 \leq 0,875176$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-5 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N2 lalu ke simpul W4 dan *tabu list* semut ke-5 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul W4.

**f. Semut ke-6 ( $k_6$ )**

***Tabu list: N26***

Simpul awal adalah N26. Simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N26 adalah simpul N25, N27 dan W4. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{5,8}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{4}\right)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{9,4}\right)^2 \\
 &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,172414)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 (0,25)^2 + (0,01)^1 (0,106383)^2 \\
 &= 0 + 0,000297 + 0,000625 + 0,000113 \\
 &= 0,001035
 \end{aligned}$$

$$\text{Simpul N26} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,001035} = 0$$

$$\text{Simpul N25} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000297}{0,001035} = 0,287091$$

$$\text{Simpul N27} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000625}{0,001035} = 0,603609$$

$$\text{Simpul W4} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000113}{0,001035} = 0,109300$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N26 dengan simpul N25, N27, dan W4 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^6 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^6 + kumulatif_{2-1} = 0,287091 + 0 = 0,287091$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^6 + kumulatif_{3-1} = 0,604 + 0,287 = 0,891$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^6 + kumulatif_{4-1} = 0,109300 + 0,890700 = 1$$

**Tabel 4.15 Probabilitas Semut ke-6 Antara Simpul N26 ke Simpul Lainnya**

	N26	N25	N27	W4
N26	0	0,287091	0,603609	0,109300
Probabilitas Kumulatif	0	0,287091	0,890700	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand* () pada *microsoft excel* maka terpilih 0,240752 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul N25 karena  $0,240752 \leq 0,287091$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-6 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N25. Selanjutnya semut akan berjalan dari simpul awal yaitu simpul N25, di mana simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N25 adalah simpul N26, N24 dan W5. Simpul N26 sudah tercatat di dalam *tabu list* sehingga semut tidak akan mengunjunginya

kembali. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{2,8}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{5}\right)^2 \\
 &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,357143)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 (0,2)^2 \\
 &= 0 + 0,001276 + 0,0004 \\
 &= 0,001676
 \end{aligned}$$

$$\text{Simpul N25} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,001676} = 0$$

$$\text{Simpul N24} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,001276}{0,001676} = 0,761267$$

$$\text{Simpul W5} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,0004}{0,001676} = 0,238733$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N25 dengan simpul N24 dan W5 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^6 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^6 + kumulatif_{2-1} = 0,761267 + 0 = 0,761267$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^6 + kumulatif_{3-1} = 0,238733 + 0,761267 = 1$$

**Tabel 4.16 Probabilitas Semut ke-6 Antara Simpul N25 ke Simpul Lainnya**

	N25	N24	W5
N25	0	0,761267	0,238733
Probabilitas Kumulatif	0	0,761267	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand* () pada *microsoft excel* maka terpilih 0,659922 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul N24 karena  $0,659922 \leq 0,761267$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-6 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N25 lalu ke simpul N24. Selanjutnya semut akan berjalan dari simpul awal yaitu simpul N24, di mana simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N24 adalah simpul N25, N23 dan N21. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{2,8}\right)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{1,9}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{3,1}\right)^2 \\
 &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,357143)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 (0,526316)^2 + (0,01)^1 (0,322581)^2 \\
 &= 0 + 0,001276 + 0,002770 + 0,001041 \\
 &= 0,005086
 \end{aligned}$$

$$\text{Simpul N24} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,005086} = 0$$

$$\text{Simpul N25} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,001276}{0,005086} = 0,250780$$

$$\text{Simpul N23} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,002770}{0,005086} = 0,544630$$

$$\text{Simpul N21} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,001041}{0,005086} = 0,204590$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N24 dengan simpul N25, N23, dan N21 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^6 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^6 + kumulatif_{2-1} = 0,250780 + 0 = 0,250780$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^6 + kumulatif_{3-1} = 0,545 + 0,251 = 0,796$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^6 + kumulatif_{4-1} = 0,204590 + 0,795410 = 1$$

**Tabel 4.17 Probabilitas Semut ke-6 Antara Simpul N24 ke Simpul Lainnya**

	N24	N25	N23	N21
N24	0	0,250780	0,544630	0,204590
Probabilitas Kumulatif	0	0,250780	0,795410	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand ()* pada *microsoft excel* maka terpilih 0,356578 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul N23 karena  $0,356578 \leq 0,795410$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-6 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N25 kemudian ke simpul N24 lalu ke simpul N23. Selanjutnya semut akan berjalan dari simpul awal yaitu simpul N23, di mana simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N23 adalah simpul N24, N22, N30, dan W5. Untuk menentukan simpul yang dituju

berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{3}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{4,1}\right)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{12,8}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{4,8}\right)^2 \\
&= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,333333)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 (0,243902)^2 + (0,01)^1 (0,78125)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 (0,208333)^2 \\
&= 0 + 0,001111 + 0,000595 + 0,000061 + \\
&\quad 0,000434 \\
&= 0,002201
\end{aligned}$$

$$\text{Simpul N23} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,002201} = 0$$

$$\text{Simpul N24} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,001111}{0,002201} = 0,504808$$

$$\text{Simpul N22} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000595}{0,002201} = 0,270272$$

$$\text{Simpul N30} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000061}{0,002201} = 0,027730$$

$$\text{Simpul W5} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000434}{0,002201} = 0,197191$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N23 dengan simpul N24, N22, N30 dan W5 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^6 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^6 + kumulatif_{2-1} = 0,504808 + 0 = 0,504808$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^6 + kumulatif_{3-1} = 0,270 + 0,505 = 0,775$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^6 + kumulatif_{4-1} = 0,028 + 0,775 = 0,803$$

$$kumulatif_5 = P_{ij}^6 + kumulatif_{5-1} = 0,197191 + 0,802809 = 1$$

**Tabel 4.18 Probabilitas Semut ke-6 Antara Simpul N23 ke Simpul Lainnya**

	N23	N24	N22	N30	W5
N23	0	0,504808	0,270272	0,027730	0,197191
Probabilitas Kumulatif	0	0,504808	0,775080	0,802809	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand ()* pada *microsoft excel* maka terpilih 0,608148 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul N22 karena  $0,608148 \leq 0,775080$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-6 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N25 lalu ke simpul N24 kemudian ke simpul N23 lalu ke simpul N22. Selanjutnya semut akan berjalan dari simpul awal yaitu N22, di mana simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N22 adalah simpul N21, N23 dan N30 Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{5,2}\right)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{4,1}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{12,7}\right)^2 \\
&= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,192308)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 (0,243902)^2 + (0,01)^1 (0,078740)^2 \\
&= 0 + 0,000370 + 0,000595 + 0,000062 \\
&= 0,001027
\end{aligned}$$

$$\text{Simpul N22} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,001027} = 0$$

$$\text{Simpul N21} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000370}{0,001027} = 0,360203$$

$$\text{Simpul N23} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000595}{0,001027} = 0,579410$$

$$\text{Simpul N30} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000062}{0,001027} = 0,060387$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N22 dengan simpul N21, N23, dan N30 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^6 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^6 + kumulatif_{2-1} = 0,360203 + 0 = 0,360203$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^6 + kumulatif_{3-1} = 0,579 + 0,360 = 0,939$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^6 + kumulatif_{4-1} = 0,060387 + 0,939613 = 1$$

**Tabel 4.19 Probabilitas Semut ke-6 Antara Simpul N22 ke Simpul Lainnya**

	N22	N21	N23	N30
N22	0	0,360203	0,579410	0,060387
Probabilitas Kumulatif	0	0,360203	0,939613	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand* () pada *microsoft excel* maka terpilih 0,940946 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul N30 karena  $0,940946 \leq 1$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-6 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N2 lalu ke simpul N24 lalu ke simpul N23 kemudian ke simpul N22 lalu ke simpul N30. Selanjutnya semut akan berjalan dari simpul awal yaitu N30, di mana simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N30 adalah simpul N32, N23, N22, W1, W2, dan W5. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{25,1}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{12,8}\right)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{12,7}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{54,1}\right)^2 + \\
&\quad + (0,01)^1 \left(\frac{1}{6,3}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{15,7}\right)^2 \\
&= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,039841)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 (0,078125)^2 + (0,01)^1 (0,078740)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 (0,018484)^2 + (0,01)^1 (0,15873)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 (0,063694)^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0 + 0,000016 + 0,000061 + 0,000062 + \\
&\quad 0,000003 + 0,000252 + 0,000040 \\
&= 0,000435
\end{aligned}$$

$$\text{Simpul N30} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,000435} = 0$$

$$\text{Simpul N32} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000016}{0,000435} = 0,036502$$

$$\text{Simpul N23} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000061}{0,000435} = 0,140360$$

$$\text{Simpul N22} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000062}{0,000435} = 0,142579$$

$$\text{Simpul W1} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000003}{0,000435} = 0,007857$$

$$\text{Simpul W2} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000252}{0,000435} = 0,579405$$

$$\text{Simpul W5} \quad P_{ij}^6 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^6} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000040}{0,000435} = 0,093296$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N22 dengan simpul N21, N23, dan N30 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^6 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^6 + kumulatif_{2-1} = 0,04 + 0 = 0,04$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^6 + kumulatif_{3-1} = 0,14 + 0,04 = 0,18$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^6 + kumulatif_{4-1} = 0,14 + 0,18 = 0,32$$

$$kumulatif_5 = P_{ij}^6 + kumulatif_{5-1} = 0,01 + 0,32 = 0,33$$

$$kumulatif_6 = P_{ij}^6 + kumulatif_{6-1} = 0,58 + 0,33 = 0,91$$

$$kumulatif_7 = P_{ij}^6 + kumulatif_{7-1} = 0,09 + 0,91 = 1$$

**Tabel 4.20 Probabilitas Semut ke-6 Antara Simpul N30 ke Simpul Lainnya**

	N30	N32	N23	N22	W1	W2	W5
N30	0	0,04	0,14	0,14	0,01	0,58	0,09
Probabilitas Kumulatif	0	0,04	0,18	0,32	0,33	0,91	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand* () pada *microsoft excel* maka terpilih 0,502381 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul W2 karena  $0,502381 \leq 0,906704$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-6 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N25 lalu ke simpul N24 kemudian ke simpul N23 lalu ke simpul N22 kemudian ke simpul N30 lalu ke simpul W2 dan *tabu list* semut ke-6 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul W2.

**g. Semut ke-7 ( $k_7$ )**

***Tabu list*: N26**

Simpul awal adalah N26. Simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N26 adalah simpul N25, N27 dan W4. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\sum_{u \in J_i^7} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{5,8}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{4}\right)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{9,4}\right)^2 \\
&= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,172414)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 (0,25)^2 + (0,01)^1 (0,106383)^2 \\
&= 0 + 0,000297 + 0,000625 + 0,000113 \\
&= 0,001035
\end{aligned}$$

$$\text{Simpul N26} \quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^7} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,001035} = 0$$

$$\text{Simpul N25} \quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^7} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000297}{0,001035} = 0,287091$$

$$\text{Simpul N27} \quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^7} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000625}{0,001035} = 0,603609$$

$$\text{Simpul W4} \quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^7} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000113}{0,001035} = 0,109300$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N26 dengan simpul N25, N27, dan W4 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^7 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^7 + kumulatif_{2-1} = 0,287091 + 0 = 0,287091$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^7 + kumulatif_{3-1} = 0,604 + 0,287 = 0,891$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^7 + kumulatif_{4-1} = 0,109300 + 0,890700 = 1$$

**Tabel 4.21 Probabilitas Semut ke-7 Antara Simpul N26 ke Simpul Lainnya**

	N26	N25	N27	W4
N26	0	0,287091	0,603609	0,109300
Probabilitas Kumulatif	0	0,287091	0,890700	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi  $Rand()$  pada *microsoft excel* maka terpilih 0,004102 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul N25 karena  $0,004102 \leq 0,287091$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-7 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N25. Selanjutnya semut akan berjalan dari simpul awal yaitu simpul N25, di mana simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N25 adalah simpul N26, N24 dan W5. Simpul N26 sudah tercatat di dalam *tabu list* sehingga semut tidak akan mengunjunginya kembali. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum_{u \in J_i^7} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{2,8}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{5}\right)^2 \\
 &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,357143)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 (0,2)^2 \\
 &= 0 + 0,001276 + 0,0004 \\
 &= 0,001676
 \end{aligned}$$

$$\text{Simpul N25} \quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^7} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,001676} = 0$$

$$\text{Simpul N24} \quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^7} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000198}{0,001676} = 0,761267$$

$$\text{Simpul W5} \quad P_{ij}^7 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^7} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000028}{0,001676} = 0,238733$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N25 dengan simpul N24, dan W5 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^7 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^7 + kumulatif_{2-1} = 0,761267 + 0 = 0,761267$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^7 + kumulatif_{3-1} = 0,238733 + 0,761267 = 1$$

**Tabel 4.22 Probabilitas Semut ke-7 Antara Simpul N25 ke Simpul Lainnya**

	N25	N24	W5
N25	0	0,761267	0,238733
Probabilitas Kumulatif	0	0,761267	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand ()* pada *microsoft excel* maka terpilih 0,878670 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul W5 karena  $0,878670 \leq 1$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-7 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N25 lalu ke simpul W5 dan *tabu list* semut ke-7 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul W5.

#### **h. Semut ke-8 ( $k_8$ )**

##### ***Tabu list*: N26**

Simpul awal adalah N26. Simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N26 adalah simpul N25, N27 dan W4. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{5,8}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{4}\right)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{9,4}\right)^2 \\
&= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,172414)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 (0,25)^2 + (0,01)^1 (0,106383)^2 \\
&= 0 + 0,000297 + 0,000625 + 0,000113 \\
&= 0,001035
\end{aligned}$$

$$\text{Simpul N26} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,001035} = 0$$

$$\text{Simpul N25} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000297}{0,001035} = 0,287091$$

$$\text{Simpul N27} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000625}{0,001035} = 0,603609$$

$$\text{Simpul W4} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000113}{0,001035} = 0,109300$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N26 dengan simpul N25, N27, dan W4 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^8 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^8 + kumulatif_{2-1} = 0,287091 + 0 = 0,287091$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^8 + kumulatif_{3-1} = 0,604 + 0,287 = 0,891$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^8 + kumulatif_{4-1} = 0,109300 + 0,890700 = 1$$

**Tabel 4.23 Probabilitas Semut ke-8 antara Simpul N26 ke Simpul Lainnya**

	N26	N25	N27	W4
N26	0	0,287091	0,603609	0,109300
Probabilitas Kumulatif	0	0,287091	0,890700	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand ()* pada *microsoft excel* maka terpilih 0,182922 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul N25 karena  $0,182922 \leq 0,287091$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-8 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N25. Selanjutnya semut akan berjalan dari simpul awal yaitu simpul N25, di mana simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N25 adalah simpul N26, N24 dan W5. Simpul N26 sudah tercatat di dalam *tabu list* sehingga semut tidak akan mengunjunginya kembali. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{2,8}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{5}\right)^2 \\
 &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,357143)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 (0,2)^2 \\
 &= 0 + 0,001276 + 0,0004 \\
 &= 0,001676
 \end{aligned}$$

$$\text{Simpul N25} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,001676} = 0$$

$$\text{Simpul N24} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000198}{0,001676} = 0,761267$$

$$\text{Simpul W5} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000028}{0,001676} = 0,238733$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N25 dengan simpul N24, dan W5 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^8 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^8 + kumulatif_{2-1} = 0,761267 + 0 = 0,761267$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^8 + kumulatif_{3-1} = 0,238733 + 0,761267 = 1$$

**Tabel 4.24 Probabilitas Semut ke-8 Antara Simpul N25 ke Simpul Lainnya**

	N25	N24	W5
N25	0	0,761267	0,238733
Probabilitas Kumulatif	0	0,761267	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand* () pada *microsoft excel* maka terpilih 0,596978 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul N24 karena  $0,596978 \leq 0,761267$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-8 menjadi  $N26 \rightarrow N25 \rightarrow N24$ . Selanjutnya semut akan berjalan dari simpul awal = N24, di mana simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N24 adalah simpul N25, N23 dan N21. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{2,8}\right)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{1,9}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{3,1}\right)^2 \\
&= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,357143)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 (0,526316)^2 + (0,01)^1 (0,322581)^2 \\
&= 0 + 0,001275 + 0,002770 + 0,001041 \\
&= 0,005086
\end{aligned}$$

$$\text{Simpul N24} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,005086} = 0$$

$$\text{Simpul N25} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,001276}{0,005086} = 0,250780$$

$$\text{Simpul N23} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,002770}{0,005086} = 0,544630$$

$$\text{Simpul N21} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,001041}{0,005086} = 0,204590$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N24 dengan simpul N25, N23, dan N21 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^8 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^8 + kumulatif_{2-1} = 0,250780 + 0 = 0,250780$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^8 + kumulatif_{3-1} = 0,545 + 0,250 = 0,795$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^8 + kumulatif_{4-1} = 0,204590 + 0,795410 = 1$$

**Tabel 4.25 Probabilitas Semut ke-8 Antara Simpul N24 ke Simpul Lainnya**

	N24	N25	N23	N21
N24	0	0,250780	0,544630	0,204590
Probabilitas Kumulatif	0	0,250780	0,795410	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand ()* pada *microsoft excel* maka terpilih 0,837142 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul N21 karena  $0,837142 \leq 1$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-8 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N25 lalu ke simpul N24 kemudian ke simpul N21. Selanjutnya semut akan berjalan dari simpul awal yaitu simpul N21, di mana simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N21 adalah simpul N24, N22, dan N20. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{3,1}\right)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{5,2}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{5}\right)^2 \\
 &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,322581)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 (0,192308)^2 + (0,01)^1 (0,2)^2 \\
 &= 0 + 0,001041 + 0,000370 + 0,000400 \\
 &= 0,00181
 \end{aligned}$$

$$\text{Simpul N21} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,00181} = 0$$

$$\text{Simpul N24} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,001276}{0,00181} = 0,574779$$

$$\text{Simpul N22} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,00277}{0,00181} = 0,204276$$

$$\text{Simpul N20} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,001041}{0,00181} = 0,220945$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N21 dengan simpul N24, N22, dan N20 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^8 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^8 + kumulatif_{2-1} = 0,574779 + 0 = 0,574779$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^8 + kumulatif_{3-1} = 0,204 + 0,575 = 0,779$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^8 + kumulatif_{4-1} = 0,220945 + 0,779055 = 1$$

**Tabel 4.26 Probabilitas Semut ke-8 Antara Simpul N21 ke Simpul Lainnya**

	N21	N24	N22	N20
N21	0	0,574779	0,204276	0,220945
Probabilitas Kumulatif	0	0,574779	0,779055	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand* () pada *microsoft excel* maka terpilih 0,798987 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul N20 karena  $0,798987 \leq 1$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-4 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N25 kemudian ke simpul N24 lalu ke simpul N21 kemudian ke simpul N20. Selanjutnya semut akan berjalan dari simpul awal yaitu N20, di mana simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N20 adalah simpul N21, N19 dan W6. Untuk menentukan simpul yang dituju

berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{5}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{3,9}\right)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{10,3}\right)^2 \\
 &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,2)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 (0,25641)^2 + (0,01)^1 (0,097087)^2 \\
 &= 0 + 0,0004 + 0,000657 + 0,000094 \\
 &= 0,001152
 \end{aligned}$$

$$\text{Simpul N20} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,001152} = 0$$

$$\text{Simpul N21} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,0004}{0,001152} = 0,347306$$

$$\text{Simpul N19} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000657}{0,001152} = 0,570852$$

$$\text{Simpul W6} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000094}{0,001152} = 0,081842$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N26 dengan simpul N25, N27, dan W4 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^8 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^8 + kumulatif_{2-1} = 0,347306 + 0 = 0,347306$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^8 + kumulatif_{3-1} = 0,571 + 0,347 = 0,918$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^8 + kumulatif_{4-1} = 0,081842 + 0,918158 = 1$$

**Tabel 4.27 Probabilitas Semut ke-8 Antara Simpul N20 ke Simpul Lainnya**

	N20	N21	N19	W6
N20	0	0,347306	0,570852	0,081842
Probabilitas Kumulatif	0	0,347306	0,918158	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand ()* pada *microsoft excel* maka terpilih 0,395213 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul N19 karena  $0,395213 \leq 0,918158$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-8 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N25 kemudian ke simpul N24 lalu ke simpul N21 kemudian ke simpul N20 lalu ke simpul N19. Selanjutnya semut akan berjalan dari simpul awal yaitu N19, di mana simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N19 adalah simpul N20, N28, N18, dan W6. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{3,9}\right)^2 + \\ &\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{13,8}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{5,7}\right)^2 + \\ &\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{8,8}\right)^2 \\ &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,25641)^2 + \\ &\quad (0,01)^1 (0,072464)^2 + \\ &\quad (0,01)^1 (0,175439)^2 + (0,01)^1 (0,113636)^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0 + 0,000657 + 0,000053 + 0,000308 + \\
&\quad 0,000129 \\
&= 0,001147
\end{aligned}$$

$$\text{Simpul N19} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,001147} = 0$$

$$\text{Simpul N20} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000657}{0,001147} = 0,573256$$

$$\text{Simpul N28} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000053}{0,001147} = 0,045785$$

$$\text{Simpul N18} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000308}{0,001147} = 0,268366$$

$$\text{Simpul W6} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000129}{0,001147} = 0,112593$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N26 dengan simpul N25, N27, dan W4 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^8 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^8 + kumulatif_{2-1} = 0,573256 + 0 = 0,573256$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^8 + kumulatif_{3-1} = 0,046 + 0,573 = 0,619$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^8 + kumulatif_{4-1} = 0,268 + 0,619 = 0,887$$

$$kumulatif_5 = P_{ij}^8 + kumulatif_{5-1} = 0,112593 + 0,887407 = 1$$

**Tabel 4.28 Probabilitas Semut ke-8 Antara Simpul N19 ke Simpul Lainnya**

	N19	N20	N28	N18	W6
N21	0	0,573256	0,045785	0,268366	0,112593
Probabilitas Kumulatif	0	0,573256	0,619040	0,887407	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand ()* pada *microsoft excel* maka terpilih 0,822505 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul N18 karena  $0,822505 \leq 0,887407$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-8 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N25 kemudian ke simpul N24 lalu ke simpul N21 kemudian ke simpul N20 lalu ke simpul N19 kemudian ke simpul N18. Selanjutnya semut akan berjalan dari simpul awal yaitu N18, di mana simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N18 adalah simpul N19, N14, N8, dan N3. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{5,7}\right)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{19}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{14,4}\right)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{4,9}\right)^2 \\
&= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,175439)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 (0,052632)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 (0,069444)^2 + (0,01)^1 (0,204082)^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0 + 0,000308 + 0,000027 + 0,000048 + \\
&\quad 0,000416 \\
&= 0,0008
\end{aligned}$$

$$\text{Simpul N18} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,0008} = 0$$

$$\text{Simpul N19} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000308}{0,0008} = 0,384635$$

$$\text{Simpul N14} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000027}{0,0008} = 0,034617$$

$$\text{Simpul N8} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000048}{0,0008} = 0,060266$$

$$\text{Simpul N3} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000416}{0,0008} = 0,520482$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N18 dengan simpul N19, N14, N8 dan N3 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^8 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^8 + kumulatif_{2-1} = 0,384635 + 0 = 0,384635$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^8 + kumulatif_{3-1} = 0,0346 + 0,3846 = 0,419$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^8 + kumulatif_{4-1} = 0,060 + 0,419 = 0,479$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^8 + kumulatif_{4-1} = 0,520482 + 0,479518 = 1$$

**Tabel 4.29 Probabilitas Semut ke-8 Antara Simpul N18 ke Simpul Lainnya**

	N18	N19	N14	N8	N3
N18	0	0,384635	0,034617	0,060266	0,520482
Probabilitas Kumulatif	0	0,384635	0,419252	0,479518	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand ()* pada *microsoft excel* maka terpilih 0,404711 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul N14 karena  $0,40471 \leq 0,419252$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-8 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N25 lalu ke simpul N24 kemudian ke simpul N21 lalu ke simpul N20 kemudian ke simpul N19 lalu ke simpul N18 kemudian ke simpul N14. Selanjutnya semut akan berjalan dari simpul awal = N14, di mana simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N14 adalah simpul N16, N18, N12, dan W7. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{7}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{19}\right)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{9,8}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{3,1}\right)^2 \\
&= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,142857)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 (0,052632)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 (0,102041)^2 + (0,01)^1 (0,322581)^2 \\
&= 0 + 0,000204 + 0,000027 + 0,000104 + \\
&\quad 0,001041
\end{aligned}$$

$$= 0,001376$$

$$\text{Simpul N14} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,001376} = 0$$

$$\text{Simpul N16} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000204}{0,001376} = 0,148263$$

$$\text{Simpul N18} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000027}{0,001376} = 0,020124$$

$$\text{Simpul N12} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000104}{0,001376} = 0,075644$$

$$\text{Simpul W7} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,001041}{0,001376} = 0,755969$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N24 dengan simpul N16, N18, N12 dan W7 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^8 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^8 + kumulatif_{2-1} = 0,148263 + 0 = 0,148263$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^8 + kumulatif_{3-1} = 0,020 + 0,148 = 0,168$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^8 + kumulatif_{4-1} = 0,076 + 0,168 = 0,244$$

$$kumulatif_5 = P_{ij}^8 + kumulatif_{5-1} = 0,755969 + 0,244031 = 1$$

**Tabel 4.30 Probabilitas Semut ke-8 Antara Simpul N14 ke Simpul Lainnya**

	N14	N16	N18	N12	W7
N14	0	0,148263	0,020124	0,075644	0,755969
Probabilitas Kumulatif	0	0,148263	0,168387	0,244031	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand ()* pada *microsoft excel* maka terpilih 0,209966 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul N12 karena  $0,209966 \leq 0,244031$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-8 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N25 kemudian ke simpul N24 lalu ke simpul N21 kemudian ke simpul N20 lalu ke simpul N19 kemudian ke simpul N18 lalu ke simpul N14 kemudian ke simpul N12. Selanjutnya semut akan berjalan dari simpul awal yaitu simpul N12, di mana simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N12 adalah simpul N14, N9, N13, dan N11. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{9,8}\right)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{3,2}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{11,4}\right)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{11,4}\right)^2 \\
 &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,102041)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 (0,3125)^2 + (0,01)^1 (0,087719)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 (0,087719)^2 \\
 &= 0 + 0,000104 + 0,000977 + 0,000077 + \\
 &\quad 0,000077 \\
 &= 0,001235
 \end{aligned}$$

$$\text{Simpul N12} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,001235} = 0$$

$$\text{Simpul N14} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000104}{0,001235} = 0,084339$$

$$\text{Simpul N9} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000977}{0,001235} = 0,0791008$$

$$\text{Simpul N13} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000077}{0,001235} = 0,062326$$

$$\text{Simpul N11} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000077}{0,001235} = 0,062326$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N12 dengan simpul N14, N9, N13, dan N11 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^8 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^8 + kumulatif_{2-1} = 0,084339 + 0 = 0,084339$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^8 + kumulatif_{3-1} = 0,791 + 0,084 = 0,875$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^8 + kumulatif_{4-1} = 0,062 + 0,875 = 0,937$$

$$kumulatif_5 = P_{ij}^8 + kumulatif_{5-1} = 0,062326 + 0,937674 = 1$$

**Tabel 4.31 Probabilitas Semut ke-8 Antara Simpul N12 ke Simpul Lainnya**

	N12	N14	N9	N13	N11
N12	0	0,084339	0,79101	0,062326	0,062326
Probabilitas Kumulatif	0	0,084339	0,875347	0,937674	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand* () pada *microsoft excel* maka terpilih 0,885112 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul N13 karena  $0,885112 \leq 0,937674$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-8 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N25 lalu ke simpul N24 kemudian ke simpul N21 lalu ke simpul N20 kemudian ke simpul N19 lalu ke simpul N18 kemudian ke simpul N14 lalu ke simpul N12 kemudian ke simpul N13. Selanjutnya semut akan berjalan dari simpul awal yaitu simpul N13, di mana simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N13 adalah simpul N12, N11, dan W7. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{11,4}\right)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{1,7}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{3,8}\right)^2 \\
 &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,0087719)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 (0,588235)^2 + (0,01)^1 (0,263158)^2 \\
 &= 0 + 0,000077 + 0,00346 + 0,000693 \\
 &= 0,00423
 \end{aligned}$$

$$\text{Simpul N13} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,001235} = 0$$

$$\text{Simpul N12} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000077}{0,00423} = 0,018192$$

$$\text{Simpul N11} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,00346}{0,00423} = 0,818079$$

$$\text{Simpul W7} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000693}{0,00423} = 0,163729$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N13 dengan simpul N12, N11, dan W7 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^8 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^8 + kumulatif_{2-1} = 0,018192 + 0 = 0,018192$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^8 + kumulatif_{3-1} = 0,818 + 0,018 = 0,836$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^8 + kumulatif_{4-1} = 0,163729 + 0,836271 = 1$$

**Tabel 4.32 Probabilitas Semut ke-8 Antara Simpul N13 ke Simpul Lainnya**

	N13	N12	N11	W7
N13	0	0,018192	0,818079	0,163729
Probabilitas Kumulatif	0	0,018192	0,836271	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand* () pada *microsoft excel* maka terpilih 0,092069 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul N11 karena  $0,092069 \leq 0,836271$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-8 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N25 kemudian ke simpul N24 lalu ke simpul N21 kemudian ke simpul N20 lalu ke simpul N19 kemudian ke simpul N18 lalu ke simpul N14 kemudian ke simpul N12 lalu ke simpul N13 menuju ke simpul N11. Selanjutnya semut akan berjalan dari simpul awal

adalah N11, di mana simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N13 adalah simpul N13 N12, N10, dan W8. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{1,7}\right)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{11,4}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{9,2}\right)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{13,2}\right)^2 \\
&= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,588235)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 (0,087719)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 (0,108696)^2 + (0,01)^1 (0,075758)^2 \\
&= 0 + 0,00346 + 0,000077 + 0,000118 + \\
&\quad 0,000057 \\
&= 0,003713
\end{aligned}$$

$$\text{Simpul N11} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,003713} = 0$$

$$\text{Simpul N13} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,00346}{0,003713} = 0,931994$$

$$\text{Simpul N12} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000077}{0,003713} = 0,020725$$

$$\text{Simpul N10} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000118}{0,003713} = 0,031823$$

$$\text{Simpul W8} \quad P_{ij}^8 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^8} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000057}{0,003713} = 0,015458$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N26 dengan simpul N25, N27, dan W4 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^8 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^8 + kumulatif_{2-1} = 0,931994 + 0 = 0,931994$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^8 + kumulatif_{3-1} = 0,021 + 0,932 = 0,953$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^8 + kumulatif_{4-1} = 0,032 + 0,953 = 0,985$$

$$kumulatif_5 = P_{ij}^8 + kumulatif_{5-1} = 0,015458 + 0,984542 = 1$$

**Tabel 4.33 Probabilitas Semut ke-8 Antara Simpul N11 ke Simpul Lainnya**

	N11	N13	N12	N10	W8
N13	0	0,931994	0,020725	0,031823	0,015458
Probabilitas Kumulatif	0	0,931994	0,952719	0,984542	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand* () pada *microsoft excel* maka terpilih 0,999184 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul W8 karena  $0,999184 \leq 1$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-8 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N25 kemudian ke simpul N24 lalu ke simpul N21 kemudian ke simpul N20 lalu ke simpul N19 kemudian ke simpul N18 lalu ke simpul N14 kemudian ke simpul N12 lalu ke simpul N13 kemudian ke simpul N11 lalu ke simpul W8 dan *tabu list* semut ke-8 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul W8.

**i. Semut ke-9 ( $k_9$ )**

**Tabu list: N26**

Simpul awal adalah N26. Simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N26 adalah simpul N25, N27 dan W4. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum_{u \in J_i^9} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{5,8}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{4}\right)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{9,4}\right)^2 \\
 &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,172414)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 (0,25)^2 + (0,01)^1 (0,106383)^2 \\
 &= 0 + 0,000297 + 0,000625 + 0,000113 \\
 &= 0,001035
 \end{aligned}$$

$$\text{Simpul N26} \quad P_{ij}^9 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^9} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,001035} = 0$$

$$\text{Simpul N25} \quad P_{ij}^9 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^9} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000297}{0,001035} = 0,287091$$

$$\text{Simpul N27} \quad P_{ij}^9 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^9} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000625}{0,001035} = 0,603609$$

$$\text{Simpul W4} \quad P_{ij}^9 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^9} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000113}{0,001035} = 0,109300$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N26 dengan simpul N25, N27, dan W4 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^9 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^9 + kumulatif_{2-1} = 0,287091 + 0 = 0,287091$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^9 + kumulatif_{3-1} = 0,604 + 0,287 = 0,891$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^9 + kumulatif_{4-1} = 0,109300 + 0,890700 = 1$$

**Tabel 4.34 Probabilitas Semut ke-9 Antara Simpul N26 ke Simpul Lainnya**

	N26	N25	N27	W4
N26	0	0,287091	0,603609	0,109300
Probabilitas Kumulatif	0	0,287091	0,890700	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand ()* pada *microsoft excel* maka terpilih 0,052507 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul N25 karena  $0,052507 \leq 1$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-9 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N25. Selanjutnya semut akan berjalan dari simpul awal yaitu N25, di mana simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N25 adalah simpul N26, N24 dan W5. Simpul N26 sudah tercatat di dalam *tabu list* sehingga semut tidak akan mengunjunginya kembali. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\sum_{u \in J_i^9} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{2,8}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{5}\right)^2 \\
&= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,357143)^2 + \\
&\quad (0,01)^1 (0,2)^2 \\
&= 0 + 0,001276 + 0,0004 \\
&= 0,001676
\end{aligned}$$

$$\text{Simpul N25} \quad P_{ij}^9 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^9} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,001676} = 0$$

$$\text{Simpul N24} \quad P_{ij}^9 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^9} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,001276}{0,001676} = 0,761267$$

$$\text{Simpul W5} \quad P_{ij}^9 = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^9} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,0004}{0,001676} = 0,238733$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N25 dengan simpul N24 dan W5 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^1 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^1 + kumulatif_{2-1} = 0,761267 + 0 = 0,761267$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^1 + kumulatif_{3-1} = 0,238733 + 0,761267 = 1$$

**Tabel 4.35 Probabilitas Semut ke-9 Antara Simpul N25 ke Simpul Lainnya**

	N25	N24	W5
N25	0	0,761267	0,238733
Probabilitas Kumulatif	0	0,761267	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand* () pada *microsoft excel* maka terpilih 0,922529 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul W5 karena  $0,922529 \leq 1$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-9 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul N25 lalu ke simpul W5 dan *tabu list* semut ke-9 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul W5.

**j. Semut ke-10 ( $k_{10}$ )**

***Tabu list: N26***

Simpul awal adalah N26. Simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N26 adalah simpul N25, N27 dan W4. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum_{u \in J_i^{10}} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{5,8}\right)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{4}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{9,4}\right)^2 \\
 &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,172414)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 (0,25)^2 + (0,01)^1 (0,106383)^2 \\
 &= 0 + 0,000297 + 0,000625 + 0,000113 \\
 &= 0,001035
 \end{aligned}$$

$$\text{Simpul N26} \quad P_{ij}^{10} = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^{10}} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,001035} = 0$$

$$\text{Simpul N25} \quad P_{ij}^{10} = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^{10}} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000297}{0,001035} = 0,287091$$

$$\text{Simpul N27} \quad P_{ij}^{10} = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^{10}} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000625}{0,001035} = 0,603609$$

$$\text{Simpul W4} \quad P_{ij}^{10} = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^{10}} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000113}{0,001035} = 0,109300$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N26 dengan simpul N25, N27, dan W4 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^1 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^1 + kumulatif_{2-1} = 0,287091 + 0 = 0,287091$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^1 + kumulatif_{3-1} = 0,604 + 0,287 = 0,891$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^1 + kumulatif_{4-1} = 0,109300 + 0,890700 = 1$$

**Tabel 4.36 Probabilitas Semut ke-10 Antara Simpul N26 ke Simpul Lainnya**

	N26	N25	N27	W4
N26	0	0,287091	0,603609	0,109300
Probabilitas Kumulatif	0	0,287091	0,890700	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand* () pada *microsoft excel* maka terpilih 0,964516 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul W4 karena  $0,964516 \leq 1$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-10 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul W4 dan *tabu list* semut ke-10 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul W4.

**k. Semut ke-11 ( $k_{11}$ )**

**Tabu list: N26**

Simpul awal adalah N26. Simpul-simpul yang terhubung dengan simpul N26 adalah simpul N25, N27 dan W4. Untuk menentukan simpul yang dituju berikutnya maka akan dilakukan perhitungan probabilitas setiap simpul yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sum_{u \in J_i^{11}} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{5,8}\right)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 \left(\frac{1}{4}\right)^2 + (0,01)^1 \left(\frac{1}{9,4}\right)^2 \\
 &= (0,01)^1 (0)^2 + (0,01)^1 (0,172414)^2 + \\
 &\quad (0,01)^1 (0,25)^2 + (0,01)^1 (0,106383)^2 \\
 &= 0 + 0,000297 + 0,000625 + 0,000113 \\
 &= 0,001035
 \end{aligned}$$

$$\text{Simpul N26} \quad P_{ij}^{11} = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^{11}} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0}{0,001035} = 0$$

$$\text{Simpul N25} \quad P_{ij}^{11} = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^{11}} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000297}{0,001035} = 0,287091$$

$$\text{Simpul N27} \quad P_{ij}^{11} = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^{11}} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,00625}{0,001035} = 0,603609$$

$$\text{Simpul W4} \quad P_{ij}^{11} = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^{11}} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta} = \frac{0,000113}{0,001035} = 0,109300$$

Setelah mendapatkan probabilitas setiap simpul, maka dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif antara simpul N26 dengan simpul N25, N27, dan W4 melalui perhitungan sebagai berikut:

$$kumulatif_1 = P_{ij}^1 + kumulatif_{1-1} = 0$$

$$kumulatif_2 = P_{ij}^1 + kumulatif_{2-1} = 0,287091 + 0 = 0,287091$$

$$kumulatif_3 = P_{ij}^1 + kumulatif_{3-1} = 0,604 + 0,287 = 0,891$$

$$kumulatif_4 = P_{ij}^1 + kumulatif_{4-1} = 0,109300 + 0,890700 = 1$$

**Tabel 4.37 Probabilitas Semut ke-11 Antara Simpul N26 ke Simpul Lainnya**

	N26	N25	N27	W4
N26	0	0,287091	0,603609	0,109300
Probabilitas Kumulatif	0	0,287091	0,890700	1

Selanjutnya dibangkitkan bilangan random ( $q$ ) dengan  $0 < q < 1$  menggunakan fungsi *Rand* () pada *microsoft excel* maka terpilih 0,928017 sehingga simpul yang dituju selanjutnya adalah simpul W4 karena  $0,928017 \leq 1$ . Dengan demikian, rute perjalanan semut ke-11 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul W4 dan *tabu list* semut ke-11 adalah dari simpul N26 menuju ke simpul W4.

Setelah setiap semut sampai di destinasi wisata pertama maka langkah selanjutnya yaitu masing-masing semut melanjutkan perjalanannya menuju ke destinasi wisata yang kedua melalui proses perhitungan yang sama seperti pada sebelumnya. Setelah setiap semut sampai di destinasi wisata kedua maka setiap semut akan melakukan perjalanan menuju ke destinasi wisata ketiga melalui proses perhitungan yang sama seperti sebelumnya begitu seterusnya. Pencarian rute terus

berlanjut sampai semua destinasi wisata dikunjungi tepat satu kali lalu kembali ke lokasi asal. Berikut ini pada Tabel 4.38 didapatkan hasil rute perjalanan masing-masing semut dan perubahan intensitas jejak semut atau *pheromone* untuk siklus pertama:

**Tabel 4.38 Rute Perjalanan Semut dan Perubahan Intensitas *Pheromone***

Semut	<i>Tabu List</i>	Panjang (km)	$\Delta\tau_{ij}^k$
$k_1$	N26 → W3 → W1 → W2 → W6 → W7 → W8 → W9 → W10 → W11 → W5 → W4 → N26	489	0,00205
$k_2$	N26 → W4 → W1 → W5 → W2 → W11 → W8 → W7 → W6 → W10 → W9 → W3 → N26	609	0,00164
$k_3$	N26 → W5 → W2 → W11 → W10 → W9 → W8 → W7 → W6 → W1 → W4 → W3 → N26	509	0,00196
$k_4$	N26 → W6 → W7 → W8 → W11 → W10 → W9 → W2 → W5 → W1 → W3 → W4 → N26	492	0,00203
$k_5$	N26 → W4 → W1 → W7 → W6 → W11 → W10 → W9 → W8 → W5 → W2 → W3 → N26	553	0,00181
$k_6$	N26 → W2 → W6 → W7 → W8 → W11 → W10 → W9 → W5 → W1 → W3 → W4 → N26	541	0,00185
$k_7$	N26 → W5 → W11 → W10 → W9 → W7 → W8 → W6 → W2 → W1 → W4 → W3 → N26	586	0,00171
$k_8$	N26 → W8 → W9 → W10 → W11 → W7 → W6 → W2 → W1 → W4 → W3 → W5 → N26	550	0,00182
$k_9$	N26 → W5 → W6 → W8 → W7 → W9 → W10 → W11 → W2 → W1 → W3 → W4 → N26	501	0,00199
$k_{10}$	N26 → W4 → W3 → W1 → W5 → W2 → W6 → W7 → W8 → W9 → W10 → W11 → N26	538	0,00186
$k_{11}$	N26 → W4 → W1 → W2 → W11 → W9 → W10 → W7 → W8 → W6 → W5 → W3 → N26	526	0,0019

*Tabu list* berisi urutan simpul yang dikunjungi oleh masing-masing semut dari simpul yang merepresentasikan Hotel El Royale menuju 11 simpul yang merepresentasikan destinasi wisata lalu kembali ke simpul yang merepresentasikan Hotel El Royale. Hasil rute perjalanan semut dari simpul awal menuju ke simpul-simpul yang lain secara lengkap ditunjukkan pada Lampiran 2. Panjang lintasan masing-masing semut tersebut diperoleh dengan menjumlahkan jarak antar lokasi berdasarkan rute perjalanan masing-masing semut seperti yang tertera pada Lampiran 2. Berdasarkan panjang lintasan setiap semut maka dapat diperoleh

perubahan intensitas *pheromone* antar simpul melalui proses perhitungan yang tertera pada Lampiran 5.

Koloni semut meninggalkan *pheromone* pada lintasan yang telah dilaluinya. Perubahan *pheromone* antar simpul dapat terjadi karena adanya penguapan dan perbedaan jumlah semut yang melintas. Oleh karena itu, selanjutnya akan dilakukan *update pheromone global* untuk memperoleh pembaruan harga intensitas jejak semut atau *pheromone* antar simpul yang dapat digunakan pada siklus selanjutnya. Perhitungan dalam menentukan harga intensitas jejak semut atau *pheromone* antar simpul ditunjukkan pada Lampiran 6. Berikut ini pada ada Tabel 4.39 merupakan hasil pembaruan harga intensitas jejak semut atau *pheromone* antar simpul:

**Tabel 4.39 Harga Pembaruan Intensitas Pheromone Antar Simpul**

No.	Simpul 1	Simpul 2	$\tau_{ij}$	No.	Simpul 1	Simpul 2	$\tau_{ij}$
1	N1	W10	0,02	21	N8	N2	0,013
2	N1	W9	0,012	22	N8	N3	0,007
3	N1	N2	0,018	23	N8	N18	0,01
4	N2	N1	0,012	24	N8	N9	0,011
5	N2	W9	0,005	25	N9	N8	0,017
6	N2	N8	0,008	26	N9	N12	0,011
7	N2	N3	0,014	27	N9	N10	0,005
8	N3	N4	0,014	28	N10	N9	0,007
9	N3	N6	0,005	29	N10	N11	0,005
10	N3	N18	0,014	30	N11	N10	0,007
11	N3	N8	0,008	31	N11	N12	0,018
12	N3	N2	0,01	32	N11	N13	0,01
13	N4	N3	0,014	33	N11	W8	0,027
14	N4	N5	0,009	34	N12	N9	0,015
15	N4	W11	0,005	35	N12	N14	0,012
16	N5	N4	0,007	36	N12	N13	0,011
17	N5	N7	0,009	37	N12	N11	0,013
18	N7	N6	0,008	38	N13	N12	0,007
19	N7	N5	0,007	39	N13	N11	0,016
20	N7	W11	0,009	40	N13	W7	0,005

Tabel 4.39 Harga Pembaruan Intensitas *Pheromone* Antar Simpul (Lanjutan)

No.	Simpul 1	Simpul 2	$\tau_{ij}$	No.	Simpul 1	Simpul 2	$\tau_{ij}$
41	N14	N12	0,017	73	N23	N30	0,011
42	N14	N18	0,009	74	N24	N21	0,012
43	N14	N16	0,009	75	N24	N23	0,013
44	N14	W7	0,005	76	N24	N25	0,021
45	N15	N16	0,007	77	N25	N24	0,011
46	N15	W7	0,013	78	N25	N26	0,01
47	N15	N17	0,007	79	N25	W5	0,014
48	N16	N14	0,007	80	N26	N25	0,015
49	N16	N15	0,007	81	N26	W4	0,01
50	N16	W6	0,011	82	N26	N27	0,009
51	N17	W6	0,007	83	N27	N26	0,005
52	N17	N15	0,011	84	N27	W4	0,013
53	N18	N3	0,01	85	N27	W3	0,011
54	N18	N8	0,005	86	N28	N19	0,013
55	N18	N14	0,014	87	N28	N29	0,009
56	N18	N19	0,016	88	N28	W2	0,008
57	N19	N18	0,014	89	N29	W11	0,012
58	N19	N28	0,012	90	N29	N28	0,007
59	N19	N20	0,018	91	N29	W2	0,007
60	N19	W6	0,01	92	N30	N22	0,007
61	N20	N21	0,022	93	N30	N23	0,017
62	N20	N19	0,012	94	N30	W5	0,011
63	N20	W6	0,011	95	N30	N32	0,007
64	N21	N20	0,018	96	N30	W1	0,016
65	N21	N22	0,012	97	N30	W2	0,018
66	N21	N24	0,014	98	N31	N32	0,01
67	N22	N21	0,011	99	N31	W4	0,005
68	N22	N23	0,009	100	N31	W3	0,018
69	N22	N30	0,005	101	N31	W1	0,014
70	N23	N22	0,012	102	N32	W4	0,009
71	N23	N24	0,018	103	N32	W5	0,007
72	N23	W5	0,007	104	N32	N30	0,007

Tabel 4.39 Harga Pembaruan Intensitas *Pheromone* Antar Simpul (Lanjutan)

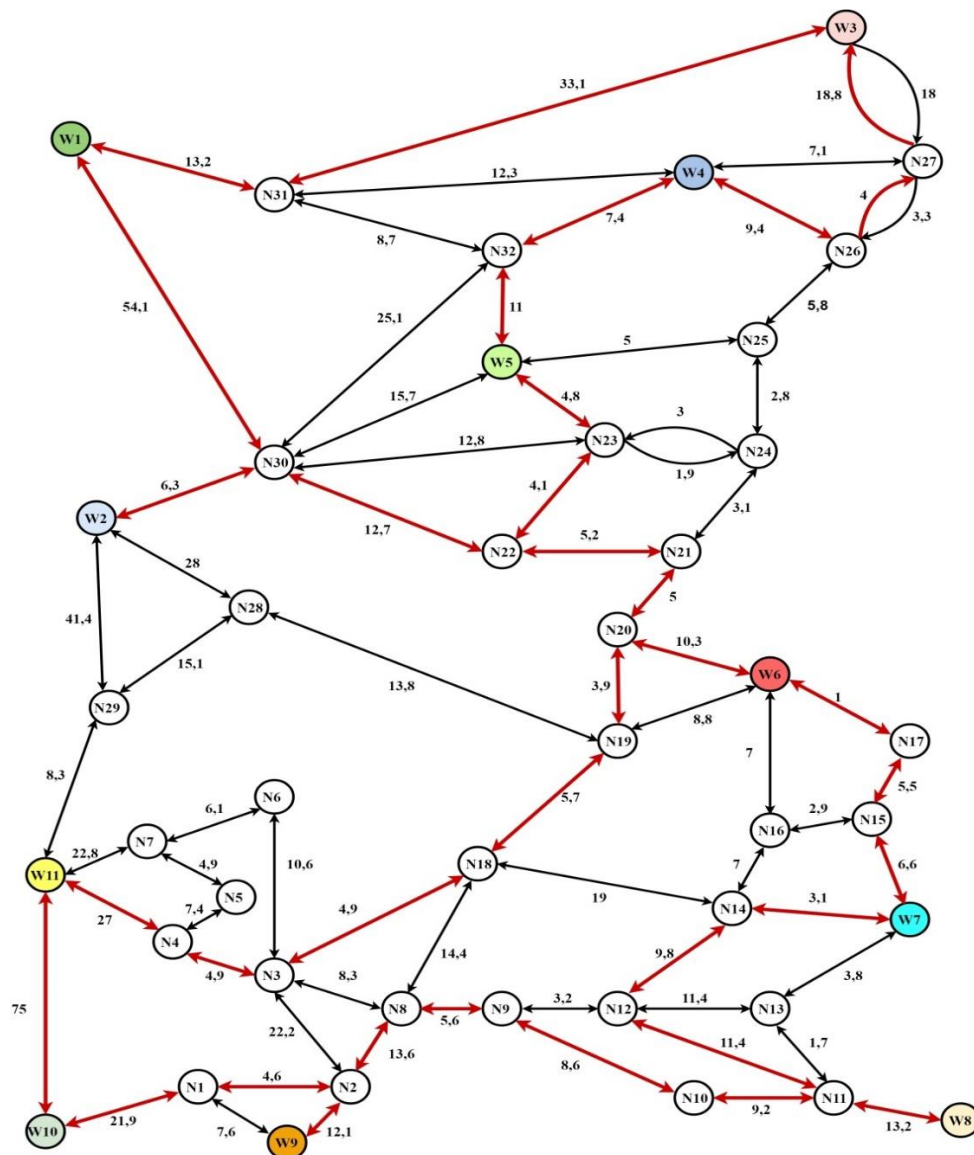
No.	Simpul 1	Simpul 2	$\tau_{ij}$	No.	Simpul 1	Simpul 2	$\tau_{ij}$
105	N32	N31	0,012	121	W6	N20	0,007
106	W1	N31	0,014	122	W6	N19	0,012
107	W1	N30	0,014	123	W6	N16	0,007
108	W2	N30	0,016	124	W6	N17	0,013
109	W2	N29	0,009	125	W7	N15	0,01
110	W2	N28	0,011	126	W7	N14	0,011
111	W3	N31	0,011	127	W7	N13	0,012
112	W3	N27	0,018	128	W8	N11	0,026
113	W4	N26	0,013	129	W9	N1	0,014
114	W4	N27	0,009	130	W9	N2	0,014
115	W4	N32	0,009	131	W10	N1	0,02
116	W4	N31	0,009	132	W10	W11	0,009
117	W5	N23	0,012	133	W11	N29	0,09
118	W5	N25	0,009	134	W11	N7	0,01
119	W5	N32	0,011	135	W11	N4	0,011
120	W5	N30	0,009	136	W11	W10	0,013

Proses pencarian rute terpendek untuk siklus pertama telah selesai dilakukan dan didapatkan harga pembaruan intensitas jejak semut atau *pheromone*. Apabila jumlah siklus maksimum belum tercapai maka langkah berikutnya yaitu mencari rute yang lebih baik lagi pada siklus kedua dengan menggunakan harga pembaruan intensitas jejak semut yang telah diperoleh. Apabila terdapat rute yang lebih baik dibandingkan dengan siklus pertama yang artinya memiliki panjang lintasan yang lebih pendek maka *pheromone* akan diperbarui kembali, namun apabila hasil rute pada siklus kedua tidak lebih baik dibandingkan dengan siklus pertama maka yang diambil adalah hasil rute pada siklus pertama. Sama halnya untuk siklus ketiga, keempat dan seterusnya sampai jumlah siklus maksimum ( $NC_{max}$ ) yang ditentukan terpenuhi atau sampai terjadi konvergensi.

Berdasarkan pada Tabel 4.38 rute terpendek merupakan rute dengan panjang lintasan tertutup minimal untuk siklus pertama yang dihasilkan oleh semut ke-1 ( $k_1$ ) karena rute tersebut memiliki panjang lintasan yang paling pendek dibandingkan dengan panjang lintasan pada rute perjalanan semut lainnya. Rute terpendek yang dihasilkan yaitu dari Hotel El Royale (N26) menuju ke Pantai Watu Dodol (W3) kemudian menuju ke Kawah Ijen (W1) lalu menuju ke Rawabayu (W2) selanjutnya menuju ke Umpak Songo (W6) setelah itu menuju ke Teluk Pangpang (W7) kemudian menuju ke Savana Sadengan (W8) lalu menuju ke Pulau Merah (W9) kemudian menuju ke Teluk Hijau (W10) selanjutnya menuju ke Kendeng Lembu (W11) kemudian menuju ke Situs Macan Putih (W5) lalu menuju ke Desa Wisata Adat Osing (W4) lalu kembali ke Hotel El Royale (N26).

Secara lengkap rute tersebut adalah dari Hotel El Royale (N26) menuju ke Hotel Santika (N27) lalu ke Pantai Watu Dodol (W3) kemudian ke *Homestay Ijen Garden* (N31) lalu ke Kawah Ijen (W1) kemudian ke Kantor Pos Songgon (N30) lalu ke Rawabayu (W2) kemudian ke Kantor pos Songgon (N30) lalu ke Kantor Desa Alas Malang (N22) lalu ke Puskesmas Gladag (N21) lalu ke SDN 4 Wonosobo (N20) lalu ke Umpak Songo (W6) lalu ke Koramil Muncar (N17) lalu ke Ponpes Manbaul Ulum (N15) kemudian ke Teluk Pangpang (W7) lalu ke Pasar Persen (N14) kemudian ke Balai Desa Glagah Agung (N12) lalu ke Pasar Dambuntung (N11) kemudian ke Savana Sadengan (W8) lalu ke Pasar Dambuntung (N11) kemudian ke Balai Desa Sumbersari (N10) lalu ke RTH Karetan (N9) kemudian ke Puskesmas Sambirejo (N8) lalu ke Pasar Pesanggaran (N2) kemudian ke Pulau merah (W9) lalu ke Pasar Pesanggaran (N2) lalu ke Kantor Camat Pesanggaran (N1) kemudian ke Teluk hijau (W10) lalu ke Kendeng Lembu

(W11) kemudian ke RS. Graha Medika (N4) lalu ke Patung Macan Jajag (N3) kemudian ke Lampu Merah Benciluk (N18) lalu ke Pasar Srono (N19) kemudian ke SDN 4 Wonosobo (N20) lalu ke Puskesmas Gladag (N21) kemudian ke Kantor Desa Alas Malang (N21) lalu ke Lapangan Lugjag (N22) kemudian ke Situs Macan Putih (W5) lalu ke Kantor Desa Jelun (N32) kemudian ke Desa Wisata Adat Osing (W4) lalu ke El Royale Hotel (N26). Berikut ini pada Gambar 4.3 adalah visualisasi rute terpendek pada graf di mana sisi berwarna merah menunjukkan rute terpendek yang dihasilkan.



Gambar 4.3 Visualisasi Rute Terpendek pada Graf

Perbedaan urutan lokasi yang dikunjungi oleh masing-masing semut berpengaruh terhadap panjang lintasan yang diperoleh. Panjang lintasan yang diperoleh semut ke-1 ( $k_1$ ) adalah 489 kilometer. Berdasarkan panjang lintasan tersebut dapat diperoleh perubahan intensitas jejak semut ke-1 ( $k_1$ ) yaitu sebesar 0,00205. Lintasan tersebut memiliki intensitas jejak semut atau *pheromone* yang paling banyak dibandingkan dengan lintasan lainnya. Hal tersebut dikarenakan semakin pendek panjang lintasan yang diperoleh maka semakin banyak intensitas jejak semut atau *pheromone* yang ditinggalkan pada suatu lintasan. Semakin banyak intensitas jejak semut atau *pheromone* pada suatu lintasan maka semut akan cenderung untuk melalui lintasan tersebut pada siklus-siklus selanjutnya karena semut cenderung untuk berjalan melalui jalur yang pendek dengan intensitas *pheromone* yang tinggi. Pada akhirnya, rute terpendek akan memiliki panjang lintasan terpendek dengan intensitas jejak semut yang lebih banyak daripada lintasan yang lainnya.

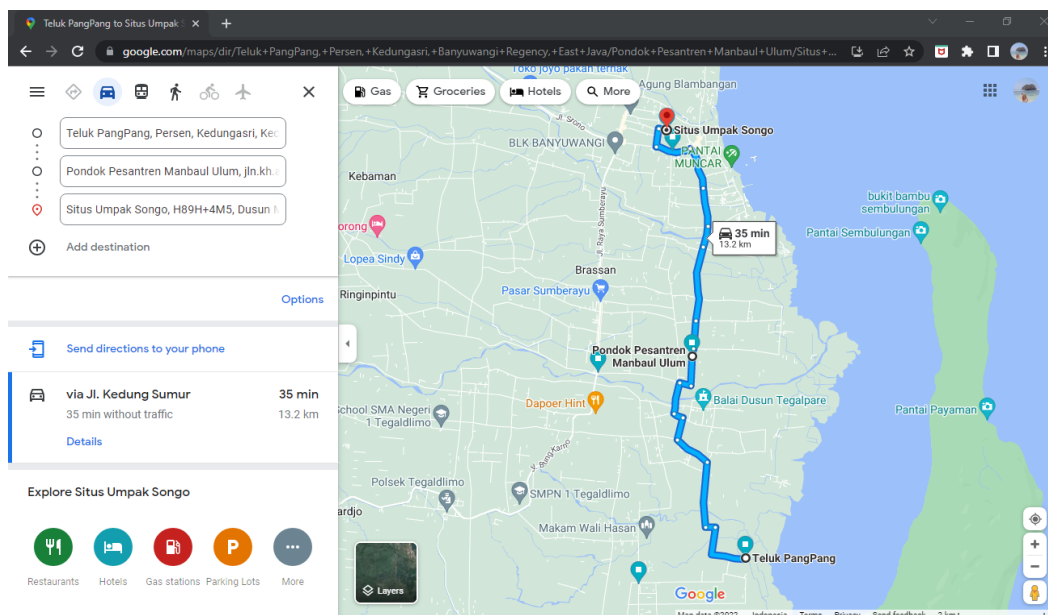
#### **4.4 Evaluasi Hasil**

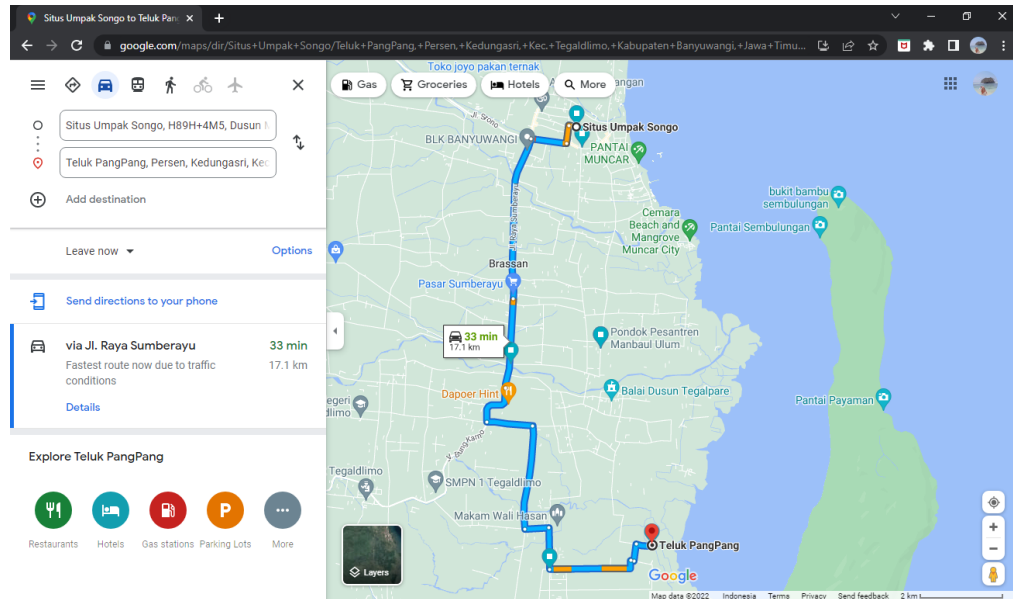
Rute terpendek yang telah diperoleh oleh semut ke-1 ( $k_1$ ) untuk siklus pertama akan dievaluasi hasilnya dengan membandingkan masing-masing jarak dari lokasi awal menuju ke lokasi tujuan berdasarkan rute tersebut. Berikut ini pada Tabel 4.40 ditunjukkan bahwa jarak tempuh dari lokasi awal menuju lokasi tujuan yang dihasilkan menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* berdasarkan rute terpendek oleh semut ke-1 ( $k_1$ ) bisa lebih panjang atau lebih pendek dibandingkan dengan jarak pada *google maps*:

Tabel 4.40 Perbandingan Hasil Rute

No.	Lokasi Awal	Lokasi Tujuan	Jarak pada penelitian (km)	Jarak pada <i>google maps</i> (km)
1	N26	W3	22,8	21,9
2	W3	W1	46,3	55,6
3	W1	W2	60,4	56,9
4	W2	W6	39,5	40,6
5	W6	W7	13,2	17,1
6	W7	W8	37,5	18,6
7	W8	W9	62,3	59,8
8	W9	W10	38,6	29,6
9	W10	W11	75	75,1
10	W11	W5	65,5	46,2
11	W5	W4	18,4	16
12	W4	N26	9,4	10,3

Hal tersebut dikarenakan pencarian rute menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* didasarkan pada suatu fungsi probabilitas yang mengakibatkan titik-titik lokasi yang dilalui berbeda dengan *google maps*.

Gambar 4.4 Hasil Pencarian Rute Menggunakan Algoritma *Ant Colony Optimization*



**Gambar 4.5 Hasil Pencarian Rute Menggunakan *Google Maps***

Salah satu contoh perbedaan titik lokasi yang dilalui antara perhitungan menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* dan *google maps* ditunjukkan oleh Gambar 4.4 dan Gambar 4.5. Pada Gambar 4.4 rute yang dihasilkan dari Teluk Pangpang menuju ke Umpak Sanga berdasarkan hasil perhitungan algoritma *Ant Colony Optimization* yaitu dari Teluk Pangpang menuju ke Pondok Pesantren Manbaul Ulum lalu ke Umpak Sanga. Sedangkan rute yang diperoleh berdasarkan pencarian rute menggunakan *google maps* adalah dari Teluk Pangpang menuju ke Pasar Persen lalu ke Puskesmas Sumberberas kemudian ke Umpak Sanga. Jika kedua hasil rute dibandingkan berdasarkan jarak rute yang diperoleh maka rute yang dihasilkan dari perhitungan algoritma *Ant Colony Optimization* memberikan jarak yang lebih pendek dibandingkan dengan hasil rute yang dihasilkan *google maps*.

Berikut ini pada Tabel 4.41 berisi hasil rute dari perhitungan algoritma *Ant Colony Optimization* untuk siklus pertama dan *google maps*:

Tabel 4.41 Hasil Rute pada Penelitian dan *Google Maps*

No.	Rute Hasil Penelitian	Jarak pada Penelitian (km)	Rute pada <i>Google Maps</i>	Jarak pada <i>Google Maps</i> (km)
1	N26 → W3 → W1 → W2 → W6 → W7 → W8 → W9 → W10 → W11 → W5 → W4 → N26	489	N26 → W3 → W1 → W2 → W6 → W7 → W8 → W9 → W10 → W11 → W5 → W4 → N26	451,3
2	N26 → W4 → W1 → W5 → W2 → W11 → W8 → W7 → W6 → W10 → W9 → W3 → N26	609	N26 → W4 → W1 → W5 → W2 → W11 → W8 → W7 → W6 → W10 → W9 → W3 → N26	462,8
3	N26 → W5 → W2 → W11 → W10 → W9 → W8 → W7 → W6 → W1 → W4 → W3 → N26	509	N26 → W5 → W2 → W11 → W10 → W9 → W8 → W7 → W6 → W1 → W4 → W3 → N26	414
4	N26 → W6 → W7 → W8 → W11 → W10 → W9 → W2 → W5 → W1 → W3 → W4 → N26	492	N26 → W6 → W7 → W8 → W11 → W10 → W9 → W2 → W5 → W1 → W3 → W4 → N26	453,3
5	N26 → W4 → W1 → W7 → W6 → W11 → W10 → W9 → W8 → W5 → W2 → W3 → N26	553	N26 → W4 → W1 → W7 → W6 → W11 → W10 → W9 → W8 → W5 → W2 → W3 → N26	490,4
6	N26 → W2 → W6 → W7 → W8 → W11 → W10 → W9 → W5 → W1 → W3 → W4 → N26	541	N26 → W2 → W6 → W7 → W8 → W11 → W10 → W9 → W5 → W1 → W3 → W4 → N26	464,8
7	N26 → W5 → W11 → W10 → W9 → W7 → W8 → W6 → W2 → W1 → W4 → W3 → N26	586	N26 → W5 → W11 → W10 → W9 → W7 → W8 → W6 → W2 → W1 → W4 → W3 → N26	427,5
8	N26 → W8 → W9 → W10 → W11 → W7 → W6 → W2 → W1 → W4 → W3 → W5 → N26	550	N26 → W8 → W9 → W10 → W11 → W7 → W6 → W2 → W1 → W4 → W3 → W5 → N26	485,3

Tabel 4.41 Hasil Rute pada Penelitian dan *Google Maps* (Lanjutan)

No.	Rute Hasil Penelitian	Jarak pada Penelitian (km)	Rute pada <i>Google Maps</i>	Jarak pada <i>Google Maps</i> (km)
9	N26 → W5 → W6 → W8 → W7 → W9 → W10 → W11 → W2 → W1 → W3 → W4 → N26	501	N26 → W5 → W6 → W8 → W7 → W9 → W10 → W11 → W2 → W1 → W3 → W4 → N26	431,7
10	N26 → W4 → W3 → W1 → W5 → W2 → W6 → W7 → W8 → W9 → W10 → W11 → N26	538	N26 → W4 → W3 → W1 → W5 → W2 → W6 → W7 → W8 → W9 → W10 → W11 → N26	436,4
11	N26 → W4 → W1 → W2 → W11 → W9 → W10 → W7 → W8 → W6 → W5 → W3 → N26	526	N26 → W4 → W1 → W2 → W11 → W9 → W10 → W7 → W8 → W6 → W5 → W3 → N26	446,2

Selanjutnya, akan dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai efektifitas hasil rute dari Hotel El Royale menuju 11 destinasi wisata tepat satu kali lalu menuju ke lokasi asal untuk siklus pertama. Berdasarkan pada Tabel 4.41, nilai efektifitas yang dihasilkan dari Hotel El Royale menuju 11 destinasi wisata tepat satu kali lalu kembali ke lokasi asal untuk siklus pertama dapat dihitung menggunakan persamaan:

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

Hasil perhitungan nilai efektifitas tersebut tersaji pada tabel berikut:

Tabel 4.42 Hasil Nilai Efektifitas

Hasil Rute ke-	Persentase (%)	Hasil Rute ke-	Persentase (%)
1	8,35%	7	37,08%
2	31,59%	8	13,33%
3	22,95%	9	16,05%
4	8,54%	10	23,28%
5	12,77%	11	17,88%
6	16,39%		
<b>Rata-Rata</b>			<b>18,93%</b>

Berdasarkan Tabel 4.42 diketahui bahwa rata-rata nilai efektifitas hasil rute untuk siklus pertama adalah 18,93%. Artinya hasil rute untuk siklus pertama menghasilkan jarak relatif lebih panjang 18,93% daripada *google maps*. Oleh karena itu, selanjutnya dilakukan perhitungan siklus kedua melalui cara yang sama pada siklus pertama dengan intensitas jejak *pheromone* yang telah diperbarui sesuai pada Tabel 4.39. Perhitungan ulang pada siklus kedua dilakukan pada semut ke-1( $k_1$ ) yang menghasilkan rute terpendek untuk siklus pertama. Hal ini dimaksudkan untuk mempersingkat waktu penelitian dan meningkatkan efektifitas hasil perhitungan.

Setelah dilakukan perhitungan untuk siklus kedua pada semut ke-1( $k_1$ ) diperoleh jarak tempuh 409,6 kilometer dengan rute yaitu dari Hotel El Royele (N26) menuju ke Politeknik Negeri Banyuwangi (N25) lalu ke Kantor Pos Rogojampi (N24) kemudian ke Puskesmas Gladag (N21) lalu ke SDN 4 Wonosobo (N20) kemudian ke Umpak Sanga (W6) lalu ke Koramil Muncar (N17) kemudian ke Ponpes Manbaul Ulum (N15) lalu ke Teluk Pangpang (W7) kemudian ke Balai Desa Kedungsari (N13) lalu ke Pasar Dambuntung (N11) kemudian ke Savana Sadengan (W8) lalu ke Pasar Dambuntung (N11) kemudian ke Balai Desa Kedungsari (N13) lalu ke Balai Desa Glagah Agung (N12) kemudian ke RTH Karetan (N9) lalu ke Puskesmas Sambirejo (N8) kemudian ke Pasar Pesanggaran (N2) lalu ke Kantor Camat Pesanggaran (N1) kemudian ke Pulau Merah (W9) lalu ke Kantor Camat Pesanggaran (N1) kemudian ke Teluk Hijau (W10) kemudian ke Kendeng Lembu (W11) lalu ke Hotel Minak Jinggo (N29) kemudian ke Rawabayu (W2) lalu ke Kantor Pos Songgon (N30) kemudian ke Situs Macan Putih (W5) lalu ke Kantor Desa Jelun (N32) kemudian ke *Homestay Ijen Garden* (N31) lalu ke



Selanjutnya, untuk mengetahui nilai efektifitas hasil rute untuk siklus kedua maka akan dilakukan perhitungan nilai efektifitas sama seperti siklus pertama dengan rute pada *google maps* sesuai pada Tabel 4.41. Hasil nilai efektifitas untuk siklus kedua tertera pada Tabel 4.43 berikut ini:

**Tabel 4.43 Hasil Nilai Efektifitas Siklus ke-2**

<b>Hasil Rute ke-</b>	<b>Persentase (%)</b>
1	9,24%
2	9,01%
3	10,1%
4	9,2%
5	8,5%
6	8,97%
7	9,75%
8	8,59%
9	9,66%
10	9,56%
11	9,35%
<b>Rata-rata</b>	<b>9,26%</b>

Berdasarkan hasil nilai efektifitas untuk siklus kedua, diketahui bahwa untuk siklus kedua dihasilkan rute dengan jarak relatif lebih pendek yaitu sebesar 9,26% dibandingkan dengan jarak pada *google maps*. Dengan demikian, rute yang dihasilkan pada perhitungan siklus kedua sudah lebih optimal dibandingkan dengan perhitungan pada siklus pertama yang memiliki rata-rata nilai efektifitas 18,93% relatif lebih panjang daripada *google maps*. Selain memiliki jarak yang lebih pendek daripada siklus sebelumnya, rute tersebut mempunyai intensitas *pheromone* lebih banyak yaitu 0,0024.

Apabila perhitungan dilanjutkan ke siklus ketiga dan seterusnya maka hasil yang diperoleh akan sama atau lebih optimal daripada siklus kedua. Hal tersebut dikarenakan algoritma *Ant Colony Optimization* mencari rute terpendek melalui teknik pendekatan sehingga perulangan perhitungan mengakibatkan hasil rute semakin optimal dan mengalami konvergensi. Berhubung rute yang dihasilkan

untuk siklus kedua relatif lebih pendek daripada *google maps* dan lebih baik daripada hasil rute terpendek untuk siklus pertama, maka perhitungan dalam penelitian ini dicukupkan pada siklus kedua. Pada akhirnya rute terpendek yang dihasilkan dalam penelitian ini memiliki jarak terpendek yaitu 409,6 kilometer dengan perubahan intensitas jejak semut atau *pheromone* terbanyak sebesar 0,0024.

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan pembahasan sebelumnya maka dapat diperoleh kesimpulan bahwa hasil rute terpendek yang didapatkan dari perhitungan algoritma *Ant Colony Optimization* yaitu dari Hotel El Royale (N26) menuju ke Politeknik Negeri Banyuwangi (N25) lalu ke Kantor Pos Rogojampi (N24) kemudian ke Puskesmas Gladag (N21) lalu ke SDN 4 Wonosobo (N20) kemudian ke Umpak Sanga (W6) lalu ke Koramil Muncar (N17) kemudian ke Ponpes Manbaul Ulum (N15) lalu ke Teluk Pangpang (W7) kemudian ke Balai Desa Kedungsari (N13) lalu ke Pasar Dambuntung (N11) kemudian ke Savana Sadengan (W8) lalu ke Pasar Dambuntung (N11) kemudian ke Balai Desa Kedungsari (N13) lalu ke Balai Desa Glagah Agung (N12) kemudian ke RTH Karetan (N9) lalu ke Puskesmas Sambirejo (N8) kemudian ke Pasar Pesanggaran (N2) lalu ke Kantor Camat Pesanggaran (N1) kemudian ke Pulau Merah (W9) lalu ke Kantor Camat Pesanggaran (N1) kemudian ke Teluk Hijau (W10) kemudian ke Kendeng Lembu (W11) lalu ke Hotel Minak Jinggo (N29) kemudian ke Rawabayu (W2) lalu ke Kantor Pos Songgon (N30) kemudian ke Situs Macan Putih (W5) lalu ke Kantor Desa Jelun (N32) kemudian ke *Homestay* Ijen Garden (N31) lalu ke Kawah Ijen (W1) kemudian ke *Homestay* Ijen Garden (N31) lalu ke Pantai Watu Dodol (W3) kemudian ke Desa Wisata Adat Osing (W4) lalu kembali ke Hotel El Royale (N26).

Rute tersebut mempunyai panjang lintasan terpendek yaitu 409,6 kilometer dengan perubahan intensitas jejak semut terbanyak yaitu sebesar 0,0024. Apabila jarak tempuh rute tersebut dibandingkan dengan hasil rute pada *google maps* maka

rute tersebut menghasilkan jarak yang relatif lebih pendek yaitu sebesar 9,26%. Hal tersebut dikarenakan perhitungan menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* didasarkan pada fungsi probabilitas sehingga titik-titik lokasi yang dilalui berbeda dengan *google maps* dan mengakibatkan rute memiliki jarak tempuh yang lebih pendek.

## **5.2 Saran untuk Penelitian Lanjutan**

Penelitian ini terbatas menggunakan satu kombinasi nilai parameter-parameter algoritma *Ant Colony Optimization*. Bagi peneliti selanjutnya, disarankan untuk menggunakan kombinasi nilai parameter-parameter yang lain dengan jumlah siklus maksimum yang lebih banyak agar dapat diketahui hasil rute telah mengalami konvergensi. Pencarian rute terpendek dalam penelitian ini mengkaji dari satu titik awal yaitu dari salah satu hotel, sehingga bagi peneliti selanjutnya disarankan untuk menggunakan lebih dari satu titik awal agar rute terpendek yang dihasilkan bisa berasal dari banyak titik awal.

## DAFTAR PUSTAKA

- al-Arabi, A. (2003). *Ahkam al-Qur'an*. Beirut: Dar al-Kutub.
- al-Jasshas, A. (1405 H). *Ahkam al-Qur'an Juz 5*. Beirut: Ihya' al Turats al-Arabi.
- al-Jauzy, J. (1983). *Zaadu al-Maisir fi 'Ilmi al-Tafsir Juz V*. Beirut: Maktab al-Islami.
- al-Maraghi, A. (1993). *Tafsir al-Maraghi*. Semarang: Toha Putra.
- al-Sa'di, A. a.-R. (n.d.). *Tafsir al-Karim al-Mannan fi Tafsir al-Qur'an, Jilid V*. Dar Ibn Jauziyah.
- al-Zamaksyari, A. a.-Q. (1998). *al-Kassyaf 'an Haqaiq Ghawamidl al-Tanzil Juz III*. Riyadl: Maktabat al-'Abikat.
- as-Sa'di, A. b. (2007). *Tafsir al-Karim ar-Rahman fi Tafsir kalam al-Mannan*. Jakarta: Pustaka Sahifa.
- Asyur, M. a.-T. (1984). *Tafsir al-Tahrir wa al-Tanwir Juz 25*. Tunis: Dar al-Tunisiyah li al-Nasyr.
- Banyuwangikab. (2022). *Data Sektoral Pariwisata*. Retrieved Maret 23, 2022, from Banyuwangi Satu Data: <https://data.banyuwangikab.go.id/v2/dataset/Topik/Sektoral>
- Budayasa, I. K. (2016). *Teori Graph dan Aplikasinya*. Surabaya: Unesa University Press.
- Chan, A. S., & Lesmana, L. S. (2019). Optimasi Pencarian Jalur Menggunakan Model Heuristik Algoritma Semut. *Sains dan Teknologi Informasi*, 5(1), 79-85.
- Daniel, F., & Taneo, P. N. (2019). *Teori Graf*. Deepublish.
- Disbudpar Banyuwangi. (2018). *Destination*. Retrieved Maret 23, 2022, from Banyuwangitourism: <https://banyuwangitourism.com/>
- Dorigo, M., & Stützle, T. (2004). *Ant Colony Optimization*. Cambridge: BRADFORD BOOK.
- Dorigo, M., & Gambardella, L. M. (1997). *Ant Colonies for the Travelling Salesman Problem*. *Tech.Rep/IRIDIA/1996-03*. Universite Libre de Bruxelles, Belgium.

- Dorigo, M., Maniezzo, V., & Colorni, A. (1996). The Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part B*, 26(1), pp.1-13.
- Greco, F. (2008). *Traveling Salesman Problem*. Austria: IntechOpen.
- Gunantara, N. (2018). *Teknik Optimasi*. Denpasar: Udayana University Press.
- Hasibuan, M. D. (2015). Pencarian Rute Terbaik Pada Travelling Salesman Problem (TSP) Menggunakan Algoritma Genetika pada Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Pekanbaru. *SATIN-Sains dan Teknologi Informasi*, 1(1), 35-46.
- Karjono, K., Moedjiono, M., & Kurniawan, D. (2016). Ant Colony Optimization. *Jurnal Ticom*, 4(3), 119-125.
- Katsir, I. (2003). *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 5 Terjemahan M.Ghoffar*. Bogor: Pustaka Imam asy-Syafi'i.
- Kemenag. (2019). *Quran Kemenag*. Jakarta: LPMQ.
- Kristiana, Y. (2019). *Buku Ajar Studi Ekowisata*. Deepublish.
- Munir, R. (2010). *Matematika Diskrit*. Bandung: Informatika Bandung.
- Munir, R. (2011). *Algoritma & Pemrograman Dalam Bahasa Pascal dan C Edisi Revisi*. Bandung: Informatika Bandung.
- Mutakhirah, I., Saptono, F., Hasanah, N., & Wiryadinata, R. (2007). Pemanfaatan Metode Heuristik dalam Pencarian Jalur Terpendek dengan Algoritma Semut dan Algoritma Genetika. In *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI)*.
- Othman, W. A., Wahab, A. A., Alhady, S. S., & Wong, H. N. (2018). Solving Vehicle Routing Problem using Ant Colony Optimisation (ACO) Algorithm. *International Journal of Research and Engineering*, 5(9), 500-507.
- Septiani, N. W., Wardhani, D. R., Kustian, N., & Fitriansyah, A. (2017). Penerapan Algoritma Semut Untuk Menentukan Jalur Terpendek Destinasi Objek Wisata di Bali. In *SENATIK 2017*.
- Shihab, Q. (2009). *Tafsir Al-Mishbah Pesan Kesan dan Keserasian Alquran*. Jakarta: Lentera Hati.
- Soetomo, C. (2018). *Penentuan Jalur Terpendek Dengan Menggunakan Metode Ant Colony Optimization*. (Skripsi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang).

Syihabuddin, R. F. (2021). *Implementasi Algoritma A-Star dalam Menentukan Rute Terpendek Destinasi Wisata Kota Malang*. (Skripsi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang).

UMRAH, F. (n.d). Penerapan Algoritma Semut Untuk Optimisasi Rute Penjemputan Barang Pada Tempat Jasa Penitipan Sementara Lion Express.

Zuhaily, W. (2000). *al-Fiqih al-Islami wa Adillatuhu Juz 4 & 10*. Damaskus: Dar al-Fikr.

## LAMPIRAN

**Lampiran 1 Data Jarak Antar Lokasi (km)**

No.	Titik 1	Titik 2	Jarak	No.	Titik 1	Titik 2	Jarak	No.	Titik 1	Titik 2	Jarak
1	N1	W10	21,9	47	N15	N17	5,5	93	N30	N23	12,8
2	N1	W9	7,6	48	N16	N14	7	94	N30	W5	15,7
3	N1	N2	4,6	49	N16	N15	2,9	95	N30	N32	25,1
4	N2	N1	4,6	50	N16	W6	7	96	N30	W1	54,1
5	N2	W9	12,1	51	N17	W6	1	97	N30	W2	6,3
6	N2	N8	13,6	52	N17	N15	5,5	98	N31	N32	8,7
7	N2	N3	22,2	53	N18	N3	4,9	99	N31	W4	12,3
8	N3	N4	4,9	54	N18	N8	14,4	100	N31	W3	33,1
9	N3	N6	10,6	55	N18	N14	19	101	N31	W1	13,2
10	N3	N18	4,9	56	N18	N19	5,7	102	N32	W4	7,4
11	N3	N8	8,3	57	N19	N18	5,7	103	N32	W5	11
12	N3	N2	22,2	58	N19	N28	13,8	104	N32	N30	25,1
13	N4	N3	4,9	59	N19	N20	3,9	105	N32	N31	8,7
14	N4	N5	7,4	60	N19	W6	8,8	106	W1	N31	13,2
15	N4	W11	27	61	N20	N21	5	107	W1	N30	54,1
16	N5	N4	7,4	62	N20	N19	3,9	108	W2	N30	6,3
17	N5	N7	4,9	63	N20	W6	10,3	109	W2	N29	41,4
18	N7	N6	6,1	64	N21	N20	5	110	W2	N28	28
19	N7	N5	4,9	65	N21	N22	5,2	111	W3	N31	33,1
20	N7	W11	22,8	66	N21	N24	3,1	112	W3	N27	18
21	N8	N2	13,6	67	N22	N21	5,2	113	W4	N26	9,4
22	N8	N3	8,3	68	N22	N23	4,1	114	W4	N27	7,1
23	N8	N18	14,4	69	N22	N30	12,7	115	W4	N32	7,4
24	N8	N9	5,6	70	N23	N22	4,1	116	W4	N31	12,3
25	N9	N8	5,6	71	N23	N24	3	117	W5	N23	4,8
26	N9	N12	3,2	72	N23	W5	4,8	118	W5	N25	5
27	N9	N10	8,6	73	N23	N30	12,8	119	W5	N32	11
28	N10	N9	8,6	74	N24	N21	3,1	120	W5	N30	15,7
29	N10	N11	9,2	75	N24	N23	1,9	121	W6	N20	10,3
30	N11	N10	9,2	76	N24	N25	2,8	122	W6	N19	8,8
31	N11	N12	11,4	77	N25	N24	2,8	123	W6	N16	7
32	N11	N13	1,7	78	N25	N26	5,8	124	W6	N17	1
33	N11	W8	13,2	79	N25	W5	5	125	W7	N15	6,6
34	N12	N9	3,2	80	N26	N25	5,8	126	W7	N14	3,1
35	N12	N14	9,8	81	N26	W4	9,4	127	W7	N13	3,8
36	N12	N13	11,4	82	N26	N27	4	128	W8	N11	13,2
37	N12	N11	11,4	83	N27	N26	3,3	129	W9	N1	7,6
38	N13	N12	11,4	84	N27	W4	7,1	130	W9	N2	12,1
39	N13	N11	1,7	85	N27	W3	18,8	131	W10	N1	21,9
40	N13	W7	3,8	86	N28	N19	13,8	132	W10	W11	75
41	N14	N12	9,8	87	N28	N29	15,1	133	W11	N29	8,3
42	N14	N18	19	88	N28	W2	28	134	W11	N7	22,8
43	N14	N16	7	89	N29	W11	8,3	135	W11	N4	27

<b>44</b>	N14	W7	3,1	<b>90</b>	N29	N28	15,1	<b>136</b>	W11	W10	75
<b>45</b>	N15	N16	2,9	<b>91</b>	N29	W2	41,4				
<b>46</b>	N15	W7	6,6	<b>92</b>	N30	N22	12,7				

## Lampiran 2 Hasil Rute Perjalanan Setiap Semut

Semut	Rute	Panjang (km)
$k_1$	N26 → N27 → W3 → N31 → W1 → N30 → W2 → N30 → N22 → N21 → N20 → W6 → N17 → N15 → W7 → N14 → N12 → N11 → W8 → N11 → N10 → N9 → N8 → N2 → W9 → N2 → N1 → W10 → W11 → N4 → N3 → N18 → N19 → N20 → N21 → N22 → N23 → W5 → N32 → W4 → N26	4 + 18,8 + 33,1 + 13,2 + 54,1 + 6,3 + 6,3 + 12,7 + 5,2 + 5 + 10,3 + 1 + 5,5 + 6,6 + 3,1 + 9,8 + 11,4 + 13,2 + 13,2 + 9,2 + 8,6 + 5,6 + 13,6 + 12,1 + 12,1 + 4,6 + 21,9 + 75 + 27 + 4,9 + 4,9 + 5,7 + 3,9 + 5 + 5,2 + 4,1 + 4,8 + 11 + 7,4 + 9,4 = 489
$k_2$	N26 → W4 → N32 → N31 → W1 → N30 → W5 → N23 → N24 → N21 → N20 → N19 → N28 → W2 → N29 → W11 → N7 → N6 → N3 → N8 → N9 → N12 → N11 → W8 → N11 → N13 → W7 → N15 → N16 → W6 → N19 → N18 → N3 → N2 → N1 → W10 → N1 W9 → N1 → N2 → N8 → N18 → N19 → N20 → N21 → N22 → N30 → N32 → N31 → W3 → N27 → N26	9,4 + 7,4 + 8,7 + 13,2 + 54,1 + 15,7 + 4,8 + 3 + 3,1 + 5 + 3,9 + 13,8 + 28 + 41,4 + 8,3 + 5,6 + 3,2 + 11,4 + 13,2 + 13,2 + 1,7 + 3,8 + 6,6 + 2,9 + 7 + 8,8 + 5,7 + 3,9 + 5 + 5,2 + 12,7 + 25,1 + 8,7 + 33,1 + 18 + 3,3 = 609
$k_3$	N26 → N25 → W5 → N30 → W2 → N28 → N19 → N18 → N3 → N4 → N5 → N7 → W11 → W10 → N1 → W9 → N2 → N8 → N9 → N12 → N13 → N11 → W9 → N11 → N12 → N14 → W7 → N15 → N17 → W6 → N20 → N21 → N24 → N23 → N30 → W1 → N31 → W3 → N27 → W4 → N26	5,8 + 5 + 15,7 + 6,3 + 28 + 13,8 + 5,7 + 4,9 + 4,9 + 7,4 + 4,9 + 22,8 + 75 + 21,9 + 7,6 + 12,1 + 13,6 + 5,6 + 3,2 + 9,8 + 3,1 + 6,6 + 5,5 + 1 + 10,3 + 5 + 3,1 + 1,9 + 12,8 + 54,1 + 13,2 + 33,1 + 18 + 7,1 + 9,4 = 509
$k_4$	N26 → N25 → N24 → N21 → N20 → W6 → N16 → N15 → W7 → N13 → N11 → W8 → N11 → N12 → N9 → N8 → N18 → N19 → N28 → N29 → W11 → W10 → N1 → W9 → N1 → N2 → N3 → N18 → N19 → N20 → N21 → N22 → N30 → W2 → N30 → W5 → N32 → N30 → W1 → N31 → W3 → N27 → W4 → N26	5,8 + 2,8 + 3,1 + 5 + 10,3 + 7 + 2,9 + 6,6 + 3,8 + 1,7 + 13,2 + 13,2 + 11,4 + 3,2 + 5,6 + 14,4 + 5,7 + 13,8 + 15,1 + 8,3 + 75 + 21,9 + 7,6 + 7,6 + 4,6 + 22,2 + 4,9 + 5,7 + 3,9 + 5 + 5,2 + 12,7 + 15,7 + 11 + 25,1 + 54,1 + 13,2 + 33,1 + 18 + 7,1 + 9,4 = 492

$k_5$	N26 → N27 → W4 → N31 → W1 → N30 → N23 → N24 → N21 → N20 → N19 → N18 → N14 → W7 → N14 → N16 → W6 → N19 → N28 → N29 → W11 → N7 → N6 → N3 → N8 → N2 → N1 → W10 → N1 → W9 → N2 → N8 → N18 → N14 → N12 → N11 → W8 → N11 → N13 → N12 → N14 → N18 → N19 → N20 → N21 → N24 → N25 → W5 → N23 → N22 → N30 → W2 → N30 → N23 → N24 → N25 → N26	4 + 7,1 + 12,3 + 13,2 + 54,1 + 12,8 + 3 + 3,1 + 5 + 3,9 + 5,7 + 19 + 3,1 + 3,1 + 7 + 7 + 8,8 + 13,8 + 15,1 + 8,3 + 22,8 + 6,1 + 10,6 + 8,3 + 13,6 + 4,6 + 21,9 + 21,9 + 7,6 + 12,1 + 13,6 + 14,4 + 19 + 9,8 + 11,4 + 13,2 + 13,2 + 1,7 + 11,4 + 9,8 + 19 + 5,7 + 3,9 + 5 + 3,1 + 2,8 + 5,8 = 553
$k_6$	N26 → N25 → N24 → N23 → N22 → N30 → W2 → N28 → N19 → W6 → N17 → N15 → W7 → N14 → N12 → N11 → W8 → N11 → N12 → N9 → N8 → N3 → N4 → N5 → N7 → W11 → N4 → N3 → N2 → N1 → W10 → N1 → W9 → N2 → N3 → N18 → N19 → N20 → N21 → N24 → N23 → W5 → N30 → W1 → N31 → W3 → N27 → W4 → N26	5,8 + 2,8 + 1,9 + 4,1 + 12,7 + 6,3 + 28 + 13,8 + 8,8 + 1 + 5,5 + 6,6 + 3,1 + 9,8 + 11,4 + 13,2 + 13,2 + 11,4 + 3,2 + 5,6 + 8,3 + 4,9 + 7,4 + 4,9 + 22,8 + 27 + 4,9 + 22,2 + 4,6 + 21,9 + 21,97,6 + 12,1 + 22,2 + 4,9 + 5,7 + 3,9 + 5 + 3,1 + 1,9 + 4,8 + 15,7 + 54,1 + 13,2 + 33,1 + 18 + 7,1 + 9,4 = 541
$k_7$	N26 → N25 → W5 → N23 → N22 → N21 → N20 → N19 → N18 → N3 → N4 → W11 → W10 → N1 → N2 → W9 → N2 → N3 → N18 → N14 → W7 → N13 → N11 → W8 → N11 → N12 → N14 → N18 → N19 → W6 → N20 → N21 → N22 → N23 → N30 → W2 → N30 → W1 → N31 → N32 → W4 → N31 → W3 → N27 → N26	5,8 + 5 + 4,8 + 4,1 + 5,2 + 5 + 3,9 + 5,7 + 4,9 + 4,9 + 27 + 75 + 21,9 + 4,6 + 12,1 + 12,1 + 22,2 + 4,9 + 19 + 3,1 + 3,8 + 1,7 + 13,2 + 13,2 + 11,4 + 9,8 + 19 + 5,7 + 8,8 + 10,3 + 5 + 5,2 + 4,1 + 12,8 + 6,3 + 6,3 + 54,1 + 13,2 + 8,7 + 7,4 + 12,3 + 33,1 + 18 + 3,3 = 586
$k_8$	N26 → N25 → N24 → N21 → N20 → N19 → N18 → N14 → N12 → N13 → N11 → W8 → N11 → N12 → N9 → N8 → N2 → W9 → N1 → W10 → W11 → N4 → N3 → N18 → N14 → W7 → N15 → N16 → W6 → N19 → N28 → W2 → N30 → W1 → N31 → N32 → W4 → N27 → W3 → N31 → N32 → W5 → N25 → N26	5,8 + 2,8 + 3,1 + 5 + 3,9 + 5,7 + 19 + 9,8 + 11,4 + 1,7 + 13,2 + 13,2 + 11,4 + 3,2 + 5,6 + 13,6 + 12,1 + 7,6 + 21,9 + 75 + 27 + 4,9 + 4,9 + 19 + 3,1 + 6,6 + 2,9 + 7 + 8,8 + 13,8 + 28 + 6,3 + 54,1 + 13,2 + 8,7 + 7,4 + 7,1 + 18,8 + 33,1 + 8,7 + 11 + 5 + 5,8 = 550
$k_9$	N26 → N25 → W5 → N23 → N22 → N21 → N20 → W6 → N16 → N14 → N12 → N11 →	5,8 + 5 + 4,8 + 4,1 + 5,2 + 5 + 10,3 + 7 + 7 + 9,8 + 11,4 + 13,2 + 13,2 + 1,7 + 3,8 + 3,1 + 9,8 + 3,2 + 5,6 + 13,6 + 12,1 +

	W8 → N11 → N13 → W7 → N14 → N12 → N9 → N8 → N2 → W9 → N1 → W10 → N1 → N2 → N3 → N4 → W11 → N29 → W2 → N30 → W1 → N31 → W3 → N27 → W4 → N26	7,6 + 21,9 + 21,9 + 4,6 + 22,2 + 4,9 + 27 + 8,3 + 41,4 + 6,3 + 54,1 + 13,2 + 33,1 + 18 + 7,1 + 9,4 = 501
$k_{10}$	N26 → W4 → N27 → W3 → N31 → W1 → N30 → W5 → N25 → N24 → N23 → N30 → W2 → N28 → N19 → W6 → N17 → N15 → W7 → N13 → N11 → W8 → N11 → N12 → N9 → N8 → N2 → W9 → N1 → W10 → N1 → N2 → N3 → N4 → W11 → N29 → N28 → N19 → N20 → N21 → N24 → N25 → N26	9,4 + 7,1 + 18,8 + 33,1 + 13,2 + 54,1 + 15,7 + 5 + 2,8 + 1,9 + 12,8 + 6,3 + 28 + 13,8 + 8,8 + 1 + 5,5 + 6,6 + 3,8 + 1,7 + 13,2 + 13,2 + 11,4 + 3,2 + 5,6 + 13,6 + 12,1 + 7,6 + 21,9 + 21,9 + 4,6 + 22,2 + 4,9 + 27 + 8,3 + 15,1 + 13,8 + 3,9 + 5 + 3,1 + 2,8 + 5,8 = 538
$k_{11}$	N26 → W4 → N32 → N31 → W1 → N30 → W2 → N29 → W11 → N7 → N5 → N4 → N3 → N2 → W9 → N1 → W10 → N1 → N2 → N8 → N9 → N12 → N13 → W7 → N13 → N11 → W8 → N11 → N12 → N14 → N16 → W6 → N19 → N20 → N21 → N24 → N25 → W5 → N32 → N31 → W3 → N27 → N26	9,4 + 7,4 + 8,7 + 13,2 + 54,1 + 6,3 + 41,4 + 8,3 + 22,8 + 4,9 + 7,4 + 4,9 + 22,2 + 12,1 + 7,6 + 21,9 + 21,9 + 4,6 + 13,6 + 5,6 + 3,2 + 11,4 + 1,7 + 3,8 + 3,8 + 1,7 + 13,2 + 13,2 + 11,4 + 9,8 + 7 + 7 + 8,8 + 3,9 + 5 + 3,1 + 2,8 + 5 + 11 + 8,7 + 33,1 + 18 + 3,3 = 526

### Lampiran 3 Hasil Rute Untuk Siklus Kedua

Rute	Panjang (km)	$\Delta\tau_{ij}^k$
N26 → N25 → N24 → N21 → N20 → W6 → N17 → N15 → W7 → N13 → N11 → W8 → N11 → N13 → N12 → N9 → N8 → N2 → N1 → W9 → N1 → W10 → W1 → N29 → W2 → N30 → W5 → N32 → N31 → W1 → N31 → W3 → N27 → W4 → N26	5,8 + 2,8 + 3,1 + 5 + 10,3 + 1 + 5,5 + 6,6 + 3,8 + 1,7 + 13,2 + 13,2 + 1,7 + 11,4 + 3,2 + 5,6 + 13,6 + 4,6 + 7,6 + 7,6 + 21,9 + 75 + 8,3 + 41,4 + 6,3 + 15,7 + 11 + 8,7 + 13,2 + 13,2 + 33,1 + 18 + 7,1 + 9,4 = 409,6	0,0024

**Lampiran 4 Hasil Rute pada Google Maps**

No	Rute pada Maps	Jarak pada Maps (km)
1	N26 → W3 → W1 → W2 → W6 → W7 → W8 → W9 → W10 → W11 → W5 → W4 → N26	25,5 + 55,6 + 56,9 + 40,6 + 17,1 + 18,6 + 59,8 + 29,6 + 75,1 + 46,2 + 16 + 10,3 = 451,3
2	N26 → W4 → W1 → W5 → W2 → W11 → W8 → W7 → W6 → W10 → W9 → W3 → N26	9,4 + 34,2 + 32,9 + 22,6 + 49,8 + 71,8 + 18,6 + 17,1 + 65,5 + 29,6 + 89,7 + 21,6 = 462,8
3	N26 → W5 → W2 → W11 → W10 → W9 → W8 → W7 → W6 → W1 → W4 → W3 → N26	6,7 + 22,6 + 49,8 + 73,7 + 29,6 + 59,8 + 18,6 + 17,1 + 64,3 + 25,6 + 24,6 + 21,6 = 414
4	N26 → W6 → W7 → W8 → W11 → W10 → W9 → W2 → W5 → W1 → W3 → W4 → N26	27,3 + 17,1 + 18,6 + 71,8 + 73,7 + 29,6 + 70,8 + 22,1 + 41,5 + 50 + 21,4 + 9,4 = 453,3
5	N26 → W4 → W1 → W7 → W6 → W11 → W10 → W9 → W8 → W5 → W2 → W3 → N26	9,4 + 34,2 + 69,9 + 17,1 + 45,9 + 73,7 + 29,6 + 59,8 + 52,8 + 22,6 + 53,8 + 21,6 = 490,4
6	N26 → W2 → W6 → W7 → W8 → W11 → W10 → W9 → W5 → W1 → W3 → W4 → N26	28,4 + 40,6 + 17,1 + 18,6 + 71,8 + 73,7 + 29,6 + 62,4 + 41,5 + 50 + 21,7 + 9,4 = 464,8
7	N26 → W5 → W11 → W10 → W9 → W7 → W8 → W6 → W2 → W1 → W4 → W3 → N26	6,7 + 46,2 + 73,7 + 29,6 + 47,4 + 18,6 + 30,5 + 41 + 62 + 25,6 + 24,6 + 21,6 = 427,5
8	N26 → W8 → W9 → W10 → W11 → W7 → W6 → W2 → W1 → W4 → W3 → W5 → N26	57,4 + 59,8 + 29,6 + 75,1 + 58,9 + 17,1 + 40,3 + 62 + 25,6 + 24,6 + 28,2 + 6,7 = 485,3
9	N26 → W5 → W6 → W8 → W7 → W9 → W10 → W11 → W2 → W1 → W3 → W4 → N26	6,7 + 26,3 + 30,5 + 18,6 + 47,4 + 29,6 + 79,7 + 49,8 + 62 + 50 + 21,7 + 9,4 = 431,7
10	N26 → W4 → W3 → W1 → W5 → W2 → W6 → W7 → W8 → W9 → W10 → W11 → N26	9,4 + 24,6 + 55,8 + 32,9 + 22,6 + 40,6 + 17,1 + 18,6 + 59,8 + 29,6 + 75,1 + 50,3 = 436,4
11	N26 → W4 → W1 → W2 → W11 → W9 → W10 → W7 → W8 → W6 → W5 → W3 → N26	9,4 + 34,2 + 56,9 + 49,8 + 65,9 + 29,6 + 61,2 + 18,6 + 30,5 + 25,4 + 32,1 + 21,6 = 446,2

### Lampiran 5 Perubahan Intensitas Jejak Semut atau *Pheromone*

a. Semut ke-1 ( $k_1$ )

$$\Delta\tau_{ij}^1 = \frac{Q}{L_k} = \frac{1}{489} = 0,00205$$

b. Semut ke-2 ( $k_2$ )

$$\Delta\tau_{ij}^2 = \frac{Q}{L_k} = \frac{1}{609} = 0,00164$$

c. Semut ke-3 ( $k_3$ )

$$\Delta\tau_{ij}^3 = \frac{Q}{L_k} = \frac{1}{509} = 0,00196$$

d. Semut ke-4 ( $k_4$ )

$$\Delta\tau_{ij}^4 = \frac{Q}{L_k} = \frac{1}{492} = 0,00203$$

e. Semut ke-5 ( $k_5$ )

$$\Delta\tau_{ij}^5 = \frac{Q}{L_k} = \frac{1}{553} = 0,00181$$

f. Semut ke-6 ( $k_6$ )

$$\Delta\tau_{ij}^6 = \frac{Q}{L_k} = \frac{1}{541} = 0,00185$$

g. Semut ke-7 ( $k_7$ )

$$\Delta\tau_{ij}^7 = \frac{Q}{L_k} = \frac{1}{586} = 0,00171$$

h. Semut ke-8 ( $k_8$ )

$$\Delta\tau_{ij}^8 = \frac{Q}{L_k} = \frac{1}{550} = 0,00182$$

i. Semut ke-9 ( $k_9$ )

$$\Delta\tau_{ij}^9 = \frac{Q}{L_k} = \frac{1}{501} = 0,00199$$

j. Semut ke-10 ( $k_{10}$ )

$$\Delta\tau_{ij}^{10} = \frac{Q}{L_k} = \frac{1}{538} = 0,00186$$

k. Semut ke-11 ( $k_{11}$ )

$$\Delta\tau_{ij}^{11} = \frac{Q}{L_k} = \frac{1}{526} = 0,0019$$

**Lampiran 6 Harga Pembaruan Intensitas Jejak Semut atau *Pheromone***

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

No.	Simpul 1	Simpul 2	$\tau_{ij}$
1	N1	W10	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0016 + 0,0018 + 0,0018 + 0,0018 + 0,002 + 0,0019 + 0,0019 = 0,02$
2	N1	W9	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,002 + 0,002 + 0,0018 = 0,012$
3	N1	N2	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,002 + 0,0018 + 0,0017 + 0,002 + 0,0019 + 0,0019 = 0,018$
4	N2	N1	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0016 + 0,0018 + 0,0018 = 0,012$
5	N2	W9	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 + 0,0017 + 0,0018 + 0,002 + 0,0019 + 0,0019 = 0,005$
6	N2	N8	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,002 + 0,0018 + 0,0019 = 0,008$
7	N2	N3	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 + 0,0017 + 0,002 + 0,0019 = 0,014$
8	N3	N4	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 + 0,0017 + 0,002 + 0,0019 = 0,014$
9	N3	N6	$(1 - 0,5)0,01 = 0,005$
10	N3	N18	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,002 + 0,0018 + 0,0017 + 0,0018 = 0,014$
11	N3	N8	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,0018 = 0,008$
12	N3	N2	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,0018 + 0,0019 = 0,01$
13	N4	N3	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 + 0,0018 + 0,0019 = 0,014$
14	N4	N5	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 = 0,009$
15	N4	W11	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0017 + 0,002 + 0,0019 = 0,005$
16	N5	N4	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 = 0,007$
17	N5	N7	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 = 0,009$
18	N7	N6	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,0018 = 0,008$
19	N7	N5	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0019 = 0,007$
20	N7	W11	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 = 0,009$
21	N8	N2	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 + 0,0018 + 0,002 = 0,013$
22	N8	N3	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0018 = 0,007$
23	N8	N18	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,002 + 0,0018 = 0,01$
24	N8	N9	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,002 + 0,0019 = 0,011$
25	N9	N8	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,002 + 0,0018 + 0,0018 + 0,002 + 0,0019 = 0,017$
26	N9	N12	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,002 + 0,0019 = 0,011$

27	N9	N10	$(1 - 0,5)0,01 = 0,005$
28	N10	N9	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 = 0,007$
29	N10	N11	$(1 - 0,5)0,01 = 0,005$
30	N11	N10	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 = 0,007$
31	N11	N12	$0(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,002 + 0,0018 + 0,0017 + 0,0018 + 0,0019 + 0,0019 = 0,018$
32	N11	N13	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,0018 + 0,002 = 0,01$
33	N11	W8	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0016 + 0,002 + 0,002 + 0,0018 + 0,0017 + 0,0018 + 0,002 + 0,0019 + 0,0019 + 0,0019 = 0,0027$
34	N12	N9	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 + 0,0018 + 0,002 + 0,0019 = 0,015$
35	N12	N14	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 + 0,0017 + 0,0019 = 0,012$
36	N12	N13	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 + 0,0019 = 0,011$
37	N12	N11	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 + 0,0018 + 0,002 = 0,013$
38	N13	N12	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0018 = 0,007$
39	N13	N11	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,002 + 0,0017 + 0,0018 + 0,0019 + 0,0019 = 0,016$
40	N13	W7	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,002 + 0,0019 = 0,005$
41	N14	N12	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 + 0,0018 + 0,0018 + 0,002 + 0,002 = 0,017$
42	N14	N18	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0018 + 0,0017 = 0,009$
43	N14	N16	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0018 + 0,0019 = 0,009$
44	N14	W7	$(1 - 0,5)0,01 = 0,005$
45	N15	N16	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0018 = 0,007$
46	N15	W7	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,002 + 0,0018 + 0,0019 = 0,013$
47	N15	N17	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 = 0,007$
48	N16	N14	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 = 0,007$
49	N16	N15	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0018 + 0,0018 + 0,0019 = 0,007$
50	N16	W6	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0018 + 0,0018 + 0,0019 = 0,011$
51	N17	W6	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 = 0,007$
52	N17	N15	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 + 0,0019 = 0,011$
53	N18	N3	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,002 + 0,0017 = 0,01$
54	N18	N8	$(1 - 0,5)0,01 = 0,005$
55	N18	N14	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0018 + 0,0017 + 0,0018 = 0,014$
56	N18	N19	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0016 + 0,002 + 0,0018 + 0,0018 + 0,0017 = 0,016$
57	N19	N18	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,002 + 0,0018 + 0,0017 + 0,0018 = 0,014$
58	N19	N28	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,002 + 0,0018 + 0,0018 = 0,012$
59	N19	N20	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0016 + 0,002 + 0,0018 + 0,0018 + 0,0019 + 0,0019 = 0,018$
60	N19	W6	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0018 + 0,0017 + 0,0019 = 0,01$
61	N20	N21	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0016 + 0,002 + 0,002 + 0,0018 + 0,0018 + 0,0017 + 0,0019 + 0,0019 = 0,022$

62	N20	N19	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,0018 + 0,0017 + 0,0018 = 0,012$
63	N20	W6	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,002 + 0,002 = 0,011$
64	N21	N20	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0016 + 0,002 + 0,0018 + 0,0017 + 0,0018 + 0,002 = 0,018$
65	N21	N22	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0016 + 0,002 + 0,0017 = 0,012$
66	N21	N24	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 + 0,0018 + 0,0019 + 0,0019 = 0,014$
67	N22	N21	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0017 + 0,002 = 0,011$
68	N22	N23	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0017 = 0,009$
69	N22	N30	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,002 + 0,0018 + 0,0018 = 0,005$
70	N23	N22	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0018 + 0,0018 + 0,0017 + 0,002 = 0,012$
71	N23	N24	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,0018 = 0,018$
72	N23	W5	$(1 - 0,5)0,01 + 0,018 = 0,007$
73	N23	N30	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0017 + 0,0019 = 0,011$
74	N24	N21	$0,0016 + 0,002 + 0,0018 + 0,0018 = 0,012$
75	N24	N23	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 + 0,0019 = 0,013$
76	N24	N25	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0018 + 0,0019 + 0,0019 = 0,021$
77	N25	N24	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0018 + 0,0018 + 0,0019 = 0,011$
78	N25	N26	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0018 + 0,0018 + 0,0019 = 0,01$
79	N25	W5	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 + 0,0017 + 0,002 + 0,0019 = 0,014$
80	N26	N25	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,002 + 0,0018 + 0,0018 + 0,002 = 0,015$
81	N26	W4	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,0019 + 0,0019 = 0,01$
82	N26	N27	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0018 = 0,009$
83	N27	N26	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,0018 + 0,0017 + 0,0019 = 0,005$
84	N27	W4	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,002 + 0,0018 + 0,002 = 0,013$
85	N27	W3	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 + 0,0019 = 0,011$
86	N28	N19	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 + 0,0019 + 0,0019 = 0,013$
87	N28	N29	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 = 0,009$
88	N28	W2	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,0018 = 0,008$
89	N29	W11	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,002 + 0,0018 + 0,0019 = 0,012$
90	N29	N28	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0019 = 0,007$
91	N29	W2	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 = 0,007$
92	N30	N22	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 = 0,007$
93	N30	N23	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0018 = 0,017$
94	N30	W5	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,002 + 0,0019 = 0,011$
95	N30	N32	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 = 0,007$
96	N30	W1	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,002 + 0,0018 + 0,0017 + 0,0018 + 0,002 = 0,016$
97	N30	W2	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,002 + 0,002 + 0,0018 + 0,0017 + 0,0019 + 0,0019 = 0,018$

98	N31	N32	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0017 + 0,0018 = 0,01$
99	N31	W4	$(1 - 0,5)0,01 = 0,005$
100	N31	W3	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,002 + 0,002 + 0,0018 + 0,0017 + 0,002 + 0,0019 = 0,018$
101	N31	W1	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0016 + 0,0018 + 0,0019 + 0,0019 = 0,014$
102	N32	W4	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0017 = 0,009$
103	N32	W5	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0018 = 0,007$
104	N32	N30	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 = 0,007$
105	N32	N31	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,0019 = 0,012$
106	W1	N31	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 + 0,0017 + 0,0018 + 0,002 = 0,014$
107	W1	N30	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0016 + 0,0018 + 0,0019 + 0,0019 = 0,014$
108	W2	N30	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,002 + 0,0018 + 0,0017 + 0,0018 + 0,002 = 0,016$
109	W2	N29	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,0019 = 0,009$
110	W2	N28	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 + 0,0019 = 0,011$
111	W3	N31	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 + 0,0019 = 0,011$
112	W3	N27	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,002 + 0,002 + 0,0018 + 0,0017 + 0,002 + 0,0019 = 0,018$
113	W4	N26	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,002 + 0,002 + 0,002 = 0,013$
114	W4	N27	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0018 + 0,0019 = 0,009$
115	W4	N32	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,0019 = 0,009$
116	W4	N31	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0018 + 0,0017 = 0,009$
117	W5	N23	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,0018 + 0,0017 + 0,002 = 0,012$
118	W5	N25	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0018 + 0,0019 = 0,009$
119	W5	N32	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,002 + 0,0019 = 0,011$
120	W5	N30	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 = 0,009$
121	W6	N20	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 = 0,007$
122	W6	N19	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0018 + 0,0017 + 0,0018 + 0,0019 = 0,012$
123	W6	N16	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 = 0,007$
124	W6	N17	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,002 + 0,0018 + 0,0019 = 0,013$
125	W7	N15	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,002 + 0,0018 = 0,01$
126	W7	N14	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 + 0,002 = 0,011$
127	W7	N13	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0017 + 0,0019 + 0,0019 = 0,012$
128	W8	N11	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0016 + 0,002 + 0,002 + 0,0018 + 0,0018 + 0,0017 + 0,0018 + 0,002 + 0,0019 + 0,0019 = 0,026$
129	W9	N1	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,0018 + 0,002 + 0,0019 + 0,0019 = 0,014$
130	W9	N2	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,002 + 0,0018 + 0,0018 + 0,0017 = 0,014$
131	W10	N1	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 + 0,0018 + 0,0017 + 0,002 + 0,0019 + 0,0019 = 0,02$

<b>132</b>	W10	W11	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,002 = 0,009$
<b>133</b>	W11	N29	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0019 = 0,009$
<b>134</b>	W11	N7	$(1 - 0,5)0,01 + 0,0016 + 0,0018 + 0,0019 = 0,01$
<b>135</b>	W11	N4	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,0018 + 0,0018 = 0,011$
<b>136</b>	W11	W10	$(1 - 0,5)0,01 + 0,002 + 0,002 + 0,0017 + 0,0018 = 0,013$

## RIWAYAT HIDUP



Okmi Kliwen Indrawati yang akrab dipanggil okmi, lahir di Banyuwangi pada tanggal 17 Oktober 1999. Anak ketiga dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Bambang Eko Saryono dan Ibu Muzawaroh. Pendidikan dasar ditempuh di SDN 2 Lemahbang Dewo pada tahun 2006-2009. Pada tahun 2009 penulis melanjutkan pendidikan dasarnya di SDN 2 Sragen. Selanjutnya pada tahun 2012 penulis menamatkan pendidikan dasarnya dan melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMPN 1 Cluring. Pendidikan selanjutnya penulis tempuh di SMAN 1 Genteng dari tahun 2015 dan lulus dari sekolah tersebut pada tahun 2018. Pada tahun yang sama penulis kembali melanjutkan pendidikan melalui jalur SBMPTN di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang dengan mengambil Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi.



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 : Okmi Kliwen Indrawati  
NIM : 18610084  
Fakultas / Program Studi : Sains dan Teknologi / Matematika  
Judul Skripsi : Implementasi Algoritma *Ant Colony Optimization* untuk Menentukan Rute Terpendek Destinasi Wisata Banyuwangi  
Pembimbing I : Hisyam Fahmi, M.Kom  
Pembimbing II : Ari Kusumastuti, M.Pd.,M.Si

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	6 Januari 2022	Konsultasi Bab I dan II	1.
2.	7 Januari 2022	Konsultasi Revisi Bab I dan II	2.
3.	9 Januari 2022	Konsultasi Bab III	3.
4.	3 Februari 2022	Konsultasi Lanjutan Bab III	4.
5.	14 Februari 2022	Konsultasi Revisi Bab III	5.
6.	25 Februari 2022	Konsultasi Bab IV	6.
7.	8 Maret 2022	Konsultasi Kajian Agama	7.
8.	9 Maret 2022	Konsultasi Kajian Agama	8.
9.	10 Maret 2022	Konsultasi Kajian Agama	9.
10.	19 Maret 2022	Konsultasi Bab IV	10.
11.	18 April 2022	Konsultasi Kajian Agama	11.
12.	20 Mei 2022	Konsultasi Revisi Bab I, II, dan III	12.
13.	24 Mei 2022	Konsultasi Kajian Agama	13.
14.	26 Mei 2022	Konsultasi Bab IV dan V	14.
15.	30 Mei 2022	Konsultasi Revisi Bab IV dan V	15.
16.	13 Juni 2022	Konsultasi Kajian Agama	16.
17.	24 Juni 2022	ACC Keseluruhan	17.

Malang, 24 Juni 2022

Mengetahui,

Ketua Program Studi Matematika



Dr. E.B. Susanti, M.Sc

NIP.19741129 200012 2 005