

SKRIPSI

PERBANDINGAN ALGORITMA *SIMPLE HILL CLIMBING* DAN ALGORITMA *ANT COLONY SYSTEM* DALAM PENENTUAN RUTE OPTIMUM (STUDY KASUS: PARIWISATA DI KABUPATEN TANA TORAJA)

Disusun dan diajukan oleh

ILYAS

H111 16 017



PROGRAM STUDI MATEMATIKA
DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021

SKRIPSI

PERBANDINGAN ALGORITMA *SIMPLE HILL CLIMBING* DAN ALGORITMA *ANT COLONY SYSTEM* DALAM PENENTUAN RUTE OPTIMUM (STUDY KASUS: PARIWISATA DI KABUPATEN TANA TORAJA)

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
pada Program Studi Matematika Departemen Matematika Fakultas
Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

**Universitas Hasanuddin
Makassar**

ILYAS

H111 16 017

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2021

PERYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ilyas

NIM : H11116017

Program Studi : Matematika

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**Perbandingan Algoritma *Simple Hill Climbing* dan Algoritma *Ant Colony System* dalam Penentuan Rute Optimum
(Studi Kasus: Pariwisata di Kabupaten Tana Toraja)**

adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 7 Juni 2021



ILYAS

NIM. H111 16 017

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PERBANDINGAN ALGORITMA *SIMPLE HILL CLIMBING* DAN ALGORITMA *ANT COLONY SYSTEM* DALAM PENENTUAN RUTE OPTIMUM (STUDY KASUS: PARIWISATA DI KABUPATEN TANA TORAJA)

Disusun dan diajukan oleh

ILYAS
H111 16 017

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada tanggal 7 Juni 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

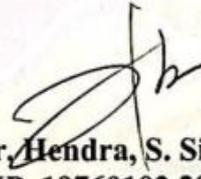
Menyetujui,

Pembimbing Utama



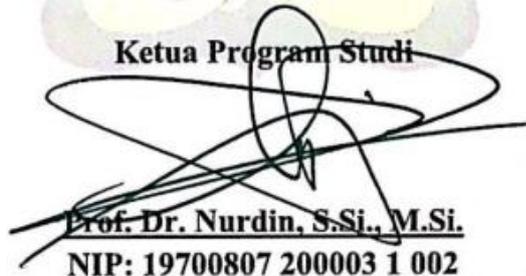
Dr. Khaeruddin, M. Sc.
NIP. 19650914 199103 1 003

Pembimbing Pertama



Dr. Hendra, S. Si., M. Kom.
NIP. 19760102 2002212 1 001

Ketua Program Studi



Prof. Dr. Nurdin, S.Si., M.Si.
NIP: 19700807 200003 1 002



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini telah diajukan oleh:

Nama : ILYAS
NIM : H111 16 017
Program Studi : MATEMATIKA
Judul Skripsi : Perbandingan Algoritma *Simple Hill Climbing* dan Algoritma *Ant Colony System* Dalam Penentuan Rute Optimum (Studi Kasus: Pariwisata di Kabupaten Tana Toraja)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Matematika Departemen Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Dewan Penguji

1. Ketua : Dr. Khaeruddin, M. Sc (.....)
2. Sekretaris : Dr. Hendra, S. Si., M. Kom (.....)
3. Anggota : Prof. Dr. Jeffry Kusuma, Ph. D. (.....)
4. Anggota : Dr. Agustinus Ribal, S. Si., M. Sc (.....)

Ditetapkan di : Makassar
Tanggal : 7 Juni 2021



KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah Subhanahu Wa ta'ala Rabb semesta alam, shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi yang paling dimuliakan, pemimpin orang-orang bertakwa yakni Rasulullah Shallallahu Alaihi Wasallam dan kepada para keluarga serta sahabat beliau yang senantiasa kita rindukan perjumpaan dengannya. Amma ba'du. Alhamdulillah wasy-sukurillah, semua kemudahan yang penulis dapatkan kita lepas dari pertolongan Allah dan doa dari orang-orang yang tulus, akhirnya skripsi dengan judul **“Perbandingan Algoritma Simple Hill Climbing dan Algoritma Ant Colony System Dalam Penentuan Rute Optimum (Studi Kasus: Pariwisata di Kabupaten Tana Toraja)”** yang disusun sebagai salah satu syarat akademik untuk meraih gelar sarjana pada Program Studi Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin ini dapat dirangpungkan meski dalam suasana pandemi Covid-19 ini. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan tambahan pengetahuan baru bagi para pembelajar matematika.

Penulis menyadari bahwa penyelesaian skripsi ini dengan segala keterbatasan kemampuan dan pengetahuan dapat melewati segala hambatan dan masalah berkat bantuan dan dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis haturkan rasa terima kasih serta penghargaan yang setinggi-tingginya untuk orang tua penulis, Ayahanda **Amiruddin**, ibunda **Satria** yang telah menjadi inspirasi, mendidik dan membesarkan penulis dengan bertabur cinta, kasih sayang, serta dengan ikhlas telah mengiringi setiap langkah penulis dengan doa dan dukungannya selama ini. Tak lupa pula kepada adik saya **Abdullah** dan **Idris** terima kasih atas segala bentuk bantuan baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah diberikan kepada penulis. Serta untuk keluarga besar penulis, terima kasih atas doa dan dukungannya selama ini. Penghargaan yang tulus, terima kasih dengan penuh keikhlasan juga penulis ucapkan kepada:

1. Ibu **Prof. Dr. Dwia Aris Tina Pulubuhu, MA**, selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta seluruh jajarannya dan Bapak **Dr. Eng Amiruddin, M.Si** selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin serta seluruh jajarannya.

2. Bapak **Prof. Dr. Nurdin, S.Si., M.Si.**, selaku Ketua Departemen Matematika dan segenap bapak dan ibu dosen serta staf Departemen Matematika, yang telah membekali ilmu dan kemudahan kepada penulis dalam berbagai hal selama menjadi mahasiswa di Departemen Matematika.
3. Bapak **Dr. Khaeruddin, M. Sc.**, selaku dosen pembimbing utama dan Bapak **Dr. Hendra, S. Si., M. Kom.**, selaku pembimbing pertama, yang dengan sabar tulus, ikhlas meluangkan begitu banyak waktu di tengah berbagai kesibukan dan proritasnya untuk membimbing dan memberikan masukan serta motivasi dalam penulisan skripsi ini.
4. Bapak **Prof. Dr. Jeffry Kusuma, Ph. D.**, selaku Tim Penguji sekaligus penasehat akademik selama menempuh pendidikan sarjana. Terima kasih atas waktu yang telah diluahkan untuk memberikan nasihat, dukungan, doa, dan dengan setulus hati telah membimbing penulis selama menjalani pendidikan di Departemen Matematika. Serta Bapak **Dr. Agustinus Ribal, S. Si., M. Sc** selaku Tim Penguji. Terima kasih atas waktu yang telah diluahkan dan memberikan kritikan yang membangun dalam penyempurnaan penulisan skripsi ini
5. Spesial untuk sahabat **Panglima Gajah** penulis, **Zaitun, Aprizal Resky, Muh. Afdhal Abidin, Gufran Algifari, Agung Setia Budi, dan Muhammad Awaluddin** yang telah menjadi sahabat terbaik dan senantiasa memberikan dorongan, semangat, dan motivasi dalam setiap keadaan.
6. Untuk sahabat tercinta **Desi Dea Astian, Indah Sari Ahsan, Fadilah Amalia, Wisma Wardana, Yustina, Nur Adha Hartawan, dan Nurpadila Nasruddin** yang selalu membantu, menemani, memberikan semangat, serta menampung keluh kesah penulis sejak masa SMA.
7. Teman seperjuangan **Matematika 2016** terkhusus **Nurma Diyanni Mulya, Alvira Sabri, Rabiyyatul Adawiyah, Nursiti Azirah, Hasriah, Murniati, Nuri Iza Afidati, Nurul Rasyidah Ripuji Mattengnga**. Terima kasih atas kebersamaan, suka dan duka dalam berjuang menjalani pendidikan di Departemen Matematika.

8. Keluarga besar **ALGORITMA 2016**. Terima kasih untuk cerita sekaligus kenangan selama berproses yang telah dilalui. Semoga kita masih tetap **“Bersatu dalam Kebersamaan”**.
9. Teman-teman seperjuangan **MIPA 2016** yang telah kebersamai dan memberikan warna disetiap momen yang ada. Semoga kita tetap **“Seperti Seharusnya”**.
10. Keluarga Besar **KMF MIPA Unhas, Himatika FMIPA Unhas dan Himastat FMIPA Unhas**. Terima kasih atas ilmu yang mungkin tidak bisa didapatkan dalam proses perkuliahan. Penulis merasa bangga menjadi salah satu bagian dari keluarga ini. Salam *Use Your Mine Be The Best*, Salam *Queen Of Science BRAVO Himatika!!!*
11. Untuk gen **HIMAKOS** khusus kak **Dadang** yang selalu memberikan dorongan dalam menyelesaikan tugas akhir. Serta adik **Kety, Sri, Ayu, Ata, Amma** yang sama-sama membantu, menemani, memberikan semangat dalam proses perkuliahan.
12. Teman-teman **KKN Reguler Unhas Gel. 102** khusus teman-teman di **Posko KKN Desa Salassae, Kecamatan Bulukumpa, Kabupaten Bulukumba**, terima kasih telah menjadi teman sekaligus keluarga selama sebulan lebih, semoga silaturahmi tetap terjalin.
13. Kepada seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih untuk segala dukungan dan partisipasi yang diberikan kepada penulis, semoga bernilai ibadah disisi **Allah SWT**.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga kritik dan saran yang membangun akan penulis terima untuk menyempurnakan tugas akhir ini. Akhir kata, penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membacanya. Aamiin.

Makassar, 7 Juni 2021



Ilyas

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Hasanuddin, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ilyas
NIM : H111 16 017
Program Studi : Matematika
Departemen : Matematika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Hasanuddin **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusif Royalti-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Perbandingan Algoritma *Simple Hill Climbing* dan Algoritma *Ant Colony System* Dalam Penentuan Rute Optimum (Studi Kasus: Pariwisata di Kabupaten Tana Toraja)”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Terkait dengan hal di atas, maka pihak Universitas Hasanuddin, mengalih-media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama telah mencantumkan nama saya sebagai penulis atau pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Makassar

Pada tanggal : 7 Juni 2021

Yang menyatakan


Ilyas

ABSTRAK

Dalam disiplin matematika, optimasi merujuk pada sudut permasalahan yang mencoba untuk mencari nilai minimal atau maksimal dari suatu fungsi riil. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui rute optimum pariwisata di Kabupaten Tana Toraja dengan menggunakan metode algoritma *Simple Hill Climbing* dan algoritma *Ant colony System*. Dengan menggunakan data yang sama, pencarian rute optimum dengan menggunakan algoritma *Simple Hill Climbing* dan algoritma *Ant Colony System* dengan tiga titik awal berbeda yaitu Hotel Sahid Toraja, Hotel Pantan Toraja, dan Toraja Misiliana Hotel diperoleh hasil rute optimum yaitu Toraja Misiliana Hotel – Tilangga Natural Pool – Kuburan Batu Lemo – Patung Tuhan Yesus Memberkati – Kambira Baby Grave – Buntu Kalando Museum – Tampang Allo – Suaya – Pango-Pango Makale dengan jarak 50.6 Kilometer

Kata Kunci: Optimasi, *Simple Hill Climbing*, dan *Ant Colony System*.

ABSTRACT

In the discipline of mathematics, optimization refers to a problem angle that tries to find the minimum or maximum value of a real function. The purpose of this research is to determine the optimum route of tourism in Tana Toraja Regency by using the Simple Hill Climbing and the Ant Colony System algorithm. By using the same data, the determination of optimum route using the Simple Hill Climbing and the Ant Colony System algorithm with three different starting points, those are Hotel Sahid Toraja, Hotel Pantan Toraja, and Toraja Misiliana Hotel, obtained the optimum route results are Toraja Misiliana Hotel – Tilangga Natural Pool – Kuburan Batu Lemo – Patung Tuhan Yesus Memberkati – Kambira Baby Grave – Buntu Kalando Museum – Tampang Allo – Suaya – Pango-Pango Makale with a distance of 50.6 Kilometers.

Keywords: *Optimization, Simple Hill Climbing, and Ant Colony System.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERYATAAN KEASLIAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR	viii
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Optimasi	6
2.2 Jarak.....	7
2.3 Lintasan	7
2.4 Algoritma <i>Hill Climbing</i>	7
2.4.1 Algoritma Simple Hill Climbing.....	8
2.5 Algoritma <i>Ant Colony</i>	11
2.5.1 Ant Colony System (ACS).....	12
2.5.2 Karakteristik <i>Ant Colony System (ACS)</i>	13
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
3.1 Jenis dan Sumber Data	23
3.2 Objek Penelitian	23
3.3 Tahapan Penelitian	23

3.4	Alur Penyelesaian.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		27
4.1	Deskripsi Data	27
4.1.1	Sampel Penelitian.....	27
4.2	Pengelolaan Data	27
4.2.1	Matriks Jarak.....	31
4.2.2	Mencari Rute Optimum.....	33
4.3	Perbandingan Hasil Rute Optimum Algoritma <i>Simple Hill Climbing</i> dan Algoritma <i>Ant Colony System</i>	89
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		92
5.1	Kesimpulan.....	92
5.2	Saran	94
DAFTAR PUSTAKA		95

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jarak Antar Titik Dalam Satuan Kilometer.....	17
Tabel 2. 2 Invers Jarak $\eta(t, ui)$	17
Tabel 2. 3 <i>Pheromone</i> (τ) Awal	18
Tabel 2. 4 Hasil Perhitungan <i>Temporary</i> dan Probabilitas untuk Semut 1 Titik I	19
Tabel 2. 5 Hasil Perhitungan <i>Temporary</i> dan Probabilitas untuk Semut 1 Titik 4	19
Tabel 2. 6 Hasil Perhitungan <i>Temporary</i> dan Probabilitas untuk Semut 1 Titik 2	20
Tabel 2. 7 Nilai <i>Pheromone</i> Setelah Mengalami Pembaruan Lokal Oleh Semut 1	21
Tabel 2. 8 Nilai <i>Pheromone</i> Setelah Mengalami Pembaruan Global	22
Tabel 3. 1 Data Lokasi Destinasi Wisata di Kabupaten Tana Toraja	23
Tabel 3. 2 Data Lokasi Hotel Penginapan Sebagai Titik Awal.....	24
Tabel 4. 1 Data Lokasi Destinasi Wisata	27
Tabel 4. 2 Data Lokasi Hotel Penginapan Sebagai Titik Awal.....	27
Tabel 4. 3 Jarak Antar Titik Pada Titik Awal Hotel Sahid Toraja.....	28
Tabel 4. 4 Jarak Antar Titik Pada Titik Awal Hotel Pantan Toraja.....	29
Tabel 4. 5 Jarak Antar Titik Pada Titik Awal Toraja Misiliana Hotel.....	30
Tabel 4. 6 Matriks Jarak untuk Titik Awal di Hotel Sahid Toraja.....	31
Tabel 4. 7 Matriks Jarak untuk Titik Awal di Hotel Pantan Toraja.....	32
Tabel 4. 8 Matriks Jarak untuk Titik Awal di Toraja Misiliana Hotel.....	32
Tabel 4. 9 Invers Jarak $\eta(t, ui)$ untuk Titik Awal Hotel Sahid Toraja.....	37
Tabel 4. 10 Nilai <i>Pheromone</i> Awal Untuk Titik Awal Hotel Sahid Toraja.....	37
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan <i>Temporary</i> dan Probabilitas untuk Titik Awal Hotel Sahid Toraja Iterasi I.....	39
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan <i>Temporary</i> dan Probabilitas untuk Titik Awal Hotel Sahid Toraja Iterasi II.....	40
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan <i>Temporary</i> dan Probabilitas untuk Titik Awal Hotel Sahid Toraja Iterasi III	41
Tabel 4.14 Hasil Perhitungan <i>Temporary</i> dan Probabilitas untuk Titik Awal Hotel Sahid Toraja Iterasi IV	42
Tabel 4.15 Hasil Perhitungan <i>Temporary</i> dan Probabilitas untuk Titik Awal Hotel Sahid Toraja Iterasi V	43
Tabel 4.16 Hasil Perhitungan <i>Temporary</i> dan Probabilitas untuk Titik Awal Hotel Sahid Toraja Iterasi VI.....	44
Tabel 4.17 Hasil perhitungan <i>temporary</i> dan probabilitas untuk Titik Awal Hotel Sahid Toraja iterasi VII.....	45
Tabel 4.18 Hasil perhitungan <i>temporary</i> dan probabilitas untuk Titik Awal Hotel Sahid Toraja iterasi VIII.....	46
Tabel 4.19 Nilai <i>Pheromone</i> Setelah Mengalami Pembaruan Lokal untuk Titik Awal Hotel Sahid Toraja.....	47

Tabel 4.20 Nilai <i>Pheromone</i> Setelah Mengalami Pembaruan Global untuk Titik Awal Hotel Sahid Toraja.....	48
Tabel 4. 21 Invers Jarak $\eta(t, ui)$ untuk Titik Awal Hotel Pantan Toraja	55
Tabel 4. 22 Nilai <i>Pheromone</i> Awal untuk Titik Awal Hotel Pantan Toraja.....	55
Tabel 4.23 Hasil Perhitungan <i>Temporary</i> dan Probabilitas untuk Titik Awal Hotel Pantan Toraja Iterasi I	57
Tabel 4.24 Hasil Perhitungan <i>Temporary</i> dan Probabilitas untuk Titik Awal Hotel Pantan Toraja Iterasi II.....	58
Tabel 4.25 Hasil Perhitungan <i>Temporary</i> dan Probabilitas untuk Titik Awal Hotel Pantan Toraja Iterasi III	59
Tabel 4.26 Hasil Perhitungan <i>Temporary</i> dan Probabilitas untuk Titik Awal Hotel Pantan Toraja Iterasi IV	60
Tabel 4.27 Hasil Perhitungan <i>Temporary</i> dan Probabilitas untuk Titik Awal Hotel Pantan Toraja Iterasi V.....	61
Tabel 4.28 Hasil Perhitungan <i>Temporary</i> dan Probabilitas untuk Titik Awal Hotel Pantan Toraja Iterasi VI	62
Tabel 4.29 Hasil Perhitungan <i>Temporary</i> dan Probabilitas untuk Titik Awal Hotel Pantan Toraja Iterasi VII.....	63
Tabel 4.30 Hasil Perhitungan <i>Temporary</i> dan Probabilitas untuk Titik Awal Hotel Pantan Toraja Iterasi VIII.....	64
Tabel 4.31 Nilai <i>Pheromone</i> Setelah Mengalami Pembaruan Lokal untuk Titik Awal Hotel Pantan Toraja.....	65
Tabel 4.32 Nilai <i>Pheromone</i> Setelah Mengalami Pembaruan Global untuk Titik Awal Hotel Pantan Toraja.....	66
Tabel 4. 33 Invers Jarak $\eta(t, ui)$ untuk Titik Awal Toraja Misiliana Hotel	76
Tabel 4. 34 Nilai <i>Pheromone</i> Awal untuk Titik Awal Toraja Misiliana Hotel.....	76
Tabel 4.35 Hasil Perhitungan <i>Temporary</i> dan Probabilitas untuk Titik Awal Toraja Misiliana Hotel Iterasi I	78
Tabel 4.36 Hasil Perhitungan <i>Temporary</i> dan Probabilitas untuk Titik Awal Toraja Misiliana Hotel Iterasi II.....	79
Tabel 4.37 Hasil Perhitungan <i>Temporary</i> dan Probabilitas untuk Titik Awal Toraja Misiliana Hotel Iterasi III	80
Tabel 4.38 Hasil Perhitungan <i>Temporary</i> dan Probabilitas untuk Titik Awal Toraja Misiliana Hotel Iterasi IV	81
Tabel 4.39 Hasil Perhitungan <i>Temporary</i> dan Probabilitas untuk Titik Awal Toraja Misiliana Hotel Iterasi V	82
Tabel 4.40 Hasil Perhitungan <i>Temporary</i> dan Probabilitas untuk Titik Awal Toraja Misiliana Hotel Iterasi VI.....	83
Tabel 4.41 Hasil Perhitungan <i>Temporary</i> dan Probabilitas untuk Titik Awal Toraja Misiliana Hotel Iterasi VII.....	84
Tabel 4.42 Hasil Perhitungan <i>Temporary</i> dan Probabilitas untuk Titik Awal Toraja Misiliana Hotel Iterasi VIII	85

Tabel 4.43 Nilai <i>Pheromone</i> Setelah Mengalami Pembaruan Lokal untuk Titik Awal Toraja Misiliana Hotel.....	86
Tabel 4.44 Nilai <i>Pheromone</i> Setelah Mengalami Pembaruan Global untuk Titik Awal Toraja Misiliana Hotel.....	88
Tabel 4.45 Perbandingan Jarak dan Rute Optimum Antara Algoritma <i>Simple Hill Climbing</i> dan Algoritma <i>Ant Colony System</i> untuk titik awal Hotel Sahid Toraja	90
Tabel 4.46 Perbandingan Jarak dan Rute Optimum Antara Algoritma <i>Simple Hill Climbing</i> dan Algoritma <i>Ant Colony System</i> untuk titik awal Hotel Pantan Toraja	91
Tabel 4.47 Perbandingan Jarak dan Rute Optimum Antara Algoritma <i>Simple Hill Climbing</i> dan Algoritma <i>Ant Colony System</i> untuk titik awal Toraja Misiliana Hotel.....	91
Tabel 5. 1 Perbandingan Rute Optimum Antara Algoritma <i>Simple Hill Climbing</i> dan Algoritma <i>Ant Colony System</i> untuk tiga titik awal	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Panjang Lintasan (Satuan Kilometer)	10
Gambar 2. 2 Tahapan Metode <i>Simple Hill Climbing</i> 6 Operator.....	10
Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian.....	25
Gambar 4. 1 Graf Lengkap.....	28
Gambar 4. 2 Jarak Setiap Rute Pada Iterasi <i>I</i> untuk Titik Awal Hotel Sahid Toraja	34
Gambar 4. 3 Jarak Setiap Rute Pada Iterasi <i>II</i> untuk Titik Awal Hotel Sahid Toraja	35
Gambar 4. 4 Rute Optimum Algoritma <i>Simple Hill Climbing</i> untuk Titik Awal Hotel Sahid Toraja	36
Gambar 4. 5 Rute Optimum Algoritma <i>Ant Colony System</i> untuk Titik Awal Hotel Sahid Toraja	49
Gambar 4. 6 Jarak Setiap Rute Pada Iterasi <i>I</i> untuk Titik Awal Hotel Pantan Toraja	51
Gambar 4. 7 Jarak Setiap Rute Pada Iterasi <i>II</i> untuk Titik Awal Hotel Pantan Toraja	52
Gambar 4. 8 Jarak Setiap Rute Pada Iterasi <i>III</i> untuk Titik Awal Hotel Pantan Toraja	53
Gambar 4. 9 Rute Optimum Algoritma <i>Simple Hill Climbing</i> untuk Titik Awal Hotel Pantan Toraja.....	54
Gambar 4. 10 Rute Optimum Algoritma <i>Ant Colony System</i> untuk Titik Awal Hotel Pantan Toraja.....	67
Gambar 4. 11 Jarak Setiap Rute Pada Iterasi <i>I</i> untuk Titik Awal Toraja Misiliana Hotel.....	69
Gambar 4. 12 Jarak Setiap Rute Pada Iterasi <i>II</i> untuk Titik Awal Toraja Misiliana Hotel.....	70
Gambar 4. 13 Jarak Setiap Rute Pada Iterasi <i>III</i> untuk Titik Awal Toraja Misiliana Hotel.....	71
Gambar 4. 14 Jarak Setiap Rute Pada Iterasi <i>IV</i> untuk Titik Awal Toraja Misiliana Hotel.....	72
Gambar 4. 15 Jarak Setiap Rute Pada Iterasi <i>V</i> untuk Titik Awal Toraja Misiliana Hotel.....	73
Gambar 4. 16 Jarak Setiap Rute Pada Iterasi <i>VI</i> untuk Titik Awal Toraja Misiliana Hotel.....	74
Gambar 4. 17 Rute Optimum Algoritma <i>Simple Hill Climbing</i> untuk Titik Awal Toraja Misiliana Hotel	75
Gambar 4. 18 Rute Optimum Algoritma <i>Ant Colony System</i> untuk Titik Awal Toraja Misiliana Hotel	88

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu Negara yang kaya akan adat istiadat dan budaya yang masih kental, menyimpan sejuta nilai kearifan lokal serta menyimpan begitu banyak potensi alam yang dipadu dengan masyarakat dari berbagai golongan suku, agama dan ras yang hidup berdampingan satu sama lain, hal inilah yang kemudian menjadi nilai tersendiri Indonesia tak hanya warga Indonesia sendiri yang kagum namun juga dikenal hingga ke mancanegara. Ini pulalah yang kemudian menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara tujuan wisata yang begitu diminati (Itamar, 2016).

UU No. 10 tahun 2009 pada pasal yang ke 4 menjelaskan tujuan kepariwisataan di Indonesia adalah untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi, meningkatkan kesejahteraan rakyat, menghapus kemiskinan, mengatasi pengangguran, melestarikan alam, lingkungan, dan sumber daya, memajukan kebudayaan, mengangkat citra bangsa, memupuk rasa cinta tanah air, memperkuat jati diri dan kesatuan bangsa, dan mempererat persahabatan antarbangsa (Itamar, 2016).

Terlihat jelas bahwa peranan pariwisata dalam pembangunan secara garis besar berintikan tiga segi yakni segi ekonomi (devisa, pajak-pajak), segi kerjasama antar Negara (persahabatan antar bangsa), segi kebudayaan (memperkenalkan kebudayaan kita kepada wisatawan mancanegara) (Itamar, 2016).

Berbicara mengenai pariwisata, Sulawesi Selatan merupakan salah satu daerah yang mempunyai banyak tempat pariwisata yang wajib didatangi oleh para wisatawan lokal maupun mancanegara dengan menyajikan keindahan alam pegunungan, lautan, tradisi, adat istiadat, kearifan lokal dan juga tidak ketinggalan wisata kulinernya. Ada beberapa daerah di Sulawesi Selatan yang sering menjadi tujuan para wisatawan di antaranya titik Makassar, Gowa, Bulukumba, Maros, dan Toraja (Hasanah, 2017).

Makassar atau yang lebih dikenal dengan nama Ujung Pandang sebagai ibu kota dari Provinsi Sulawesi Selatan merupakan kota terbesar yang terletak di pesisir barat daya Pulau Sulawesi yang memiliki perkembangan sangat pesat. Kota yang berhadapan dengan Selat Makassar ini menawarkan banyak obyek wisata menarik yang dapat dikunjungi. Seperti Benteng Ujung Pandang, pelabuhan perahu tradisional pinisi, Pantai Losari, pusat rekreasi Pantai Akkarena, Taman Budaya Sulawesi, rekreasi wisata bahari, dan masih banyak lagi tempat wisata lainnya. Makassar memiliki potensi besar untuk pengembangan pariwisata, karena disamping sebagai pusat pengembangan dan perjalanan, juga sekaligus sebagai pintu gerbang di kawasan Timur Indonesia (Misdrinaya, 2017).

Kabupaten Gowa adalah salah satu Kabupaten yang sangat banyak memiliki panorama alam yang sangat indah, serta memiliki objek-objek wisata sereba kompleks yang didukung oleh fasilitas yang cukup memadai, diantaranya wisata alam, wisata budaya, wisata ziarah, dan wisata tirta dengan wisata hiburan dan permainan. Dengan kondisi seperti ini, menempatkan Kabupaten Gowa sebagai salah satu daerah tujuan kunjungan wisata di Sulawesi Selatan (Anirwan, 2019).

Bulukumba sebagai salah satu kabupaten yang berada di Sulawesi Selatan tentunya menjadi salah satu daerah yang diminati para wisatawan lokal hingga mancanegara. Hal ini didasarkan pada potensi yang dimiliki oleh daerah dengan sebutan “Butta Panrita Lopi” dengan kekayaan budaya dan potensi wisata yang cukup beragam. Kabupaten Bulukumba memiliki letak geografis yang terdiri dari daerah pegunungan dan pesisir pantai sehingga memiliki beragam suku, budaya dan objek wisata lainnya, sehingga menarik untuk dikunjungi dunia nasional maupun internasional. Salah satu objek wisata yang paling menawan adalah kawasan wisata Tanjung Bira yang menawarkan pantai berpasir putih dengan panorama pesisir yang menakjubkan. Secara geografis pantai ini tepatnya terletak di ujung selatan provinsi Sulawesi Selatan tepatnya di Kecamatan Bontobahari Kabupaten Bulukumba, dengan jarak tempuh 41 km dari kota Bulukumba atau 200 km dari kota Makassar (Guswan, 2015).

Salah satu Daerah Tujuan Wisata (DTW) yang terdapat di Sulawesi Selatan adalah Kabupaten Maros yang banyak memiliki potensi alam objek wisata

alam yang menarik salah satunya ialah Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung. Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung sebagai bagian dari Kabupaten Maros yang memiliki daya tarik untuk dikembangkan sebagai daerah tujuan wisata baik untuk pasar wisata nusantara maupun mancanegara. Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung yang mempunyai potensi sebagai objek wisata yang didukung oleh keberadaannya sebagai suatu kawasan yang memiliki potensi sangat besar (Muallim, 2015).

Kabupaten Tana Toraja sebagai salah satu daerah yang terdapat di Sulawesi Selatan merupakan kawasan yang menyimpan beragam kekayaan, baik yang bersifat kekayaan alam maupun kekayaan budaya dan adat istiadat yang selalu mengisi setiap ruang dalam aktifitas tradisional yang terdapat dalam masyarakat Tana Toraja. Kabupaten Tana Toraja juga merupakan salah satu destinasi kunjungan wisata terfavorit di Indonesia yang apabila dikelola dan dikembangkan dengan baik dan tepat maka akan menjadi daerah tujuan wisata yang menarik bagi wisatawan untuk tidak hanya dikunjungi sekali saja. Kekayaan alam, budaya serta adat istiadat yang ada di Tana Toraja rupanya menjadi bagian yang sangat penting bagi masyarakat yang ada di Tana Toraja sendiri. Kekayaan yang diwariskan sejak ratusan tahun ini bisa dilihat dari aktifitas adat istiadat masyarakat Tana Toraja dalam setiap perbedaan golongan masyarakat di Tana Toraja tidak pernah menjadi halangan untuk mengurangi rasa saling mengasihi dan gotong royong (Itamar, 2016).

Tana Toraja memiliki tempat pariwisata yang banyak dan masing-masing tempat memiliki daya tarik tersendiri bagi para wisatawan. Setiap tempat memiliki jarak yang cukup jauh sehingga kadangkala wisatawan yang hanya berkunjung beberapa hari tidak dapat mengunjungi semua tempat yang diinginkan. Untuk mengatasi hal tersebut, maka perlu dibuat perencanaan rute yang optimal agar dapat mengunjungi semua destinasi wisata yang diinginkan dengan waktu yang cukup dan jarak tempuh yang singkat yaitu dengan menentukan lintasan terpendek dari suatu tempat ke tempat yang lain dengan satu lintasan, mengatur rute kendaraan agar semua lokasi dapat dijangkau dan biaya penggunaan kendaraan tidak terlalu besar.

Untuk memecahkan masalah tersebut diperlukan algoritma yang handal, yaitu algoritma *Simple Hill Climbing* dan algoritma *Ant Colony System*. Algoritma *Simple Hill Climbing* dan algoritma *Ant Colony System* adalah metode kecerdasan buatan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi. Karena algoritmanya yang cukup sederhana, metode algoritma *Simple Hill Climbing* telah banyak diterapkan dalam berbagai aplikasi. Disamping itu metode *Simple Hill Climbing* juga mengefisienkan penggunaan memori yang besar. Algoritma *Ant Colony System* adalah algoritma yang diadopsi dari perilaku koloni semut (Ilwaru, 2017).

Adapun algoritma *Simple Hill Climbing* dan algoritma *Ant Colony System* yang digunakan dalam menyelesaikan masalah optimasi dengan menentukan lintasan terpendek dari suatu tempat ke tempat yang lain dalam satu lintasan, maka dilakukan pemilihan tempat yang akan dituju kemudian melakukan perbandingan hasil perhitungan jarak tempuh dari metode algoritma *Simple Hill Climbing* dan algoritma *Ant Colony System* untuk pemilihan rute optimum yang dapat digunakan dalam aplikasi pencarian rute terpendek pada pariwisata di Kabupaten Tana Toraja.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka akan dilakukan penelitian dengan judul **"Perbandingan Algoritma *Simple Hill Climbing* dan Algoritma *Ant Colony System* Dalam Penentuan Rute Optimum (Studi Kasus: Pariwisata di Kabupaten Tana Toraja)"**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah yang akan diteliti yaitu:

1. Bagaimana perbandingan penggunaan algoritma *Simple Hill Climbing* dan algoritma *Ant Colony System* dalam penentuan rute optimum pada pariwisata di Kabupaten Tana Toraja?
2. Bagaimana cara memperoleh rute optimum pariwisata di Kabupaten Tana Toraja dengan menggunakan metode algoritma *Simple Hill Climbing* dan algoritma *Ant Colony System*?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi dengan memilih 8 tempat wisata di Kabupaten Tana Toraja dan memilih 3 hotel penginapan sebagai titik awal dalam penentuan rute optimum dengan menggunakan metode algoritma *Simple Hill Climbing* dan algoritma *Ant Colony System*.

1.4 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan permasalahan yang diajukan sebelumnya maka tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk membandingkan metode algoritma *Simple Hill Climbing* dan algoritma *Ant Colony System*.
2. Untuk mengetahui rute optimum pariwisata di Kabupaten Tana Toraja dengan menggunakan metode algoritma *Simple Hill Climbing* dan algoritma *Ant Colony System*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penulisan penelitian ini pada dasarnya diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Memudahkan wisatawan dalam menentukan jarak terdekat antar destinasi wisata dengan menggunakan metode algoritma *Simple Hill Climbing* dan algoritma *Ant Colony System*.
2. Sebagai pertimbangan metode yang digunakan dalam menentukan rute optimum.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Optimasi

Optimasi adalah suatu proses untuk mencapai hasil yang optimal (nilai efektif yang dapat dicapai). Dalam disiplin matematika optimasi merujuk pada studi permasalahan yang mencoba untuk mencari nilai minimal atau maksimal dari suatu fungsi rill. Untuk mencapai nilai optimal baik minimal maupun maksimal tersebut, secara sistematis dilakukan pemilihan nilai variable integer atau rill yang akan memberikan solusi optimal (Mindaputra, 2009).

Nilai optimal adalah nilai yang didapat melalui suatu proses dan dianggap menjadi solusi jawaban yang paling baik dari semua solusi yang ada. Nilai optimal dapat dicari dengan dua cara, yaitu:

1. Cara konvensional, yaitu mencoba semua kemungkinan yang ada dengan mencatat nilai yang didapat cara kurang efektif, karena optimasi akan berjalan secara lambat.
2. Cara kedua adalah dengan menggunakan suatu rumus sehingga nilai optimal dapat diperkirakan dengan cepat dan tepat.

Permasalahan yang berkaitan dengan optimasi sangat kompleks dalam kehidupan sehari-hari. Nilai optimal yang didapat dalam optimasi dapat berupa besaran panjang, waktu, jarak, dan lain-lain. Berikut ini adalah termasuk beberapa persoalan optimasi :

1. Menentukan lintasan terpendek dari suatu tempat ke tempat yang lain.
2. Menentukan jumlah pekerjaan seminimal mungkin untuk melakukan suatu proses produksi agar pengeluaran biaya pekerjaan dapat diminimalkan dan hasil produksi tetap maksimal.
3. Mengatur rute kendaraan agar semua lokasi dapat dijangkau.
4. Mengatur *routing* jaringan kabel telepon agar biaya pemasangan kabel tidak terlalu besar.

Selain beberapa contoh persoalan di atas, masih banyak persoalan lainnya yang terdapat dalam berbagai bidang.

2.2 Jarak

Menurut Putu (2010), Jarak adalah angka yang menunjukkan seberapa jauh benda berubah posisi melalui suatu lintasan tertentu. Dalam fisika atau dalam kehidupan sehari-hari, jarak berupa estimasi jarak fisik dari dua posisi berdasarkan kriteria tertentu, misalkan jarak tempuh Jakarta-Bandung. Dalam matematika, jarak haruslah memenuhi kriteria tertentu. Jarak berbeda dengan koordinat posisi, jarak tidak mungkin bernilai negative. Jarak merupakan besaran scalar sedangkan perpindahan merupakan besar vector. Jarak yang ditempuh oleh kendaraan biasanya ditunjukkan dalam kilometer, orang atau objek, haruslah dibedakan dengan jarak antara titik satu dengan yang lainnya (Renardi, Mutammimul, 2017).

2.3 Lintasan

Lintasan adalah jalan yang dilalui sesuatu materi/benda yang bergerak, lintasan atau trayek adalah tempat posisi titik-titik oleh suatu benda yang bergerak. Lintasan gerak benda biasa berupa garis lurus, lingkaran atau parabola, lintasan dapat lebih mudah dipahami dalam bentuk graf (Renardi, Mutammimul, 2017).

2.4 Algoritma *Hill Climbing*

Algoritma *Hill Climbing* adalah salah satu metode yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan pencarian jarak terdekat. Cara kerjanya adalah menentukan langkah berikutnya dengan menempatkan node yang akan muncul sedekat mungkin dengan sasarannya. Proses pengujian dilakukan dengan menggunakan fungsi heuristik. Pembangkitan keadaan berikutnya sangat tergantung pada *feedback* dari prosedur pengetesan. Tes yang berupa fungsi heuristik ini akan menunjukkan seberapa baiknya nilai terkaan yang diambil terhadap keadaan lainnya yang membuktikan (Kusumadewi, 2003).

Algoritma *Hill Climbing* adalah teknik optimasi untuk menentukan pemecahan masalah dari data input dengan menggunakan algoritma. Tahapan terbaik yang digunakan dalam pemecahan permasalahan adalah properti yang penjelasan state itu sendiri berisi semua informasi yang diperlukan untuk solusi

(Russell dan Norving, 2003). Algoritma berisi memori yang efisien karena tidak mempertahankan pohon pencarian namun hanya dapat terlihat pada kondisi saat ini, dan state yang akan datang.

Terdapat dua jenis *Hill Climbing* yang berbeda, yakni *Simple Hill Climbing* (*Hill Climbing* sederhana) dan *Steepest-Ascent Hill Climbing* (*Hill Climbing* dengan memilih kemiringan yang paling tajam/curam). *Simple Hill Climbing*, awalnya *next state* akan ditentukan dengan membandingkan *current state* dengan satu *successor*. Proses perbandingan ini dimulai dari sebelah kiri. Apabila ditemukan penerus baru yang lebih baik dari kondisi saat itu *current state* maka penerusnya tersebut akan menjadi *next state*. Sedangkan pada *Steepest-Ascent Hill Climbing* dalam menentukan *next state*, *current state* langsung dibandingkan dengan semua *successor* yang ada di dekatnya, sehingga *next state* yang diperoleh merupakan *successor* yang baik serta mendekati hasil optimasi yang diharapkan. Selain itu *Simple Hill Climbing* urutan penggunaan operator sangat berpengaruh terhadap solusi, sedangkan *Steepest-Ascent Hill Climbing* urutan penggunaan operator tidak berpengaruh terhadap solusi. Dari segi kelebihan *Simple Hill Climbing* efisiensi dari memori sedangkan *Steepest-Ascent Hill Climbing* memerlukan memori yang banyak dalam penyimpanannya (Dangkua dkk, 2015).

2.4.1 Algoritma Simple Hill Climbing

Adapun algoritma *Simple Hill Climbing* adalah sebagai berikut.

1. Evaluasi state awal, jika state awal sama dengan tujuan, maka proses berhenti. Jika tidak sama dengan tujuan maka lanjutkan proses dengan membuat state awal sebagai state sekarang.
2. Mengerjakan langkah berikutnya sebagai solusi ditemukan atau sampai tidak ada lagi operator baru yang dapat digunakan dalam state sekarang:
 - a. Mencari sebuah operator yang memiliki nilai terkecil belum pernah digunakan dalam state sekarang dan gunakan operator tersebut untuk membentuk state baru
 - b. Evaluasi state baru
 - i. Jika state baru adalah tujuan, maka proses berhenti.

- ii. Jika state baru tersebut bukan tujuan tetapi state baru lebih baik dari pada state sekarang, maka buat state baru menjadi state sekarang.
- iii. Jika state baru tidak lebih dari pada state sekarang, maka lanjutkan ke langkah 2.

Traveling Salesman Problem dengan *Simple Hill Climbing*. Ruang keadaan berisi semua kemungkinan lintasan, sementara operator digunakan untuk menukar posisi situs wisata yang bersebelahan dengan situs wisata dalam hal ini disimbolkan dengan titik. Fungsi heuristik yang digunakan adalah panjang lintasan yang terjadi. Operator yang akan digunakan adalah menukar posisi 2 titik dalam 1 lintasan. Bila ada n titik, dan ingin mencari kombinasi lintasan dengan menukar posisi urutan 2 titik, maka banyak lintasan yang mungkin di nyatakan dalam perumusan:

$$C_m^n = \frac{n!}{m!(n-m)!}$$

Sehingga jika $m = 2$ maka diperoleh sebagai berikut :

$$C_2^n = \frac{n!}{2!(n-2)!}$$

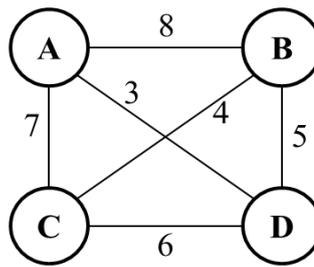
Misalkan dalam tersebut di terapkan 4 titik, sehingga dapat di peroleh:

$$\begin{aligned} C_2^4 &= \frac{4!}{2!(4-2)!} \\ &= 6 \text{ kombinasi.} \end{aligned}$$

Keenam kombinasi ini akan kita pakai semuanya sebagai operator, yaitu:

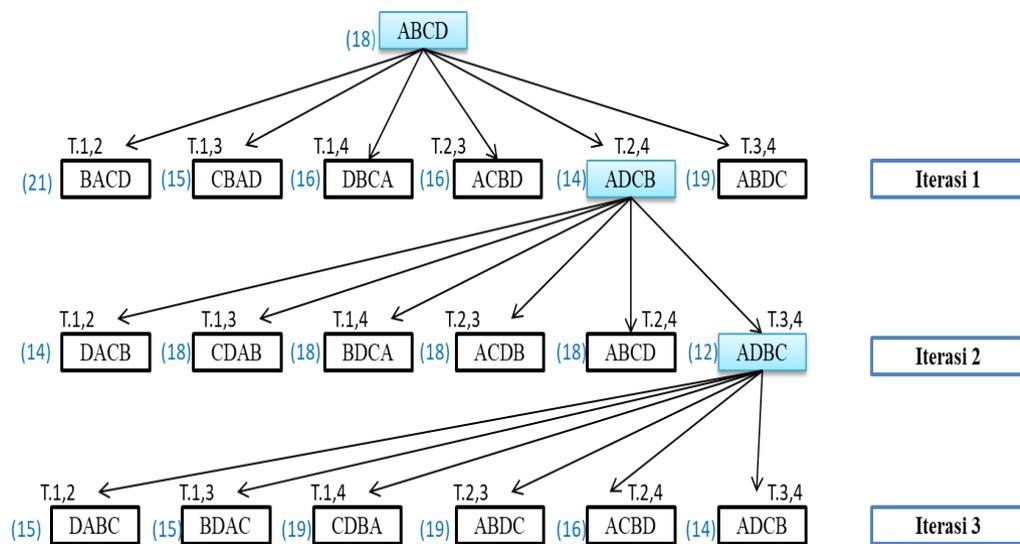
1. Tukar 1,2 (menukar urutan posisi titik ke-1 dengan titik ke-2)
2. Tukar 1,3 (menukar urutan posisi titik ke-1 dengan titik ke-3)
3. Tukar 1,4 (menukar urutan posisi titik ke-1 dengan titik ke-4)
4. Tukar 2,3 (menukar urutan posisi titik ke-2 dengan titik ke-3)
5. Tukar 2,4 (menukar urutan posisi titik ke-2 dengan titik ke-4)
6. Tukar 3,4 (menukar urutan posisi titik ke-3 dengan titik ke-4)

Berikut diberikan contoh jarak antar titik dengan panjang lintasan yang di peroleh tertera pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Panjang Lintasan (Satuan Kilometer)

Tahapan algoritma *Simple Hill Climbing* 6 operator ditunjukkan pada Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Tahapan Metode *Simple Hill Climbing* 6 Operator

Pada keadaan awal, lintasan terlebih adalah $ABCD=18$. Pada iterasi pertama, *simple hill climbing* akan mengunjungi $ADCB=14$ yang ternyata memiliki nilai heuristik lebih kecil dibandingkan dengan $ABCD=18$, sehingga $ADCB$ menjadi pilihan selanjutnya dengan operator terpakai Tukar 1,2.

Pada iterasi kedua, pencarian pertama ditemukan node $DACB=14$ sama dengan $ADCB$, maka lanjut ke node selanjutnya $CDAB$, $BDCA$, $ACDB$, $ABCD=18$, yang lebih besar juga. Nilai heuristik yang lebih kecil diperoleh pada node $ADBC=12$. Sehingga node $ADBC$ ini akan diekplorasi.

Pada iterasi ketiga, dari hasil ekplorasi dengan pemakaian semua operator, ternyata sudah tidak ada node yang memiliki nilai heuristik yang lebih kecil dibanding dengan nilai heuristik $ADBC$, sehingga sebenarnya node $ADBC=12$

inilah lintasan terpendek yang kita cari (solusi). Jadi panjang lintasan yang optimum adalah lintasan ADBC dengan panjang lintasan 12 kilometer.

2.5 Algoritma *Ant Colony*

Algoritma *Ant Colony* atau disebut juga *Ant Colony Optimization* (ACO), merupakan metode pencarian metaheuristik yang diinspirasi oleh perilaku semut dalam menyelesaikan permasalahan optimisasi, termasuk dalam permasalahan pencarian rute terpendek. Pada tahun 1996, dunia ilmu pengetahuan pun ikut belajar dari semut dengan diperkenalkannya algoritma semut atau *Ant Colony Optimization* sebagai sebuah simulasi multi agen yang menggunakan metafora alami semut untuk menyelesaikan *problem* ruang fisik. Algoritma semut diperkenalkan oleh **Moyson** dan **Manderick** dan secara meluas dikembangkan oleh **Marco Darigo**, merupakan teknik probabilistic untuk menyelesaikan masalah komputasi dengan menemukan rute terbaik. Algoritma ini diambil dengan analogi oleh perilaku semut dalam menemukan rute dari koloninya menuju makanan (Mindaputra, 2009).

Semut mampu mengindera lingkungannya yang kompleks untuk mencari makanan dan kemudian kembali ke sarangnya dengan meninggalkan zat *pheromone* pada rute-rute yang mereka lalui. *Pheromone* adalah zat kimia yang berasal dari kelenjar endokrin dan digunakan oleh makhluk hidup untuk mengenali sesama jenis, individu lain, kelompok, dan untuk membantu reproduksi. Berbeda dengan hormone, *pheromone* menyebar ke luar tubuh dapat mempengaruhi dan dikenali oleh individu lain yang sejenis (satu spesies). Proses peninggalan *pheromone* ini dikenal sebagai *stigmergy*, sebuah proses memodifikasi lingkungan yang tidak hanya bertujuan untuk mengingat jalan pulang kesarang, tetapi juga memungkinkan para semut berkomunikasi dengan koloninya (Mindaputra, 2009).

Seiring waktu, bagaimanapun juga jejak *pheromone* akan menguap dan akan mengurangi kekuatan daya tariknya. Lebih lama seekor semut pulang pergi melalui rute tersebut, lebih lama jugalah *pheromone* menguap. Agar semut mendapatkan rute optimal, diperlukan beberapa proses yaitu:

1. Pada awalnya, semut berkeliling secara acak, hingga menemukan makanan.

2. Ketika menemukan makanan mereka kembali ke koloninya sambil memberikan tanda dengan jejak *pheromone*.
3. Jika semut-semut lain menemukan rute tersebut, mereka tidak akan bepergian dengan acak lagi, melainkan akan mengikuti jejak tersebut.
4. Kembali dan menguatkannya jika pada akhirnya mereka pun menemukan makanan.
5. Seekor semut yang secara tidak sengaja menemukan rute optimal akan menempuh rute ini lebih cepat dari rekan-rekannya, melakukan *round-trip* lebih sering, dan dengan sendirinya meninggalkan *pheromone* lebih banyak dari rute-rute yang lebih lambat ditempuh.
6. *Pheromone* yang berkonsentrasi tinggi pada akhirnya akan menarik semut-semut lain untuk berpindah rute, menuju rute paling optimal, sedangkan rute lainnya akan ditinggalkan.
7. Pada akhirnya semua semut yang tadinya menempuh rute yang berbeda-beda akan beralih ke sebuah rute tunggal yang ternyata paling optimal dari sarang menuju ke tempat makanan.

2.5.1 Ant Colony System (ACS)

Ant Colony System (ACS) merupakan pengembangan dari *Ant Colony Optimization*. *Ant Colony System* (ACS) adalah sebuah metodologi yang dihasilkan melalui pengamatan terhadap semut. Pada algoritma ACS, semut berfungsi sebagai agen yang ditugaskan untuk mencari solusi terhadap suatu masalah optimisasi. ACS telah diterapkan dalam berbagai bidang, salah satunya adalah untuk mencari solusi optimal pada *Traveling Salesman Problem* (TSP). dengan memberikan sejumlah n titik, TSP dapat didefinisikan sebagai suatu permasalahan dalam menentukan jalur terpendek dengan mengunjungi setiap titik yang ada hanya sekali (Mindaputra, 2009).

Secara informal, ACS bekerja sebagai berikut: pertama kali, sejumlah m semut ditempatkan pada sejumlah n tidak berdasarkan beberapa aturan inisialisasi (misalnya, secara acak). Setiap semut membuat sebuah *tour* dengan menerapkan sebuah aturan transisi status secara berulang kali. Selagi membangun *tour*nya, seekor semut juga memodifikasi jumlah *pheromone* (sejumlah informasi yang

ditinggalkan oleh semut di tempat yang dilalui dan menandai rute tersebut) pada ruas-ruas yang dikunjunginya dengan menerapkan aturan pembaruan *pheromone* lokal. Setelah semua semut mengakhiri *tour* mereka, jumlah *pheromone* yang ada pada ruas-ruas dimodifikasi kembali (dengan menerapkan aturan pembaruan *pheromone* global). Dalam membuat *tour*, semut ‘dipandu’ oleh informasi heuristic (mereka memilih ruas-ruas yang pendek) dan oleh *pheromone*. Sebuah ruas dengan jumlah *pheromone* yang tinggi merupakan pilihan yang sangat diinginkan. Kedua aturan pembaruan *pheromone* itu dirancang agar semut cenderung untuk memberi lebih banyak *pheromone* pada ruas-ruas yang harus mereka lewati.

2.5.2 Karakteristik *Ant Colony System* (ACS)

Terdapat tiga karakteristik utama dari ACS, yaitu: aturan transisi status, aturan pembaruan *pheromone* lokal, aturan pembaruan *pheromone* global.

1. Aturan transisi status

Aturan transisi status adalah aturan yang digunakan dalam memilih titik tujuan berikutnya dengan melakukan perhitungan probabilitas masing-masing titik tujuan yang mungkin. Aturan transisi status yang berlaku pada ACS adalah seekor semut yang ditempatkan pada titik t memilih untuk menuju ke titik v , kemudian diberikan bilangan pecahan acak q dimana $0 \leq q \leq 1$, q_0 adalah sebuah parameter yaitu Probabilitas semut melakukan eksplorasi pada setiap tahapan, dimana ($0 \leq q_0 \leq 1$) dan $p_k(t, v)$ adalah probabilitas dimana semut k memilih untuk bergerak dari titik t ke titik v .

Jika $q \leq q_0$ maka pemilihan titik yang akan dituju menerapkan aturan yang ditunjukkan oleh Persamaan (2.1)

$$\begin{aligned} \text{temporary}(t, u) &= [\tau(t, u_i)] \cdot [\eta(t, u_i)]^\beta, i = 1, 2, 3, \dots, n \\ v &= \max\{[\tau(t, u_i)] \cdot [\eta(t, u_i)]^\beta\} \end{aligned} \quad 2.1$$

sedangkan jika $q > q_0$ digunakan Persamaan (2.2)

$$v = p_k(t, v) = \frac{[\tau(t, v)] \cdot [\eta(t, v)]^\beta}{\sum_{i=1}^n [\tau(t, u_i)] \cdot [\eta(t, u_i)]^\beta} \quad 2.2$$

dengan,

$$\eta(t, u_i) = \frac{1}{\text{jarak}(t, u_i)}$$

Dengan:

τ = intensitas *pheromone*

η = visibilitas antar titik

u = titik-titik yang mungkin dikunjungi semut

v = titik yang akan dituju

β = parameter yang mengontrol bobot (*weight*) relatif dari *pheromone* terhadap jarak ($\beta > 0$)

$\tau(t, u)$ = nilai dari jejak *pheromone* pada titik (t, u)

$\eta(t, u)$ = fungsi heuristik dimana dipilih sebagai invers jarak antara titik t dan u .

p_k = probabilitas tiap titik berikutnya yang akan dikunjungi.

Pheromone adalah zat kimia yang berasal dari kelenjar endokrin dan digunakan oleh makhluk hidup untuk mengenali sesama jenis, individu lain, kelompok, dan untuk membantu proses reproduksi. Berbeda dengan hormon, *pheromon* menyebar ke luar tubuh dapat mempengaruhi dan dikenali oleh individu lain yang sejenis (satu spesies). Proses peninggalan *pheromon* ini dikenal sebagai *stigmergy*, sebuah proses memodifikasi lingkungan yang tidak hanya bertujuan untuk mengingat jalan pulang ke sarang, tetapi juga memungkinkan para semut berkomunikasi dengan koloninya. Seiring waktu, bagaimanapun juga jejak *pheromone* akan menguap dan akan mengurangi kekuatan daya tariknya, sehingga jejak *pheromon* harus diperbaharui. Pada ACS pembaruan *pheromone* dibagi menjadi 2, yaitu: Aturan pembaruan *pheromone* lokal, Aturan pembaruan *pheromone* global.

2. Aturan pembaruan *pheromone* lokal

Selagi melakukan *tour* untuk mencari solusi dari TSP, semut mengunjungi ruas-ruas dan mengubah tingkat *pheromone* pada ruas-ruas tersebut dengan menerapkan aturan pembaruan *pheromone* lokal yang ditunjukkan oleh Persamaan (2.3)

$$\tau(t, v) \leftarrow (1-\rho) \cdot \tau(t, v) + \rho \cdot \Delta\tau(t, v) \quad 2.3$$

$$\Delta\tau(t, v) = \frac{1}{L_{nn} \cdot C}$$

Dengan :

- L_{mn} = panjang tour yang diperoleh
 c = jumlah lokasi
 ρ = parameter dengan nilai 0 sampai 1
 $\Delta\tau$ = perubahan *pheromone*.

ρ adalah sebuah parameter (koefisien evaporasi), yaitu besarnya koefisien penguapan *pheromone*. Adanya penguapan *pheromone* menyebabkan tidak semua semut mengikuti rute yang sama dengan semut sebelumnya. Hal ini memungkinkan dihasilkan solusi alternatif yang lebih banyak. Peranan dari aturan pembaruan *pheromone* lokal ini adalah untuk mengacak arah lintasan yang sedang dibangun, sehingga titik-titik yang telah dilewati sebelumnya oleh *tour* seekor semut mungkin akan dilewati kemudian oleh *tour* semut yang lain. Dengan kata lain, pengaruh dari pembaruan lokal ini adalah untuk membuat tingkat ketertarikan ruas-ruas yang ada berubah secara dinamis: setiap kali seekor semut menggunakan sebuah ruas maka ruas ini dengan segera akan berkurang tingkat ketertarikannya (karena ruas tersebut kehilangan sejumlah *pheromone*-nya), secara tidak langsung semut yang lain akan memilih ruas-ruas lain yang belum dikunjungi.

Konsekuensinya, semut tidak akan memiliki kecenderungan untuk berkumpul pada rute yang sama. Fakta ini, yang telah diamati dengan melakukan percobaan [Dorigo dan Gambardella, 1997]. Merupakan sifat yang diharapkan bahwa jika semut membuat *tour-tour* yang berbeda maka akan terdapat kemungkinan yang lebih tinggi dimana salah satu dari mereka akan menemukan solusi yang lebih baik daripada mereka semua berkumpul dalam *tour* yang sama. Dengan cara ini, semut akan membuat penggunaan informasi *pheromone* menjadi lebih baik tanpa pembaruan lokal, semua semut akan mencari pada lingkungan yang sempit dari *tour* terbaik yang telah ditemukan sebelumnya.

3. Aturan pembaruan *pheromone* global

Pada sistem ini, pembaruan *pheromone* secara global hanya dilakukan oleh semut yang membuat tur terpendek sejak permulaan percobaan. Pada akhir sebuah iterasi, setelah semua semut menyelesaikan *tour* mereka, sejumlah *pheromone* ditaruh pada ruas-ruas yang dilewati oleh seekor semut yang

telah menemukan *tour* terbaik (ruas-ruas yang lain tidak diubah). Tingkat *pheromone* itu diperbarui dengan menerapkan aturan pembaruan *pheromone* global yang ditunjukkan oleh Persamaan (2.4).

$$\tau(t, v) \leftarrow (1 - \alpha) \cdot \tau(t, v) + \alpha \cdot \Delta\tau(t, v) \quad 2.4$$

$$\Delta\tau(t, v) = \begin{cases} L_{gb}^{-1}, & \text{jika } (t, v) \in \text{rute terbaik} \\ 0 & \end{cases}$$

Dengan :

$\tau(t, v)$ = nilai *pheromone* akhir setelah mengalami pembaharuan lokal

L_{gb} = panjang rute terpendek pada akhir siklus

α = parameter dengan nilai antara 0 sampai 1

$\Delta\tau$ = perubahan *pheromone*

$\Delta\tau(t, v)$ bernilai $\frac{1}{L_{gb}}$ jika ruas (t, v) merupakan bagian dari rute terbaik

namun jika sebaliknya $\Delta\tau(t, v) = 0$. α adalah tingkat kepentingan relatif dari *pheromone* atau besarnya bobot yang diberikan terhadap *pheromone*, sehingga solusi yang dihasilkan cenderung mengikuti sejarah masa lalu dari semut dari perjalanan sebelumnya, dimana nilai parameter α adalah ≥ 0 , dan L_{gb} adalah panjang dari *tour* terbaik secara global sejak permulaan percobaan. Pembaruan *pheromone* global dimaksudkan untuk memberikan *pheromone* yang lebih banyak pada tur-tur yang lebih pendek. Persamaan (2.3) menjelaskan bahwa hanya ruas-ruas yang merupakan bagian dari *tour* terbaik secara global yang akan menerima penambahan *pheromone*.

Untuk lebih memahami tentang algoritma *Ant Colony System* (ACS), diberikan contoh pengaplikasiannya sebagai berikut.

Dalam pengaplikasian pencarian rute terpendek yang dibuat berdasarkan algoritma ACS maka diperlukan suatu data jarak antar titik sebagai acuan utama dalam pencarian rute optimum. Data jarak antar titik dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Jarak Antar Titik Dalam Satuan Kilometer

	1	2	3	4
1	-	8	7	3
2	8	-	4	5
3	7	4	-	6
4	3	5	6	-

Sumber: *Data diolah, 2021*

Terdapat tiga tahapan dalam menghitung jarak rute terpendek dengan menggunakan algoritma *Ant Colony System*, yaitu:

1. Aturan transisi status

Aturan transisi status yang berlaku pada ACS adalah seekor semut yang ditempatkan pada titik t memilih untuk menuju ke titik v . Dalam perhitungan algoritma *Ant Colony System* maka terlebih dahulu dilakukan perhitungan awal untuk menghitung invers jarak $\eta(t, u_i)$ antar tiap-tiap titik berdasarkan Tabel 2.1. sebagai berikut.

$$\eta(t, u_i) = \frac{1}{\text{jarak}(t, u_i)}$$

maka diperoleh

- $\eta(1,2) = 0.125$
- $\eta(1,3) = 0.142$
- $\eta(1,4) = 0.333$
- $\eta(2,3) = 0.25$
- $\eta(2,4) = 0.2$
- $\eta(3,4) = 0.166$

Hasil keseluruhan dari invers jarak $\eta(t, u_i)$ dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Invers Jarak $\eta(t, u_i)$

	1	2	3	4
1	-	0.125	0.142	0.333
2	0.125	-	0.25	0.2
3	0.142	0.25	-	0.166
4	0.333	0.2	0.166	-

Sumber: *Data diolah, 2021*

Nilai dari semua *pheromone* (τ) pada awal perhitungan ditetapkan dengan angka awal yang sangat kecil. Pada contoh perhitungan penelitian ini nilai *pheromone* awal menggunakan nilai (τ) awal sebesar 0.0001. Penetapan nilai *pheromone* awal dimaksudkan agar tiap-tiap ruas memiliki nilai ketertarikan untuk dikunjungi oleh tiap-tiap semut. Nilai *pheromone* untuk semua titik dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 *Pheromone* (τ) Awal

	1	2	3	4
1	-	0.0001	0.0001	0.0001
2	0.0001	-	0.0001	0.0001
3	0.0001	0.0001	-	0.0001
4	0.0001	0.0001	0.0001	-

Sumber: *Data diolah, 2021*

Selanjutnya dilakukan tahap pemilihan titik yang akan dituju, pertama-tama dilakukan penerapan dari nilai $\beta = 2$, yaitu parameter perhitungan untuk mendapatkan nilai yang optimal dalam algoritma *ant colony system*. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *temporary* (t, u) berdasarkan Persamaan (2.1) serta nilai probabilitas berdasarkan persamaan (2.2) dari titik awal (t) ke titik selanjutnya yang belum dilalui (u). Nilai *temporary* digunakan untuk menentukan titik-titik yang akan dituju selanjutnya. Hasil perhitungan nilai *temporary* dan probabilitas dari titik awal (t) ke titik selanjutnya (u) dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{temporary}(t, u) &= [\tau(t, u_i)] \cdot [\eta(t, u_i)]^\beta, i = 1, 2, 3, \dots, n \\
 v &= \max\{[\tau(t, u_i)] \cdot [\eta(t, u_i)]^\beta\}
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

Untuk semut 1:

Iterasi I

- $\text{temporary}(1,2) = [0.0001] \cdot [0.125]^2 = 1.5625 \times 10^{-6}$
- $\text{temporary}(1,3) = [0.0001] \cdot [0.142]^2 = 2.0164 \times 10^{-6}$
- $\text{temporary}(1,4) = [0.0001] \cdot [0.333]^2 = 11.0889 \times 10^{-6}$

$$\text{Total} = 14.6678 \times 10^{-6}$$

$$p_k(t, v) = \frac{[\tau(t, v)] \cdot [\eta(t, v)]^\beta}{\sum_{i=1}^n [\tau(t, u_i)] \cdot [\eta(t, u_i)]^\beta} \tag{2.2}$$

- probabilita (1,2) = $\frac{1.5625 \times 10^{-6}}{14.6678 \times 10^{-6}} = 0.106$
- probabilitas (1,3) = $\frac{2.0164 \times 10^{-6}}{14.6678 \times 10^{-6}} = 0.137$
- probabilitas (1,4) = $\frac{11.0889 \times 10^{-6}}{14.6678 \times 10^{-6}} = 0.756$

Hasil perhitungan *temporary* dan probabilitas dari titik awal (t) ke titik selanjutnya (u) dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Hasil Perhitungan *Temporary* dan Probabilitas untuk Semut 1 Titik I

	1	2	3	4
Temporary ($\times 10^{-6}$)	-	1.5625	2.0164	11.089
Probabilitas	-	0.106	0.137	0.756
Probabilitas akumulatif	-	0.106	0.243	1

Sumber: *Data diolah, 2021*

Untuk memilih persamaan yang tepat sebagai acuan dalam pemilihan titik selanjutnya dibangkitkan suatu bilangan acak (q) sebesar 0.1 dan suatu bilangan pembatas (q_0) sebesar 0.9, yang artinya semut melakukan proses eksploitasi dengan probabilitas 90% dan proses eksplorasi 10%. (Bauer, n.d). Maka penentuan lokasi yang akan dituju berdasarkan persamaan (2.1), yaitu dengan melihat hasil *temporary* yang paling besar. Maka tujuan selanjutnya adalah titik 4.

Iterasi II

Selanjutnya dilakukan lagi perhitungan nilai *temporary* dan probabilitas dari titik 4 ke titik selanjutnya dan dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Hasil Perhitungan *Temporary* dan Probabilitas untuk Semut 1 Titik 4

	4	2	3	1
Temporary ($\times 10^{-6}$)	-	4	2,7556	-
Probabilitas	-	0.592	0.407	-
Probabilitas akumulatif	-	0.592	1	-

Sumber: *Data diolah, 2021*

Maka penentuan lokasi yang akan dituju berdasarkan Persamaan (2.1), yaitu dengan melihat hasil *temporary* yang paling besar. Maka tujuan selanjutnya adalah titik 2.

Iterasi III

Selanjutnya dilakukan lagi perhitungan nilai *temporary* dan probabilitas dari titik 2 ke titik selanjutnya dan dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Hasil Perhitungan *Temporary* dan Probabilitas untuk Semut 1 Titik 2

	2	3	4	1
Temporary (x 10 ⁻⁶)	-	6.25	-	-
Probabilitas	-	1	-	-
Probabilitas akumulatif	-	1	-	-

Sumber: *Data diolah, 2021*

Penentuan lokasi yang akan dituju berdasarkan Persamaan (2.1), yaitu dengan melihat hasil *temporary* yang paling besar. Maka tujuan selanjutnya adalah titik 3. Karena titik 3 adalah tujuan terakhir, maka prosesnya berhenti. Maka didapat rute semut 1 dalam pencarian aturan transisi status yaitu 1-4-2-3.

Lanjutkan kembali pencarian aturan transisi status dari Persamaan (2.1) dan (2.2) untuk semut 2, semut 3, dan semut 4. Setelah melakukan pencarian aturan transisi status untuk semut 2, semut 3, dan semut 4, maka didapat rute semut sebagai berikut.

Rute semut 1 : 1-4-2-3

Rute semut 2 : 2-3-4-1

Rute semut 3 : 3-2-4-1

Rute semut 4 : 4-1-3-2

2. Aturan pembaruan *pheromone* lokal

Tahap selanjutnya adalah melakukan pembaruan *pheromone* lokal dengan menggunakan Persamaan (2.3).

$$\tau(t, v) \leftarrow (1-\rho) \cdot \tau(t, v) + \rho \cdot \Delta\tau(t, v) \tag{2.3}$$

$$\Delta\tau(t, v) = \frac{1}{L_{mn} \cdot C}$$

Hasil perhitungannya sebagai berikut.

Untuk rute semut 1 = 1-4-2-3

- $\Delta\tau(1,4) = \frac{1}{3 * 4} = 0.08333$
- $\Delta\tau(4,2) = \frac{1}{5 * 4} = 0.05$

$$\bullet \Delta\tau(2,3) = \frac{1}{4 * 4} = 0.0625$$

Hasil pembaruan *pheromone* lokal oleh semut 1 di tunjukkan pada Tabel 2.7.

Tabel 2. 7 Nilai *Pheromone* Setelah Mengalami Pembaruan Lokal Oleh Semut 1

	1	2	3	4
1	-	0.0001	0.0001	0.08333
2	0.0001	-	0.0625	0.05
3	0.0001	0.0625	-	0.0001
4	0.08333	0.05	0.0001	-

Sumber: *Data diolah, 2021*

Maka diperoleh lintasan dengan total panjang lintasan rute semut 1 : 1-4-2-3 yaitu 12 kilometer, selanjutnya melakukan perhitungan yang sama untuk rute semut 2, semut 3, dan semut 4. Sehingga diperoleh lintasan dengan total panjang lintasan sebagai berikut.

Rute semut 1 : 1-4-2-3 = 12 kilometer

Rute semut 2 : 2-3-4-1 = 13 kilometer

Rute semut 3 : 3-2-4-1 = 12 kilometer

Rute semut 4 : 4-1-3-2 = 14 kilometer

3. Tahap pembaruan *pheromone* global

Setelah tahap 1 dan 2 telah selesai untuk mendapatkan rute dan setiap tujuan yang dikunjungi telah mengalami pembaruan *pheromone* lokal, maka tahap berikutnya adalah melakukan pembaruan *pheromone* global. Hanya saja tujuan yang dapat diperbaharui *pheromone* secara global hanyalah tujuan yang menghasilkan rute dengan jarak terpendek. pembaruan *pheromone* global dilakukan berdasarkan Persamaan (2.4).

$$\tau(t, v) \leftarrow (1 - \alpha) \cdot \tau(t, v) + \alpha \cdot \Delta\tau(t, v) \quad 2.4$$

$$\Delta\tau(t, v) = \begin{cases} L_{gb}^{-1}, & \text{jika}(t, v) \in \text{rute terbaik} \\ 0 & \end{cases}$$

Pada tahap 1 dan 2, rute yang dihasilkan adalah 1-4-2-3. Dari rute tersebut didapat panjang lintasan adalah 12 kilometer, dan rute ini merupakan panjang rute terpendek. Maka perhitungan pembaruan *pheromone* globalnya adalah sebagai berikut.

$$\alpha = 0.1$$

$$L_{gb} = 12$$

Nilai *pheromone* akhir:

Untuk (t, v) yang merupakan bagian dari rute terpendek

$$\Delta\tau(t, v) = L_{gb}^{-1} = (12)^{-1} = 0.08333$$

- $\tau(1,4) \leftarrow (1 - 0.1) * 0.08333 + 0.1 * 0.08333 = 0.158333$
- $\tau(4,2) \leftarrow (1 - 0.1) * 0.5 + 0.1 * 0.08333 = 0.458333$
- $\tau(2,3) \leftarrow (1 - 0.1) * 0.0625 + 0.1 * 0.08333 = 0.064583$

Jika (t, v) bukan merupakan bagian dari rute terpendek maka $\Delta\tau(t, v) = 0$

- $\tau(1,2) \leftarrow (1 - 0.1) * 0.0001 + 0.1 * 0 = 0.00009$
- $\tau(1,3) \leftarrow (1 - 0.1) * 0.0001 + 0.1 * 0 = 0.00009$
- $\tau(3,4) \leftarrow (1 - 0.1) * 0.0001 + 0.1 * 0 = 0.00009$

Hasil pembaruan *pheromone* global dapat dilihat pada Tabel 2.8. berikut ini untuk rute terbaik dengan panjang 12 kilometer dengan rute 1-4-2-3.

Tabel 2. 8 Nilai *Pheromone* Setelah Mengalami Pembaruan Global

	1	2	3	4
1	-	0.00009	0.00009	0.158327
2	0.00009	-	0.064583	0.458333
3	0.00009	0.064583	-	0.00009
4	0.158327	0.458333	0.0009	-

Sumber: *Data diolah, 2021*

Sehingga jalur optimum adalah 1-4-2-3 dengan panjang lintasan 12 kilometer.