

**PENENTUAN JALUR TERPENDEK DENGAN MENGGUNAKAN
METODE ANT COLONY OPTIMIZATION**

SKRIPSI

**OLEH
CAHYA A'ISYAH LAILI SOETOMO
NIM. 12610071**



**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2018**

**PENENTUAN JALUR TERPENDEK DENGAN MENGGUNAKAN
METODE ANT COLONY OPTIMIZATION**

SKRIPSI

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

**Oleh
CAHYA A'ISYAH LAILI SOETOMO
NIM. 12610071**

**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2018**

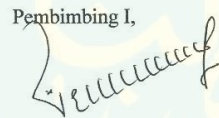
**PENENTUAN JALUR TERPENDEK DENGAN MENGGUNAKAN
METODE ANT COLONY OPTIMIZATION**

SKRIPSI

Oleh
Cahya A'isyah Laili Soetomo
NIM.12610071

Telah diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal 13 April 2018

Pembimbing I,



Evawati Alisah, M.Pd
NIP.19720604 199903 2 001

Pembimbing II,



Dr. Abdussakir, M.Pd
NIP.19751006200312 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika



Dr. Usman Pagalay, M.Si
NIP.19650414 200312 1 001

PENENTUAN JALUR TERPENDEK DENGAN MENGGUNAKAN
METODE ANT COLONY OPTIMIZATION

SKRIPSI

Oleh
Cahya A'isyah Laili Soetomo
NIM.12610071

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

Tanggal 26 April 2018

Penguji Utama : Ari Kusumastuti, M.Pd, M.Si

Ketua Penguji : Mohammad Jamhuri, M.Si

Sekretaris Penguji : Evawati Alisah, M.Pd

Anggota Penguji : Dr. Abdussakir M.Pd

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika

Dr. Usman Pagalay, M.Si
NIP.19650414 200312 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Cahya A'isyah Laili Soetomo
NIM : 12610071
Jurusan : Matematika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Skripsi : Penentuan Jalur Terpendek dengan Menggunakan Metode

Ant Colony Optimization

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 atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar rujukan. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 12 April 2018
Yang membuat pernyataan,



Cahya A'isyah Laili Soetomo
NIM. 12610071

MOTO

Setiap Manusia Berbeda dengan Keistimewaannya Masing-masing



PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan untuk:

Ayahanda Soetomo Aspan dan ibunda tercinta Djuma'yah yang senantiasa dengan ikhlas mendoakan, memberi dukungan, motivasi, selalu memberi semangat yang tiada henti hingga selesainya skripsi ini, tak lupa restunya kepada penulis dalam menuntut ilmu serta selalu memberikan teladan yang baik bagi penulis.

Untuk kakak tersayang Muhammad Amrullah Soetomo dan Syaibah Amiriyah Soetomo serta adik tercinta Muhammad Fakhri Ali Soetomo yang selalu memberikan doa dan dukungan kepada penulis.



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, segala puja dan puji syukur bagi Allah Swt atas limpahan rahmat, taufik, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan dengan baik penyusunan skripsi yang berjudul “*Penentuan Jalur Terpendek dengan Menggunakan Metode Ant Colony Optimization*”. Shalawat serta salam semoga tetap terlimpahkan kepada nabi Muhammad Saw, yang telah menuntun umatnya dari zaman yang gelap ke zaman yang terang benderang yakni *ad-Diin al-Islam*.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana dalam bidang matematika di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Dalam proses penyusunannya tidak mungkin dapat diselesaikan dengan baik tanpa bantuan, bimbingan, serta arahan dari berbagai pihak. Untuk itu ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Abdul Haris, M. Ag, 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. Usman Pagalay, M. Si, selaku ketua Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Evawati Alisah, M. Pd, selaku dosen pembimbing I yang telah banyak memberikan arahan, nasihat, dan motivasi kepada penulis.
5. Dr. Abdussakir, M. Pd, selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan arahan dan berbagai ilmunya kepada penulis.

6. Segenap civitas akademika Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang terutama seluruh dosen, terimakasih atas segala ilmu dan bimbingannya.
7. Ayah dan Ibu tercinta yang telah mencurahkan kasih sayang, doa, bimbingan dan motivasi hingga selesainya skripsi ini.
8. Saudara-saudara tersayang yang telah memberikan semangat kepada penulis.
9. Seluruh teman-teman di Jurusan Matematika angkatan 2012 yang berjuang bersama-sama untuk meraih mimpi dan terimakasih untuk kenang-kenangan indah yang dirajut bersama dalam menggapai impian.
10. Semua pihak yang ikut membantu dalam menyelesaikan skripsi ini baik moril maupun materiil.

Akhirnya penulis hanya dapat berharap skripsi ini dapat ditemukan sesuatu yang dapat memberikan manfaat dan wawasan yang lebih luas atau bahkan hikmah bagi penulis, pembaca, dan bagi seluruh mahasiswa.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Malang ,12 April 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGAJUAN	
HALAMAN PERSETUJUAN	
HALAMAN PENGESAHAN	
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	
HALAMAN MOTO	
HALAMAN PERSEMBAHAN	
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
ملخص.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Batasan Masalah.....	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	6
1.6. Metode Penelitian	6
1.7. Sistematika Penulisan.....	8
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	9
2.1 Graf	9
2.1.1 Derajat Titik	9
2.1.2 Graf Terhubung.....	12
2.1.3 Macam–Macam Graf	15
2.2 Optimisasi.....	17
2.1.1 Definisi Nilai Optimal.....	17
2.1.2 Macam-Macam Permasalahan Optimisasi	17
2.1.3 Permasalahan Lintasan Terpendek.....	18
2.1.4 Penyelesaian Masalah Optimisasi	19
2.3 <i>Traveling Salesman Problem (TSP)</i>	20
2.4 <i>Ant Colony Optimization (ACO)</i>	23
2.3.1. Cara Kerja Semut Menemukan Rute Terpendek dalam ACO.....	24
2.3.2. <i>Ant System (AS)</i>	25
2.3.3. <i>Elitist Ant System (EAS)</i>	31

2.3.4. <i>Rank-Based Version of Ant System (ASRank)</i>	31
2.3.5. <i>MAX – MIN Ant System (MMAS)</i>	32
2.3.6. <i>Ant Colony System (ACS)</i>	33
2.5 Anjuran Hidup Hemat dalam Islam	36
BAB III PEMBAHASAN	40
3.1 Metode <i>Ant Colony Optimization</i> untuk Pencarian Jalur Terpendek ...	40
3.1.1 Lokasi yang Menjadi Tempat Penelitian dan Simbolisasi	41
3.1.2 Jarak Antar Perpustakaan Kampus (<i>drs</i>)	42
3.1.3 Jalur Perjalanan Semut	52
3.1.4 Panjang Jalur Perjalanan Semut <i>Ck</i>	53
3.2 Hasil Perhitungan	64
3.2.1 Perhitungan Perubahan Harga Intensitas <i>Pheromone</i>	65
3.3 Anjuran Hidup Hemat dalam Islam	69
BAB IV PENUTUP	73
4.1. Kesimpulan	73
4.2. Saran	74
DAFTAR RUJUKAN	75
RIWAYAT HIDUP	77

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jarak Antar Titik 51

Tabel 3.2 Panjang Jalur Setiap Semut..... 63



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Graf Tripartisi Komplit $K_{2,3,5}$	12
Gambar 2. 2	Graf Berarah dan Berbobot	15
Gambar 2. 3	Graf Tidak Berarah dan Berbobot.....	16
Gambar 2. 4	Graf Berarah dan Tidak Berbobot.....	16
Gambar 2. 5	Graf Tidak Berarah dan Tidak Berbobot	17
Gambar 2.6	Gambar Jalur Titik ABCDEFG.....	19
Gambar 2.7	Ilustrasi Masalah TSP.....	21
Gambar 2.8	Gambar Jalur Titik ABCD	21
Gambar 2.9	Sirkuit Hamilton.....	22
Gambar 2.10	Perjalanan Semut dari Sarang ke Sumber Makanan	24
Gambar 3.1	Ilustrasi Graf Jalur dengan 6 Kampus.....	41

ABSTRAK

Soetomo, Cahya Aisyah L. 2018. **Penentuan Jalur Terpendek dengan Menggunakan Metode Ant Colony Optimization**. Skripsi. Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Evawati Alisah, M.Pd. (II) Dr. Abdussakir, M.Pd.

Kata Kunci: Algoritma Semut, *Ant Colony Optimization*, *Ant System*, Pencarian jalur terpendek.

Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) merupakan salah satu metode heuristik yang diadopsi dari perilaku koloni semut yang dikenal sebagai sistem semut. Koloni semut mampu menemukan rute terpendek dalam perjalanan dari sarang ke tempat-tempat sumber makanan berdasarkan jejak atau yang disebut dengan zat *Pheromone* pada lintasan yang telah dilalui. Semakin banyak semut yang melalui suatu lintasan, maka akan semakin jelas bekas jejak kakinya.

Lokasi di Kota Malang memungkinkan pengendara untuk menghabiskan waktu yang cukup lama di dalam perjalanan. Dalam perjalanan seseorang harus mengunjungi beberapa fasilitas dari suatu tempat dan kembali lagi ke tempat pemberangkatan semula, sehingga menyebabkan pentingnya waktu, bahan bakar, dan tenaga yang dimiliki. Oleh karena itu, perlunya mencari rute jalan agar dapat menentukan jalur terpendek untuk sampai ke lokasi tujuan. Tujuan dari permasalahan jalur terpendek adalah untuk mencari jalur yang memiliki jarak terdekat antara titik asal dan titik tujuan.

Cara menemukan rute terpendek dari suatu lokasi ke lokasi yang lain, dalam penelitian ini yaitu perpustakaan kampus (*r*) ke perpustakaan kampus (*s*) adalah dengan menggunakan metode *Ant Colony Optimization* dengan input berupa perpustakaan asal dan tujuan, serta sebuah graf yang merepresentasikan titik sebagai perpustakaan kampus dan garis atau sisi sebagai jalur yang menghubungkannya. Kemudian mencari harga penguapan *pheromone* dengan menggunakan rumus:

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

Pada jalur perjalanan semut ke-25 terhitung panjang jalur adalah 8,8 dan memiliki penguapan *pheromone* yang terbanyak dibanding penguapan *pheromone* pada jalur lainnya yaitu 0,1136. Semakin banyak semut yang melalui jalur 25 maka semakin banyak semut yang mengikutinya. Demikian juga dengan jalan selain jalur ke-25, semakin sedikit semut yang melalui, maka *Pheromone* yang ditinggalkan semakin berkurang bahkan hilang. Dari sinilah kemudian terpilih lah rute terpendek. Dan bagi peneliti selanjutnya, disarankan untuk dapat membandingkan antara metode-metode algoritma semut yang lain.

ABSTRACT

Soetomo, Cahya Aisyah L. 2018. **Determining The Shortest Path by Using Ant Colony Optimization**. Thesis. Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisors: (I) Evawati Alisah, M.Pd. (II) Dr. Abdussakir, M.Pd.

Keyword: Ants Algorithm, Ant Colony Optimization, Ant System, the search for the shortest path.

Ant colony optimization algorithm (ACO) is one of the heuristic methods adopted from the behavior of ant colonies known as the ant systems. Ant colonies are able to find the shortest route on their way from their nest to a food source based on traces called pheromones on their transversing trajectory. The more ants pass through a trajectory, the more footprints will become clear.

The location in malang city allows riders to spend a long time on their way. On the way, they must visit some facilities from a place and back to a departure site, thus causing the importance of time, fuel, and energy possessed be important. Therefore, it needs to find a route in order to determine the shortest path to get to the destination location. The purpose of the shortest path problem is to find the path that has the closest distance between the origin and the destination.

Determining the shortest path from one location to another, -in this research it is campus library (r) to campus library (s) -is using ant colony optimization method and its input is the first library, the destination and a graph which represents a point as a campus library and lines or edges as the connecting path. Then determining the value of pheromone evaporation using the formula:

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

On the path of the 25 ant, the path length is 8,8 and it has the highest pheromone evaporation compared to pheromone evaporation on the other path and it is 0.1136. The more ants go through the 25 path, the more ants follow it. The same as the path other than the 25 path, the fewer the ants go through it, the less the left pheromones and they are even gone. Based on that, the shortest path is selected. And for subsequent researchers, it is suggested to compare the methods of other ant algorithms.

ملخص

صوت، ساهية عاسيه ل. ٢٠١٨. تحديد أقصر مسار باستخدام **Ant Colony Optimization**. أطروحة. بحث جامعي، شعبة الرياضيات، كلية العلوم والتكنولوجيا ، جامعة الدولة الإسلامية مولانا مالك إبراهيم مالانج. : (١) ايفاواقي الالسه ، الماجستير (٢) د. عبد الشاكر، الماجستير

الكلمات الدالة: خوارزمية النمل ، Ant System، Ant Colony Optimization ، البحث عن أقصر مسار.

خوارزمية Ant Colony Optimization (ACO) هي واحدة من الطرق الاستدلالية المعتمدة من سلوك Ant colony المعروفة باسم Ant System. تستطيع أن تجد المسار الأقصر في طريقها من عشها إلى مصدر للطعم استنادا إلى آثارها تسمى pheromone على الطريق الذي مر فيه . كلما زاد عدد النمل الذي يمر فيه ، تصبح آثار الأقدام أكثر وضوحًا.

الموقع في مدينة مالانج يمكن راكبين من قضاء وقت طويل في السفر .فيه يجب عليهم زيارة بعض المرافق من مكان والعودة إلى موقع المغادرة ، ويتسبب في أهمية الوقت والوقود والطاقة . لذلك ، يحتاج إلى العثور على مسار من أجل تحديد أقصر مسار للوصول إلى موقع الوجهة . الغرض من مشكلة المسار الأقصر العثور على امسار الذي له أقرب مسافة بين نقطة البداية والوجهة.

كيفية العثور على أقصر مسار من موقع واحد إلى آخر ، في هذا البحث هو مكتبة جامعة (I) إلى مكتبة جامعة - (S) تستخدم طريقة خوارزمية Ant Colony Optimization (ACO) ومدخلاتها هي المكتبة الأولى والوجهة والمسار الذي يمثل نقطة كمكتبة الجامعة وخطوط أو جوانب كطريق اتصال . كيفية العثور على قيمة تبخر pheromone باستخدام الصيغة التالية:

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

على مسار النمل 25 ، طول المسار هو 8,8 ولديه أعلى تبخر pheromone مقارنة بتبخر pheromone على المسار الآخر وهو 0.0,1136. كلما زاد عدد النمل الذي يمر المسار 25، فتبعه المزيد من النمل . وكذلك لغير المسار 25، كلما قل عدد النمل الذي يمر فيه ، قلت pheromone المهجورة وذهبت . استنادا إلى ذلك ، يتم تحديد أقصر مسار . للباحثين اللاحقين، أوصى بأن يستطيع مقارنة طرق خوارزمية النمل الأخرى.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada beberapa kota atau daerah terkadang untuk menuju ke suatu tempat terdapat banyak jalan yang dapat dilalui, untuk itu masyarakat harus mengetahui jalur yang terpendek untuk menuju ke suatu tempat, terutama untuk pengguna transportasi. Lokasi di Kota Malang memungkinkan pengendara untuk menghabiskan waktu yang cukup lama di dalam perjalanan, sehingga menyebabkan pentingnya waktu, bahan bakar, dan tenaga yang dimiliki. Oleh karena itu, perlunya mencari rute jalan agar dapat menentukan jalur terpendek untuk sampai ke lokasi tujuan.

Dalam pencarian jalur terpendek, perhitungan dapat dilakukan dengan berbagai macam algoritma. Secara umum, pencarian jalur terpendek dibagi menjadi dua metode yaitu metode konvensional dan metode heuristik. Metode konvensional lebih mudah dipahami daripada metode heuristik. Tetapi jika dibandingkan, hasil metode heuristik lebih bervariasi dan waktu yang diperlukan lebih singkat. Metode heuristik terdiri dari berbagai macam metode, salah satunya adalah algoritma *Ant Colony Optimization (ACO)* (Mutakhiroh, dkk, 2007).

Ant Colony Optimization (ACO) diadopsi dari perilaku koloni semut yang dikenal sebagai sistem semut (Dorigo dan Gambardella, 1996). Secara alamiah koloni semut mampu menemukan rute terpendek dalam perjalanan dari sarang ke tempat-tempat sumber makanan. Koloni semut dapat menemukan rute terpendek antara sarang dan sumber makanan berdasarkan jejak kaki pada lintasan yang

telah dilalui. Semakin banyak semut yang melalui suatu lintasan, maka akan semakin jelas bekas jejak kakinya. Dalam kehidupan manusia sudah tidak jarang mengambil pelajaran dari makhluk hidup lain yang ada di bumi ini, seperti bentuk pesawat dan helikopter, pesawat yang memiliki dua sayap seperti burung. Helikopter meniru bentuk capung, dan masih banyak yang lainnya. Allah Swt mengingatkan manusia supaya mereka memikirkan makhluk-makhluk-Nya yang menunjukkan kepada keesaan dan kesendirian-Nya dalam menciptakan dan bahwasanya tidak ada tuhan melainkan Dia dan tidak ada rabb selain Dia. Maka Allah Swt berfirman di dalam al-Quran surat ar-Rum/30:8, yaitu:

أَوَلَمْ يَتَفَكَّرُوا فِي أَنفُسِهِمْ ۚ مَا خَلَقَ اللَّهُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا إِلَّا بِالْحَقِّ وَأَجَلٍ مُّسَمًّى ۚ وَإِنَّ كَثِيرًا مِّنَ النَّاسِ بِلِقَائِ رَبِّهِمْ لَكَافِرُونَ ﴿٨﴾

“Dan mengapa mereka tidak memikirkan tentang (kejadian) diri mereka? Allah tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada di antara keduanya melainkan dengan (tujuan) yang benar dan dalam waktu yang ditentukan. Dan sesungguhnya banyak di antara manusia benar-benar mengingkari pertemuan dengan Tuhannya” (QS. ar-Rum/30:8).

Maksud dari surat ar-Rum/30:8 adalah tentang pengamatan, perenungan, dan memperhatikan ciptaan Allah, baik yang ada di langit maupun di bumi serta berbagai macam makhluk yang mempunyai jenis berbeda-beda yang terdapat dikeduanya, sehingga mereka mengetahui bahwa semuanya itu tidak diciptakan tanpa guna dan sia-sia, tetapi semuanya itu diciptakan dengan tujuan tertentu, dan telah diberikan batasan waktu tertentu yaitu hari kiamat (Katsir, 2004).

Semut adalah binatang yang cukup unik karena semut secara alami mampu menemukan jalur yang paling pendek dari sarangnya ke suatu sumber makanan tanpa pengertian visual (penglihatan). Semut juga memiliki kemampuan menyesuaikan diri pada perubahan dalam lingkungan. Algoritma semut mencoba

untuk menggunakan kemampuan semut ini untuk memecahkan berbagai permasalahan optimasi. Algoritma semut diilhami oleh perilaku dari jajahan semut dalam memecahkan permasalahannya dengan multi agen koperasi yang menggunakan komunikasi tak langsung melalui modifikasi dalam lingkungan. Semut melepaskan suatu jumlah tertentu *pheromone* saat berjalan, dan masing-masing semut cenderung untuk mengikuti suatu arah yang memiliki *pheromone* lebih banyak. Perilaku yang sederhana ini menjelaskan mengapa semut dapat melakukan penyesuaian pada perubahan dalam lingkungan seperti rintangan baru, mempertahankan alur yang paling pendek (Hariyadi, 2007).

Algoritma *Ant System* (AS) adalah algoritma ACO pertama yang dirumuskan dan diuji untuk menyelesaikan kasus TSP (Dorigo, dkk, 1996). Algoritma ini tersusun atas sejumlah m semut yang bekerjasama dan berkomunikasi secara tidak langsung melalui komunikasi *Pheromone*.

Algoritma ini diaplikasikan dengan cara menentukan jumlah titik yang akan dilalui semut dan mencari jarak antar titik tersebut. Kemudian menyusun rute kunjungan semut ke setiap kota dengan titik-titik yang ada hanya dikunjungi sekali dimana titik awal sama dengan titik akhir, dengan tujuan mencari rute terpendek terhadap n titik. Selanjutnya pemberian nilai intensitas jejak semut atau *pheromone* (τ_{rs}) yang dilakukan saat semut mengunjungi titik s setelah mengunjungi titik r , dan informasi heuristik (η_{rs}) merupakan informasi yang merepresentasikan kualitas suatu jarak antara titik r dan titik s , dengan (η_{rs}) = $\frac{1}{d_{rs}}$, d_{rs} adalah jarak antara titik r dan titik s .

Semut secara probabilitas lebih menyukai titik yang dekat dan terhubung dengan tingkat *pheromone* yang tinggi. Untuk membangun jalur terpendek, setiap

semut mempunyai suatu bentuk memori yang disebut *tabu list* untuk menentukan himpunan titik yang masih harus dikunjungi pada setiap langkah dan untuk menjamin terbentuknya jalur terpendek. Selain itu semut dapat melacak kembali lintasannya, ketika sebuah lintasan itu diselesaikan.

Pengembangan pertama dari AS adalah *Elitist Strategy for Ant System* (EAS), Ide ini berawal ketika adanya penguatan *Pheromone* pada *edge-edge* yang merupakan *tour* terbaik yang ditemukan sejak awal algoritma. *Tour* terbaik ini dinotasikan sebagai T^{bs} (*best-so-far tour*). Kemudian *Rank-based version of Ant System* (AS_{Rank}) merupakan pengembangan dari AS dan menerapkan *Elitist Strategy*. Pada setiap iterasi, metode ini lebih dahulu mengurutkan semut berdasarkan tingkat fluktuasi solusi (panjang/pendeknya *tour*) yang telah mereka temukan sebelumnya. Selanjutnya *MAX-MIN Ant System* (MMAS) merupakan pengembangan dari algoritma AS, dengan beberapa perubahan utama. setelah beberapa algoritma yang sudah dijelaskan, Algoritma *Ant Colony System* (ACS) juga merupakan pengembangan dari AS selanjutnya, Algoritma ini tersusun atas sejumlah m semut yang bekerjasama dan berkomunikasi secara tidak langsung melalui komunikasi *Pheromone* (Dorigo dan Stützle, 2004).

Pemilihan studi penelitian yang dilakukan adalah beberapa titik sektor kampus yang berada di Kota Malang. Alasan pengambilan titik tersebut adalah berdasar pada beberapa aspek pendidikan, seperti apabila suatu waktu dalam penyelesaian masa studi membutuhkan literatur-literatur yang berada di kampus lain.

Dari pemaparan yang penulis berikan, maka penelitian yang peneliti lakukan adalah untuk menentukan jalur terpendek dengan menggunakan metode

Ant Colony Optimization pada rute jalur kampus disekitar Kota Malang. Akhirnya penelitian ini mengambil judul “Penentuan Jalur Terpendek dengan Menggunakan Metode *Ant Colony Optimization*”.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimanakah menentukan jalur terpendek dengan menggunakan metode ACO dari Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang menuju lima kampus di sekitar Kota Malang dan kembali ke Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan dari penulisan ini adalah untuk menentukan jalur terpendek dengan menggunakan metode ACO dari Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang menuju lima kampus di sekitar Kota Malang dan kembali ke Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Penelitian ini difokuskan pada metode algoritma semut untuk penentuan jalur terpendek yaitu semua jalur yang sudah tersedia sebelum pemrosesan dilakukan untuk menuju lima perpustakaan universitas di Kota Malang dengan titik asal perpustakaan Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

2. Penelitian ini berfokus untuk menemukan jalur terpendek dengan menggunakan rute jalan kaki dan motor.
3. Metode yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah algoritma semut atau *Ant Colony Optimization (ACO)*. Dari beberapa jenis variasi algoritma *ACO*, penelitian ini hanya menggunakan jenis *Ant System (AS)*.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Menambah pengetahuan dan wawasan keilmuan tentang konsep dan cara kerja metode *ACO*.
2. Mengetahui hasil dari metode *ACO* untuk penentuan jalur terpendek.

1.6. Metode Penelitian

Pendekatan penelitian yang digunakan yaitu dengan metode kepustakaan (*library research*). Dalam penelitian ini, literatur utama yang digunakan oleh penulis adalah jurnal yang berjudul “*Modifikasi ACO untuk Penentuan Rute Terpendek ke Kabupaten/Kota di Jawa*” yang disusun oleh Ahmad Jufri, dkk (2014).

Data yang digunakan untuk penelitian yaitu berupa data dengan titiknya adalah perpustakaan pusat di beberapa kampus dan sisinya adalah jarak antar perpustakaan kampus tersebut. Data yang diinput yaitu berupa jarak dalam satuan kilometer (Km). Penelitian ini menggunakan bantuan *google map*. Fungsi dari *google map* dalam penelitian ini adalah mendapatkan koordinat setiap perpustakaan kampus yang akan dikunjungi.

Untuk menentukan jalur terpendek dengan menggunakan metode algoritma semut atau *Ant Colony Optimization (ACO)* dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Cara Kerja Metode Ant Colony Optimization
 - a. Penentuan lokasi yang akan dikunjungi dan jarak antar titik
 - b. Simbolisasi parameter-parameter algoritma yang terdiri dari:
 - Jumlah titik (n) beserta jarak antar titik (d_{rs}).
 - Tetapan siklus semut (Q).
 - Tetapan pengendalian intensitas jejak semut (α), dimana $\alpha \geq 0$.
 - Tetapan pengendali visibilitas (β).
 - Jumlah semut (m).
 - Tetapan penguapan jejak semut (ρ), dimana $0 < \rho < 1$.
 - Jumlah siklus maksimum ($NCmaks$).
 - Intensitas jejak semut antar titik (τ_{rs}).
 - c. Penyusunan dan pengisian daftar perpustakaan ke dalam *tabu list*.
 - d. Penyusunan jalur perjalanan setiap semut dalam bentuk tabel.
 - e. Perhitungan panjang jalur setiap semut dilakukan setelah satu siklus diselesaikan oleh semua semut.
2. Hasil Perhitungan Metode *Ant Colony Optimization*.
 - a. Perhitungan jejak *pheromone* antar titik untuk siklus selanjutnya.
 - b. Menentukan hasil metode ACO dengan jarak terpendek dari hasil perhitungan.

1.7. Sistematika Penulisan

Untuk memperoleh gambaran mneyeluruh mengenai rancangan isi skripsi ini, secara umum dapat dilihat dari sistematika penulisan di bawah ini:

Bab I Pendahuluan

Bagian ini merupakan bab pendahuluan yang berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab II Kajian Pustaka

Bagian ini merupakan bab kajian pustaka yang berisikan konsep-konsep yang menjadi landasan pembahasan masalah yaitu aplikasi pencarian jalur terpendek dengan metode ACO.

Bab III Pembahasan

Bagian ini merupakan bab pembahasan yang meliputi yaitu aplikasi pencarian jalur terpendek dengan metode ACO.

Bab IV Penutup

Bagian ini merupakan bab terakhir yang berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil peneliti.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Graf

Graf G adalah pasangan $(V(G), E(G))$ dengan $V(G)$ adalah himpunan tidak kosong dan berhingga dari objek-objek yang disebut titik, dan $E(G)$ adalah himpunan (mungkin kosong) pasangan takberurutan dari titik-titik berbeda di $V(G)$ yang disebut sisi. Banyaknya unsur di $V(G)$ disebut order dari G dan dilambangkan dengan $p(G)$, dan banyaknya unsur di $E(G)$ disebut ukuran dari G dan dilambangkan dengan $q(G)$. Jika graf yang dibicarakan hanya graf G , maka order dan ukuran dari G masing-masing cukup ditulis p dan q . Graf dengan order p dan ukuran q dapat disebut graf- (p, q) .

Sisi $e = (u, v)$ dikatakan menghubungkan titik u dan v . Jika $e = (u, v)$ adalah sisi di graf G , maka u dan v disebut terhubung langsung (*adjacent*), v dan e serta u dan e disebut terkait langsung (*incident*), dan titik u dan v disebut ujung dari e . Dua sisi berbeda e_1 dan e_2 disebut terhubung langsung (*adjacent*), jika terkait langsung pada satu titik yang sama. Untuk selanjutnya, sisi $e = (u, v)$ akan ditulis $e = uv$ (Abdussakir, dkk, 2009).

2.1.1 Derajat Titik

Jika v adalah titik pada graf G , maka himpunan semua titik di G yang terhubung langsung dengan v disebut lingkungan dari v dan ditulis $N_G(v)$. Derajat dari titik v di graf G , ditulis $deg_G(v)$, adalah banyaknya sisi di G yang terkait langsung dengan v . Dalam konteks pembicaraan hanya terdapat satu graf

G , maka tulisan $deg_G(v)$ disingkat menjadi $deg(v)$ dan $N_G(v)$ disingkat menjadi $N(v)$. Jika dikaitkan dengan konsep lingkungan, derajat titik v di graf G adalah banyaknya anggota dalam $N(v)$. Sehingga dapat dituliskan menjadi:

$$deg(v) = |N(v)| \quad (2.1)$$

Titik yang berderajat 0 disebut titik terasing atau titik terisolasi. Titik yang berderajat 1 disebut titik ujung atau titik akhir. Titik yang berderajat genap disebut titik genap dan titik yang berderajat ganjil disebut titik ganjil. Derajat maksimum titik di G dilambangkan dengan $D(G)$ dan derajat minimum titik di G dilambangkan dengan $d(G)$.

Hubungan antara jumlah derajat semua titik dalam suatu graf G dengan banyak sisi q adalah:

$$\sum_{v \in G} deg(v) = 2q \quad (2.2)$$

Graf G dikatakan beraturan- r atau beraturan dengan derajat r jika masing-masing titik v di G , maka $deg(v) = r$, untuk bilangan bulat taknegatif r . Suatu graf disebut beraturan jika graf tersebut beraturan- r untuk suatu bilangan bulat taknegatif r . Graf beraturan-3 biasa juga disebut dengan graf kubik.

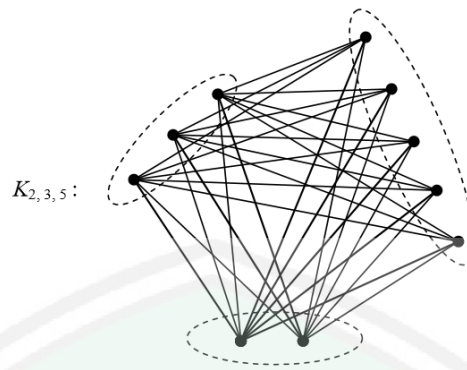
Graf G dikatakan komplit jika setiap dua titik yang berbeda saling terhubung langsung (*adjacent*). Graf komplit dengan order n dinyatakan dengan K_n . Dengan demikian, maka graf K_n merupakan graf beraturan- $(n - 1)$ dengan order $p = n$ dan ukuran $q = \frac{n(n-1)}{2} = \binom{n}{2}$.

Graf G dikatakan bipartisi jika himpunan titik pada G dapat dipartisi menjadi dua himpunan tak kosong V_1 dan V_2 sehingga masing-masing sisi pada graf G tersebut menghubungkan satu titik di V_1 dengan satu titik di V_2 . Jika G

adalah graf bipartisi beraturan- r , dengan $r \geq 1$, maka $|V_1| = |V_2|$. Graf G dikatakan partisi- n jika himpunan titiknya dapat dipartisi menjadi sebanyak n himpunan tak kosong $V_1, V_2, \dots, V_n$, sehingga masing-masing sisi pada graf G menghubungkan titik pada V_i dengan titik pada V_j , untuk $i \neq j$. Jika $n = 3$, graf partisi- n disebut graf tripartisi.

Suatu graf G disebut bipartisi komplit jika G adalah graf bipartisi dan masing-masing titik pada suatu partisi terhubung langsung dengan semua titik pada partisi yang lain. Graf bipartisi komplit dengan m titik pada salah satu partisi dan n titik pada partisi yang lain ditulis $K_{m,n}$. Graf bipartisi komplit $K_{1,n}$ disebut graf bintang (*star*) dan dinotasikan dengan S_n . Jadi, S_n mempunyai order $(n - 1)$ dan ukuran n .

Graf G dikatakan partisi- n komplit jika G adalah graf partisi- n dengan himpunan partisi $V_1, V_2, \dots, V_n$, sehingga jika $u \in V_i$ dan $v \in V_j$, $i \neq j$, maka $uv \in E(G)$. Jika $|V_i| = p_i$, maka graf ini dinotasikan dengan $K_{p_1, p_2, \dots, p_n}$. Urutan $p_1, p_2, \dots, p_n$ tidak begitu diperhatikan. Graf partisi- n komplit merupakan graf komplit K_n jika dan hanya jika $p_i = 1$ untuk semua i . Jika $p_i = t$ untuk semua i , $t \geq 1$, maka graf partisi- n komplit ini merupakan graf beraturan dan dinotasikan dengan $K_{n(t)}$. Jadi, $K_{n(1)}$ tidak lain adalah K_n . Berikut ini adalah contoh graf tripartisi komplit $K_{2,3,5}$. Perhatikan bahwa titik dalam satu partisi tidak boleh terhubung langsung.



Gambar 2. 1 Graf Tripartisi Komplit $K_{2,3,5}$

Graf berbobot adalah graf yang masing-masing sisinya diberi label bilangan real positif, yang disebut bobot, misalkan G graf dan e sisi di G . Bobot dari e , dinotasikan dengan $w(e)$, adalah bilangan real positif yang dipasangkan pada e . Panjang lintasan pada graf berbobot adalah jumlah dari masing-masing bobot sisi yang terdapat pada lintasan tersebut. Untuk dua titik terhubung u dan v pada graf berbobot G , maka jarak antara u dan v , dinotasikan dengan $d(u, v)$, adalah panjang lintasan terkecil dari lintasan-lintasan $u - v$ yang terdapat di G . Jika masing-masing sisi mempunyai bobot 1, maka G dapat dianggap sebagai graf, dan definisi panjang lintasan dan jarak pada G akan sama dengan definisi yang diberikan untuk graf (bukan graf berbobot) (Abdussakir, dkk, 2009).

2.1.2 Graf Terhubung

Misalkan G graf dan u, v adalah titik di G (yang tidak harus berbeda). Jalan $u - v$ pada graf G adalah barisan berhingga yang berselang-seling dan dapat dituliskan sebagai:

$$W: u = v_0, e_1, v_1, e_2, v_2, \dots, e_n, v_n = v \quad (2.3)$$

antara titik dan sisi, yang dimulai dari titik dan diakhiri dengan titik, dengan:

$$e_i = v_{i-1}v_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.4)$$

Persamaan (2.4) adalah sisi di G . v_0 disebut titik awal, v_n disebut titik akhir, titik $v_1, v_2, \dots, v_{i-1}$ disebut titik internal, dan n menyatakan panjang dari W . Jika $v_0 = v_n$, maka W disebut jalan terbuka. Jika $v_0 = v_n$, maka W disebut jalan tertutup. Jalan yang tidak mempunyai sisi disebut jalan trivial.

Karena dalam graf dua titik hanya akan dihubungkan oleh tepat satu sisi, maka jalan $u - v$ adalah:

$$W: u = v_0, e_1, v_1, e_2, v_2, \dots, e_n, v_n = v \quad (2.5)$$

Persamaan (2.5) dapat ditulis menjadi:

$$W: u = v_0, v_1, v_2, \dots, v_{n-1}, v_n = v \quad (2.6)$$

Jalan W yang semua sisinya berbeda disebut *trail*. Jalan terbuka yang semua titiknya berbeda disebut lintasan. Dengan demikian setiap lintasan pasti merupakan trail, tetapi tidak semua trail merupakan lintasan.

Graf berbentuk lintasan dengan titik sebanyak n dinamakan graf lintasan order n dan ditulis P_n . Jalan tertutup W tak trivial yang semua sisinya berbeda disebut sirkuit. Dengan kata lain, sirkuit adalah trail tertutup tak trivial. Jalan tertutup tak trivial yang semua titiknya berbeda disebut siklus. Dengan demikian setiap siklus pasti merupakan sirkuit, tetapi tidak semua sirkuit merupakan siklus. Jika dicari hubungan antara sirkuit dan siklus diperoleh bahwa: trail tertutup dan taktrivial pada graf G disebut sirkuit di G . Diberikan sirkuit sebagai berikut:

$$v_1, v_2, v_3, \dots, v_n, v_1 (n \geq 3) \quad (2.7)$$

Dengan $v_i, i = 1, 2, 3, \dots, n$ berbeda disebut siklus. Siklus dengan panjang k disebut siklus- k . Siklus- k disebut genap atau ganjil bergantung pada k genap atau ganjil.

Graf berbentuk siklus dengan titik sebanyak n , $n \geq 3$, disebut graf siklus dan ditulis C_n . Graf siklus sering juga disebut sebagai graf lingkaran karena gambarnya dapat dibentuk menjadi lingkaran. Perlu dicatat bahwa tidak selamanya graf siklus digambar dalam bentuk suatu lingkaran.

Graf siklus dapat juga digambar dalam bentuk poligon. C_3 dapat disebut segitiga, C_4 segiempat, dan secara umum C_n dapat disebut segi- n . Siklus yang banyak titiknya ganjil disebut siklus ganjil dan siklus yang banyak titiknya genap disebut siklus genap.

Misalkan u dan v titik berbeda pada graf G . Titik u dan v dikatakan terhubung (*connected*), jika terdapat lintasan $u - v$ di G . Suatu graf G dikatakan terhubung (*connected*), jika untuk setiap titik u dan v yang berbeda di G terhubung. Dengan kata lain, suatu graf G dikatakan terhubung (*connected*), jika untuk setiap titik u dan v di G terdapat lintasan $u - v$ di G . Sebaliknya, jika ada dua titik u dan v di G , tetapi tidak ada lintasan $u - v$ di G , maka G dikatakan tak terhubung (*disconnected*).

Untuk suatu graf terhubung G , maka jarak $d(u, v)$ antara dua titik u dan v di G adalah panjang lintasan terpendek yang menghubungkan u dan v di G . Jika tidak ada lintasan dari titik u ke v , maka didefinisikan jarak $d(u, v) = \infty$. Eksentrisitas $e(v)$ dari suatu titik v pada graf terhubung G adalah jarak terjauh (maksimal lintasan terpendek) dari titik v ke setiap titik di G dapat dituliskan $e(v) = \max\{d(u, v) : u \in V(G)\}$. Titik v dikatakan titik eksentrik dari u jika jarak dari u ke v sama dengan eksentrisitas dari u atau $d(u, v) = e(u)$. Radius dari G adalah eksentrisitas minimum pada setiap titik di G , dapat dituliskan $rad G = \min\{e(v), v \in V\}$. Sedangkan diameter dari G , dinotasikan diam

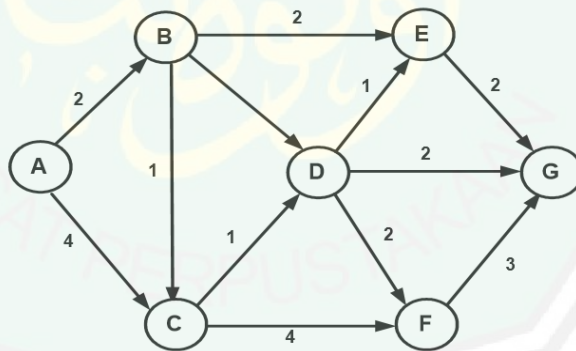
G adalah eksentrisitas maksimum pada setiap titik di G , dapat dituliskan diam $G = \max\{e(v), v \in V\}$ (Chartrand dan Lesniak, 1986:29).

Graf komplemen $\bar{G}$ dari graf G adalah graf dengan himpunan titik $V(\bar{G}) = V(G)$ dan dua titik akan terhubung langsung di $\bar{G}$ jika dan hanya jika dua titik tersebut tidak terhubung langsung di G . Artinya jika $xy \in E(G)$ maka $xy \notin E(\bar{G})$ dan sebaliknya. Dengan demikian maka gabungan antara $\bar{G}$ dan G akan menghasilkan graf komplit, atau $G + \bar{G} = K_n$. Sebagai contoh perhatikan graf berikut (Abdussakir, dkk, 2009).

2.1.3 Macam–Macam Graf

Menurut arah dan bobotnya, graf dibagi menjadi empat bagian, yaitu:

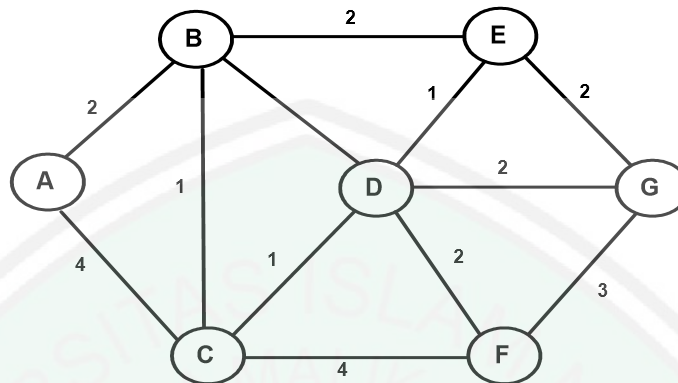
- Graf berarah dan berbobot : setiap *edge* mempunyai arah (yang ditunjukkan dengan anak panah) dan bobot.



Gambar 2. 2 Graf Berarah dan Berbobot

Gambar 2.2 adalah contoh graf berarah dan berbobot yang terdiri dari tujuh *verteks* yaitu *verteks* A, B, C, D, E, F, G. *Verteks* A mempunyai dua *edges* yang masing-masing menuju ke *verteks* B dan *verteks* C, *verteks* B mempunyai tiga *edges* yang masing – masing menuju ke *verteks* C, *verteks* D dan *verteks* E. Bobot antara *verteks* A dan *verteks* B pun telah di ketahui.

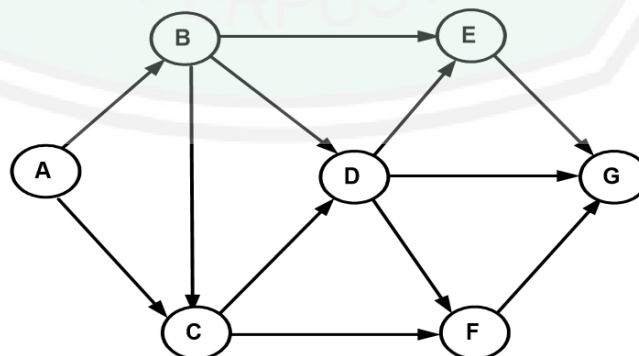
- b. Graf tidak berarah dan berbobot : setiap *edge* tidak mempunyai arah tetapi mempunyai bobot.



Gambar 2. 3 Graf Tidak Berarah dan Berbobot

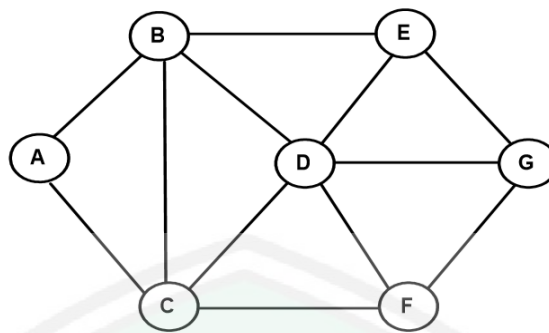
Gambar 2.3 adalah contoh graf tidak berarah dan berbobot. Graf terdiri dari tujuh *verteks* yaitu *verteks* A, B, C, D, E, F, G. *Verteks* A mempunyai dua *edges* yang masing-masing berhubungan dengan *verteks* B dan *verteks* C, tetapi dari masing-masing *edges* tersebut tidak mempunyai arah. *Edge* yang menghubungkan *verteks* A dan *verteks* B mempunyai bobot yang telah diketahui begitu pula dengan *edges* yang lain.

- c. Graf berarah dan tidak berbobot : setiap *edge* mempunyai arah tetapi tidak mempunyai bobot.



Gambar 2. 4 Graf Berarah dan Tidak Berbobot

- d. Graf tidak berarah dan tidak berbobot : setiap *edge* tidak mempunyai arah dan tidak terbobot.



Gambar 2. 5 Graf Tidak Berarah dan Tidak Berbobot

2.2 Optimisasi

Optimisasi adalah suatu proses untuk mencapai hasil yang optimal (nilai efektif yang dapat dicapai). Dalam disiplin matematika optimisasi merujuk pada studi permasalahan yang mencoba untuk mencari nilai minimal atau maksimal dari suatu fungsi riil. Untuk dapat mencapai nilai optimal baik minimal atau maksimal tersebut, secara sistematis dilakukan pemilihan nilai variabel integer atau riil yang akan memberikan solusi optimal (Wardy, 2007).

2.1.1 Definisi Nilai Optimal

Nilai optimal adalah nilai yang didapat melalui suatu proses dan dianggap menjadi solusi jawaban yang paling baik dari semua solusi yang ada (Wardy, 2007).

2.1.2 Macam-Macam Permasalahan Optimisasi

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

- a. Menentukan lintasan terpendek dari suatu tempat ke tempat yang lain.

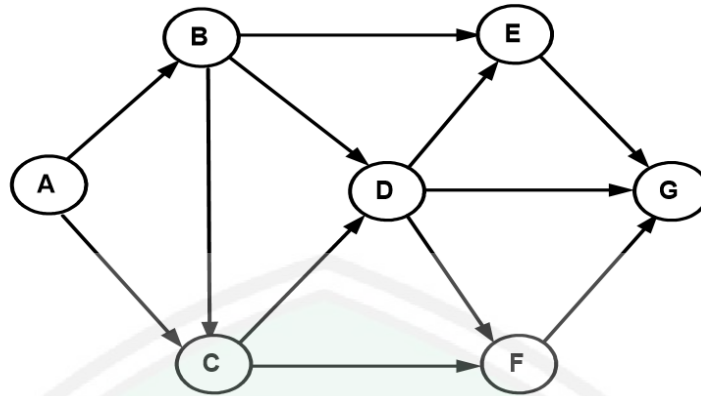
- b. Menentukan jumlah pekerja seminimal mungkin untuk melakukan suatu proses produksi agar pengeluaran biaya pekerja dapat diminimalkan dan hasil produksi tetap maksimal.
- c. Mengatur jalur kendaraan umum agar semua lokasi dapat dijangkau.
- d. Mengatur *routing* jaringan kabel telepon agar biaya pemasangan kabel tidak terlalu besar dan penggunaannya tidak boros.

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

2.1.3 Permasalahan Lintasan Terpendek

Jalur terpendek merupakan suatu pencarian nilai variabel yang dianggap dapat menghasilkan nilai yang maksimal. Jalur terpendek memiliki peranan penting dalam penyusunan *system*. Dengan jalur terpendek dapat diperoleh hal-hal yang memiliki nilai profit tinggi serta meminimalkan jarak. Banyak masalah yang berhubungan dengan pencarian jalur. Berbagai pendekatan algoritma yang ditawarkan untuk mendapatkan solusi untuk pencarian jalur terpendek ini, salah satunya yaitu Algoritma ACO.

Masalah jalur terpendek merupakan masalah yang berkaitan dengan penentuan *edge-edge* dalam sebuah jaringan yang membentuk rute terdekat antara sumber dan tujuan. Tujuan dari permasalahan jalur terpendek adalah mencari jalur yang memiliki jarak terdekat antara titik asal dan titik tujuan. Gambar 2.6 merupakan suatu jalur titik ABCDEFG.



Gambar 2.6 Gambar Jalur Titik ABCDEFG

Pada kasus Gambar 2.6 dimisalkan rute yang di ambil adalah dari kota A ingin menuju Kota G. Untuk menuju kota G, dapat dipilih beberapa rute yang tersedia sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 &A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow G \\
 &A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow F \rightarrow G \\
 &A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow G \\
 &A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow F \rightarrow G \\
 &A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow G \\
 &A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow F \rightarrow G \\
 &A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow G \\
 &A \rightarrow B \rightarrow E \rightarrow G \\
 &A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow G \\
 &A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow F \rightarrow G \\
 &A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow G \\
 &A \rightarrow C \rightarrow F \rightarrow G
 \end{aligned} \tag{2.8}$$

Berdasarkan data persamaan (2.8), dapat dihitung rute terpendek dengan mencari jarak antara rute-rute tersebut. Apabila jarak antar rute belum diketahui, jarak dapat dihitung berdasarkan koordinat kota-kota tersebut, kemudian menghitung jarak terpendek yang dapat dilalui.

2.1.4 Penyelesaian Masalah Optimisasi

Secara umum, penyelesaian masalah pencarian rute terpendek dapat dilakukan dengan menggunakan dua metode, yaitu metode konvensional dan metode heuristik. Metode konvensional dihitung dengan perhitungan matematis

biasa, sedangkan metode heuristik dihitung dengan menggunakan *system* pendekatan.

a. Metode Konvensional

Metode konvensional adalah metode yang menggunakan perhitungan matematika eksak. Ada beberapa metode konvensional yang biasa digunakan untuk melakukan pencarian rute terpendek, diantaranya: algoritma Dijkstra, algoritma *Floyd-Warshall*, dan algoritma Bellman- Ford (Mutakhiroh, dkk, 2007).

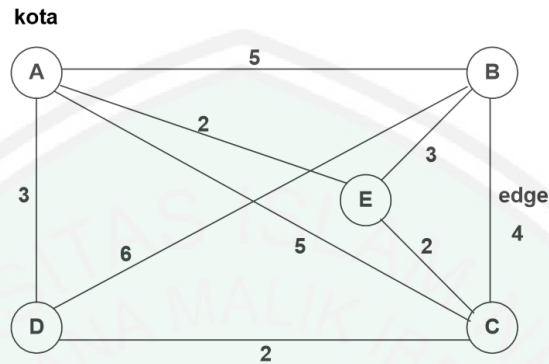
b. Metode Heuristik

Metode Heuristik adalah suatu metode yang menggunakan *system* pendekatan dalam melakukan pencarian dalam optimasi. Ada beberapa algoritma pada metode heuristik yang biasa digunakan dalam permasalahan optimasi, diantaranya Algoritma Genetika, *Ant colony optimization*, logika Fuzzy, jaringan syaraf tiruan, *Tabu Search*, *Simulated Annealing*, dan lain-lain (Mutakhiroh, dkk, 2007).

2.3 *Traveling Salesman Problem (TSP)*

Masalah *travelling salesman problem (TSP)* adalah salah satu contoh yang paling banyak dipelajari dalam *combinatorial optimization*. Masalah ini mudah untuk dinyatakan tetapi sangat sulit untuk diselesaikan. *TSP* termasuk kelas *NP-Hard problem* dan tidak dapat diselesaikan secara optimal dalam *Polynomial computation time* dengan algoritma eksak. Bila diselesaikan secara eksak waktu komputasi yang diperlukan akan meningkat secara eksponensial seiring bertambah besarnya masalah.

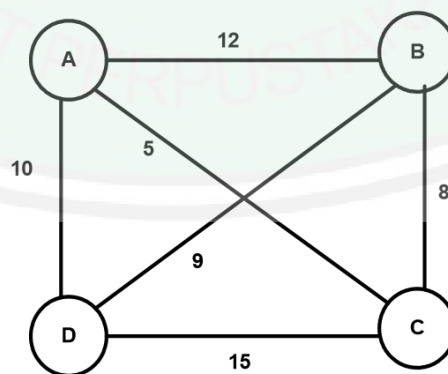
TSP dapat dinyatakan sebagai permasalahan dalam mencari jarak minimal sebuah *tour* tertutup terhadap sejumlah n kota dimana kota-kota yang ada hanya dikunjungi sekali. *TSP* digambarkan seperti Gambar 2.7 berikut:



Gambar 2.7 Ilustrasi Masalah *TSP*

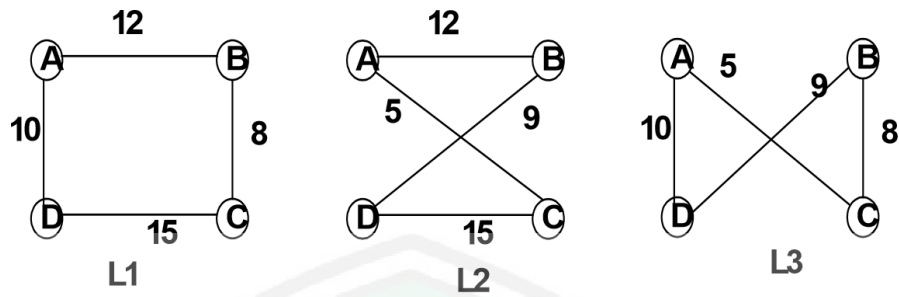
Diberikan contoh kasus *TSP* sebagai berikut: “Diberikan sejumlah kota dan jarak antar kota. Tentukan sirkuit terpendek yang harus dilalui oleh seorang pedagang bila pedagang itu berangkat dari sebuah kota asal dan menyinggahi setiap kota tepat satu kali dan kembali lagi ke kota asal keberangkatan.”

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



Gambar 2.8 Gambar Jalur Titik ABCD

Pada Gambar 2.8, graf memiliki $\frac{(4-1)!}{2} = 3$ sirkuit Hamilton sebagai berikut:



Gambar 2.9 Sirkuit Hamilton

Dengan,

$$\begin{aligned}
 L1 &= (A, B, C, D, A) = (A, B, C, D, A) \\
 L2 &= (A, C, D, B, A) = (A, B, D, C, A) \\
 L3 &= (A, C, B, D, A) = (A, D, B, C, A)
 \end{aligned}
 \tag{2.9}$$

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

$$\begin{aligned}
 L1 &= 10 + 12 + 8 + 15 = 45 \\
 L2 &= 12 + 5 + 9 + 15 = 41 \\
 L3 &= 10 + 5 + 9 + 8 = 32
 \end{aligned}
 \tag{2.10}$$

Pada Gambar 2.9 menunjukkan sirkuit Hamilton terpendek adalah $L3 = (A, C, B, D, A)$ atau (A, D, B, C, A) dengan panjang sirkuit 32. Jika jumlah vertek $n = 20$ maka akan terdapat $\frac{(19!)}{2}$ sirkuit Hamilton atau sekitar 6×10^{16} penyelesaian.

Dalam kehidupan sehari-hari, kasus *TSP* ini dapat diaplikasikan untuk menyelesaikan kasus lain, diantaranya yaitu :

- Tukang Pos mengambil surat di kotak pos yang tersebar pada n buah lokasi di berbagai sudut kota.
- Lengan robot mengencangkan n buah mur pada beberapa buah peralatan mesin dalam sebuah jalur perakitan.

- c. Mobil pengangkut sampah mengambil sampah pada tempat-tempat pembuangan sampah yang berada pada n buah lokasi diberbagai sudut kota.
- d. Petugas Bank melakukan pengisian uang pada sejumlah mesin ATM di n buah lokasi.
- e. Dan lain sebagainya.

2.4 *Ant Colony Optimization (ACO)*

Ant Colony Optimization (ACO) diadopsi dari perilaku koloni semut yang dikenal sebagai sistem semut (Dorigo, 1996). Semut mampu mengindera lingkungannya yang kompleks untuk mencari makanan dan kemudian kembali ke sarangnya dengan meninggalkan zat *Pheromone* pada rute-rute yang mereka lalui.

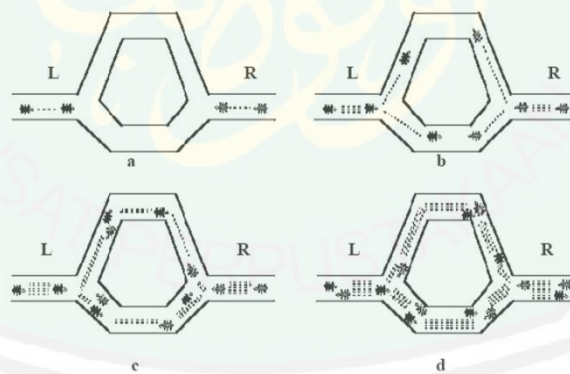
Pheromone adalah zat kimia yang berasal dari kelenjar endokrin dan digunakan oleh makhluk hidup untuk mengenali sesama jenis, individu lain, kelompok, dan untuk membantu proses reproduksi. Berbeda dengan hormon, *Pheromone* menyebar ke luar tubuh dan hanya dapat mempengaruhi dan dikenali oleh individu lain yang sejenis (satu spesies).

Proses peninggalan *Pheromone* ini dikenal sebagai *stigmergy*, yaitu 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. Lebih cepat setiap semut pulang pergi melalui rute tersebut, maka *Pheromone* yang menguap lebih sedikit. Begitu pula sebaliknya jika semut lebih lama pulang pergi melalui rute tersebut, maka *Pheromone* yang menguap lebih banyak.

2.3.1. Cara Kerja Semut Menemukan Rute Terpendek dalam ACO

Secara jelasnya cara kerja semut menemukan rute terpendek dalam ACO adalah sebagai berikut : Secara alamiah semut mampu menemukan rute terpendek dalam perjalanan dari sarang ke tempat-tempat sumber makanan. Koloni semut dapat menemukan rute terpendek antara sarang dan sumber makanan berdasarkan jejak kaki pada lintasan yang telah dilalui. Semakin banyak semut yang melalui suatu lintasan, maka akan semakin jelas bekas jejak kakinya. Hal ini akan menyebabkan lintasan yang dilalui semut dalam jumlah sedikit, semakin lama akan semakin berkurang kepadatan semut yang melewatinya, atau bahkan akan tidak dilewati sama sekali. Sebaliknya lintasan yang dilalui semut dalam jumlah banyak, semakin lama akan semakin bertambah kepadatan semut yang melewatinya, atau bahkan semua semut akan melalui lintasan tersebut (Dorigo, dkk, 1991).



Gambar 2.10 Perjalanan Semut dari Sarang ke Sumber Makanan

Gambar 2.10.a di atas menunjukkan ada dua kelompok semut yang akan melakukan perjalanan. Satu kelompok bernama *L* yaitu kelompok yang berangkat dari arah kiri yang merupakan sarang semut dan kelompok lain yang bernama kelompok *R* yang berangkat dari kanan yang merupakan sumber makanan. Kedua kelompok semut dari titik awal keberangkatan sedang dalam posisi pengambilan

keputusan jalan sebelah mana yang akan diambil. Kelompok semut L membagi dua kelompok lagi. Sebagian melalui jalan atas dan sebagian melalui jalan bawah. Hal ini juga berlaku pada kelompok semut R . Gambar 2.10.b dan gambar 2.10.c menunjukkan bahwa kelompok semut berjalan pada kecepatan yang sama dengan meninggalkan *Pheromone* (jejak kaki semut) di jalan yang telah dilalui. *Pheromone* yang ditinggalkan oleh semut-semut yang melalui jalan atas telah mengalami banyak penguapan karena semut yang melalui jalan atas berjumlah lebih sedikit dari pada jalan yang di bawah. Hal ini dikarenakan jarak yang ditempuh lebih panjang daripada jalan bawah. Sedangkan *Pheromone* yang berada di jalan bawah, penguapannya cenderung lebih lama. Karena semut yang melalui jalan bawah lebih banyak daripada semut yang melalui jalan atas. Gambar 2.10.d menunjukkan bahwa semut-semut yang lain pada akhirnya memutuskan untuk melewati jalan bawah karena *Pheromone* yang ditinggalkan masih banyak. Sedangkan *Pheromone* pada jalan atas sudah banyak menguap sehingga semut-semut tidak memilih jalan atas tersebut. Semakin banyak semut yang melalui jalan bawah maka semakin banyak semut yang mengikutinya.

Demikian juga dengan jalan atas, semakin sedikit semut yang melalui jalan atas, maka *Pheromone* yang ditinggalkan semakin berkurang bahkan hilang. Dari sinilah kemudian terpilihilah rute terpendek antara sarang dan sumber makanan.

2.3.2. *Ant System* (AS)

Algoritma Ant System (AS) adalah algoritma ACO pertama yang dirumuskan dan diuji untuk menyelesaikan kasus *TSP* (Dorigo, dkk, 1996). Algoritma ini tersusun atas sejumlah m semut yang bekerjasama dan berkomunikasi secara tidak langsung melalui komunikasi *Pheromone*.

Secara informal, AS bekerja sebagai berikut : Setiap semut memulai *tour*-nya melalui sebuah titik yang dipilih secara acak (setiap semut memiliki titik awal yang berbeda). Secara berulang kali, satu persatu titik yang ada dikunjungi oleh semut dengan tujuan untuk menghasilkan sebuah *tour*. Pemilihan titik-titik yang akan dilaluinya didasarkan pada suatu fungsi probabilitas, dinamai aturan transisi status (*state transition rule*), dengan mempertimbangkan *visibility* (invers dari jarak) titik tersebut dan jumlah *Pheromone* yang terdapat pada ruas yang menghubungkan titik tersebut. Semut lebih suka untuk bergerak menuju ke titik-titik yang dihubungkan dengan ruas yang pendek dan memiliki tingkat *Pheromone* yang tinggi (Dorigo dan Gambardella, 1997). Setiap semut memiliki sebuah memori, dinamai *tabulist*, yang berisi semua titik yang telah dikunjunginya pada setiap *tour*. *Tabulist* ini mencegah semut untuk mengunjungi titik-titik yang sebelumnya telah dikunjungi selama *tour* tersebut berlangsung, yang membuat solusinya mendekati optimal.

Setelah semua semut menyelesaikan *tour* mereka dan *tabulist* mereka menjadi penuh, sebuah aturan pembaruan *Pheromone* global (*global Pheromone updating rule*) diterapkan pada setiap semut. Penguapan *Pheromone* pada semua ruas dilakukan, kemudian setiap semut menghitung panjang *tour* yang telah mereka lakukan lalu meninggalkan sejumlah *Pheromone* pada *edge-edge* yang merupakan bagian dari *tour* mereka yang sebanding dengan kualitas dari solusi yang mereka hasilkan. Semakin pendek sebuah *tour* yang dihasilkan oleh setiap semut, jumlah *Pheromone* yang ditinggalkan pada *edge-edge* yang dilaluinya pun semakin besar. Dengan kata lain, *edge-edge* yang merupakan bagian dari *tour-tour* terpendek adalah *edge-edge* yang menerima jumlah *Pheromone* yang lebih

besar. Hal ini menyebabkan *edge-edge* yang diberi *Pheromone* lebih banyak akan lebih diminati pada *tour-tour* selanjutnya, dan sebaliknya *edge-edge* yang tidak diberi *Pheromone* menjadi kurang diminati. Dan juga, rute terpendek yang ditemukan oleh semut disimpan dan semua *tabulist* yang ada dikosongkan kembali.

Peranan utama dari penguapan *Pheromone* adalah untuk mencegah stagnasi, yaitu situasi dimana semua semut berakhir dengan melakukan *tour* yang sama. Proses di atas kemudian diulangi sampai *tour-tour* yang dilakukan mencapai jumlah maksimum atau sistem ini menghasilkan perilaku stagnasi dimana sistem ini berhenti untuk mencari solusi alternatif.

Dalam algoritma semut, diperlukan beberapa variabel dan langkah-langkah untuk menentukan jalur terpendek, yaitu:

Langkah 1:

a. Inisialisasi harga parameter-parameter algoritma. Parameter-parameter yang di inisialisasikan adalah:

1. Intensitas jejak semut antar kota dan perubahannya (τ_{ij})
2. Banyak kota (n) termasuk koordinat (x, y) atau jarak antar kota (d_{ij})
3. Kota berangkat dan kota tujuan
4. Tetapan siklus-semut (Q)
5. Tetapan pengendali intensitas jejak semut (α), nilai $\alpha \geq 0$
6. Tetapan pengendali visibilitas (β), nilai $\beta \geq 0$
7. Visibilitas antar kota = $\frac{1}{d_{ij}} (\eta_{ij})$
8. Banyak semut (m)

9. Tetapan penguapan jejak semut (ρ), nilai ρ harus > 0 dan < 1 untuk mencegah jejak *Pheromone* yang tak terhingga.

10. Jumlah siklus maksimum ($NCmax$) bersifat tetap selama algoritma dijalankan, sedangkan τ_{ij} akan selalu diperbaharui harganya pada setiap siklus algoritma mulai dari siklus pertama ($NC = 1$) sampai tercapai jumlah siklus maksimum ($NC = NCmax$) atau sampai terjadi konvergensi.

b. Inisialisasi kota pertama setiap semut.

Setelah inisialisasi τ_{ij} dilakukan, kemudian m semut ditempatkan pada kota pertama tertentu secara acak.

Langkah 2:

Pengisian kota pertama ke dalam *tabu list*. Hasil inisialisasi kota pertama setiap semut dalam langkah 1 harus diisikan sebagai elemen pertama *tabu list*. Hasil dari langkah ini adalah terisinya elemen pertama *tabu list* setiap semut dengan indeks kota tertentu, yang berarti bahwa setiap $tabu_k(1)$ bisa berisi indeks kota antara 1 sampai n sebagaimana hasil inisialisasi pada langkah 1.

Langkah 3:

Penyusunan rute kunjungan setiap semut ke setiap kota. Koloni semut yang sudah terdistribusi ke sejumlah atau setiap kota, akan mulai melakukan perjalanan dari kota pertama masing-masing sebagai kota asal dan salah satu kota lainnya sebagai kota tujuan. Kemudian dari kota kedua masing-masing, koloni semut akan melanjutkan perjalanan dengan memilih salah satu dari kota-kota yang tidak terdapat pada $tabu_k$ sebagai kota tujuan selanjutnya. Perjalanan koloni semut berlangsung terus menerus sampai semua kota satu persatu dikunjungi atau telah menempati $tabu_k$. Jika s menyatakan indeks urutan kunjungan, kota asal

dinyatakan sebagai $tabu_k(s)$ dan kota-kota lainnya dinyatakan sebagai $\{N - tabu_k\}$, maka untuk menentukan kota tujuan digunakan persamaan probabilitas kota untuk dikunjungi sebagai berikut:

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_i^k} [\tau_{iu}]^\alpha \cdot [\eta_{iu}]^\beta}, & \text{untuk } s \in J_i^k \\ 0, & \text{untuk } s \text{ lainnya} \end{cases} \quad (2.11)$$

dengan i sebagai indeks kota asal dan j sebagai indeks kota tujuan.

Langkah 4:

a. Perhitungan panjang rute setiap semut.

Perhitungan panjang rute tertutup (*length closed tour*) atau c_k setiap semut dilakukan setelah satu siklus diselesaikan oleh semua semut. Perhitungan ini dilakukan berdasarkan tabuk masing-masing dengan persamaan berikut:

$$c_k = d_{tabu_k(n), tabu_k(1)} + \sum_{k=1}^{n-1} d_{tabu_k(s), tabu_k(s+1)} \quad (2.12)$$

Dengan d_{ij} adalah jarak antara kota i ke kota j yang dihitung berdasarkan persamaan:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (2.13)$$

b. Pencarian rute terpendek.

Setelah L_k setiap semut dihitung, akan didapat harga minimal panjang rute tertutup setiap siklus atau L_{minNC} dan harga minimal panjang rute tertutup secara keseluruhan adalah L_{min} .

c. Perhitungan perubahan harga intensitas jejak kaki semut antar kota.

Koloni semut akan meninggalkan jejak-jejak kaki pada lintasan antar kota yang dilaluinya. Adanya penguapan dan perbedaan jumlah semut yang lewat,

menyebabkan kemungkinan terjadinya perubahan harga intensitas jejak kaki semut antar kota. Persamaan perubahan ini adalah :

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad (2.14)$$

Dengan $\Delta\tau_{ij}^k$ adalah perubahan harga intensitas jejak kaki semut antar kota setiap semut yang dihitung berdasarkan persamaan:

$$\Delta\tau_{ij}^k = \frac{Q}{L_k} \quad (2.15)$$

untuk $(i,j) \in$ kota asal dan kota tujuan dalam $tabu_k$ dan

$$\Delta\tau_{ij}^k = 0 \quad (2.16)$$

untuk (i,j) lainnya.

Langkah 5:

a. Perhitungan harga intensitas jejak kaki semut antar kota untuk siklus selanjutnya. Harga intensitas jejak kaki semut antar kota pada semua lintasan antar kota ada kemungkinan berubah karena adanya penguapan dan perbedaan jumlah semut yang melewati. Untuk siklus selanjutnya, semut yang akan melewati lintasan tersebut harga intensitasnya telah berubah. Harga intensitas jejak kaki semut antar kota untuk siklus selanjutnya dihitung dengan persamaan:

$$\tau_{ij} = \rho \cdot \tau_{ij} + \Delta\tau_{ij} \quad (2.17)$$

b. Atur ulang harga perubahan intensitas jejak kaki semut antar kota.

Untuk siklus selanjutnya perubahan harga intensitas jejak semut antar kota perlu diatur kembali agar memiliki nilai sama dengan nol.

Langkah 6:

Pengosongan *tabu list*, dan ulangi langkah 2 jika diperlukan. *Tabu list* perlu dikosongkan untuk diisi lagi dengan urutan kota yang baru pada siklus

selanjutnya, jika jumlah siklus maksimum belum tercapai atau belum terjadi konvergensi. Algoritma diulang lagi dari langkah 2 dengan harga parameter intensitas jejak kaki semut antar kota yang sudah diperbaharui.

2.3.3. *Elitist Ant System (EAS)*

Pengembangan pertama dari AS adalah *elitist strategy for Ant System (EAS)*, Ide ini berawal ketika adanya penguatan *Pheromone* pada *edge-edge* yang merupakan *tour* terbaik yang ditemukan sejak awal algoritma. *Tour* terbaik ini dinotasikan sebagai T^{bs} (*best-so-far tour*).

Penambahan intensitas *Pheromone* dari *tour* T^{bs} adalah dengan memberi penambahan *quantity* $\frac{e}{C^{bs}}$ untuk setiap *edge*, dimana e parameter yang diberikan untuk mendefinisikan nilai *tour* terbaik (T^{bs}) dan C^{bs} adalah panjang *tour* terbaik. Perubahan *Pheromone* didefinisikan sebagai berikut :

$$\tau_{rs} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{rs} + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{rs}^k + e \Delta\tau_{rs}^{bs} \quad (2.18)$$

Dimana $\Delta\tau_{rs}^k$ didefinisikan pada pers. (2.7) dan $\Delta\tau_{rs}^{bs}$ didefinisikan sebagai berikut :

$$\Delta\tau_{rs}^{bs} = \begin{cases} \frac{1}{C^{bs}}, & \text{jika edge } (r, s) \text{ terdapat pada } T^{bs} \\ 0, & \text{yang lainnya} \end{cases} \quad (2.19)$$

Sebagai catatan untuk EAS, bagian dari algoritma yang lain sama seperti pada AS, yang dibahas pada bagian sebelumnya.

2.3.4. *Rank-Based Version of Ant System (AS_{Rank})*

Rank-based version of Ant System (AS_{Rank}) merupakan pengembangan dari AS dan menerapkan *elitist strategy*. Pada setiap iterasi, metode ini lebih dahulu mengurutkan semut berdasarkan tingkat fluktuasi solusi (panjang/pendeknya *tour*) yang telah mereka temukan sebelumnya.

Saat melakukan *update Pheromone* hanya ($w-1$) semut terbaik dan semut yang memiliki solusi *best-so-far* yang diperbolehkan meninggalkan *Pheromone*. Semut yang ke- z terbaik memberikan kontribusi *Pheromone* sebesar $\max\{0, w - z\}$ sementara jalur *best-so-far-tour* memberikan kontribusi *Pheromone* paling besar yaitu sebanyak w , dimana w adalah parameter yang menyatakan adanya *tour* terbaik dan z adalah peringkat semut. Dalam AS_{Rank} aturan *Pheromone update*-nya diberikan sebagai berikut :

$$\tau_{rs} = (1 - \rho)\tau_{rs} + \sum_{z=1}^{w-1} (w - z)\Delta\tau_{rs}^z + w \Delta\tau_{rs}^{bs} \quad (2.20)$$

Dimana $\Delta\tau_{rs} = \frac{1}{C^z}$ dan $\Delta\tau_{rs}^{bs} = \frac{1}{C^{bs}}$. C^z adalah panjang *tour* yang dilewati semut ke- z , C^{bs} adalah panjang *tour* terbaik. Hasil dari evaluasi eksperimen oleh Bullnheimer, dkk (1999). menunjukkan AS_{Rank} mempunyai hasil yang lebih baik dari pada *EAS* dan lebih signifikan daripada *AS*.

2.3.5. MAX – MIN Ant System (MMAS)

MAX-MIN Ant System (MMAS) merupakan pengembangan dari algoritma *AS* selanjutnya, dengan beberapa perubahan utama. Berikut empat perubahan utama di dalam *MMAS* terhadap *AS* :

- Pertama, penambahan *Pheromone* bisa dilakukan pada *edge-edge* yang merupakan bagian dari *tour* terbaik yang ditemukan sejak awal algoritma (*best so-far-tour*) atau pada *tour* terbaik yang ditemukan pada iterasi tersebut (*iteration best-tour*). Bisa juga penambahan *Pheromone* pada keduanya, *best so-far-tour* dan *iteration best-tour* sekaligus. Tetapi, strategi ini memungkinkan terjadinya stagnasi yang menyebabkan semua semut melalui jalur yang sama, karena pemberian *Pheromone* yang berlebihan pada *edge*, meskipun bagian dari *tour* yang terbaik.

- Kedua, untuk mengatasi masalah pada perubahan pertama, maka *MMAS* memberikan batasan dalam pemberian nilai *Pheromone* dengan interval $[\tau_{min}, \tau_{max}]$.
- Ketiga, menginisialisasi *Pheromone* dengan batas atas nilai *Pheromone*, yang mana bersama dengan tingkat *evaporasi Pheromone* yang kecil, meningkatkan eksplorasi *tour* sejak dimulainya pencarian.
- Keempat, *Pheromone* di inisialisasi kembali pada saat terjadi stagnasi atau ketika tidak ditemukan *tour* yang sesuai dengan iterasi yang diinginkan.

Setelah semua semut membangun *tour*-nya, *Pheromone* di-update menurut persamaan sebagai berikut :

$$\tau_{rs} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{rs} + \Delta\tau_{rs}^{best} \quad (2.21)$$

dimana

$$\Delta\tau_{rs}^{best} = \begin{cases} \frac{1}{C^{best}}, & \text{jika semut menemukan } best\ so - far - tour \\ \frac{1}{C^{ib}}, & \text{jika semut menemukan } iteration\ best - tour \end{cases} \quad (2.22)$$

Dengan C^{best} merupakan panjang *tour* terbaik dan C^{ib} adalah panjang iterasi terbaik sebuah *tour*. Pada umumnya, *MMAS* mengimplementasikan keduanya baik iterasi terbaik maupun panjang *tour* terbaiknya.

2.3.6. Ant Colony System (ACS)

Algoritma *Ant Colony System (ACS)* merupakan pengembangan dari *AS* selanjutnya, setelah beberapa algoritma diatas. Algoritma ini tersusun atas sejumlah m semut yang bekerjasama dan berkomunikasi secara tidak langsung melalui komunikasi *Pheromone*.

Secara informal, ACS bekerja sebagai berikut: pertama kali, sejumlah m semut ditempatkan pada sejumlah n titik berdasarkan beberapa aturan inisialisasi (misalnya, secara acak). Setiap semut membuat sebuah *tour* (yaitu, sebuah solusi TSP yang mungkin) dengan menerapkan sebuah aturan transisi status secara berulang kali. Selagi membangun *tour*-nya, setiap semut juga memodifikasi jumlah *Pheromone* pada *edge-edge* yang dikunjungi dengan menerapkan aturan pembaruan *Pheromone* lokal yang telah disebutkan tadi. Setelah semua semut mengakhiri *tour* mereka, jumlah *Pheromone* yang ada pada *edge-edge* dimodifikasi kembali (dengan menerapkan aturan pembaruan *Pheromone* global). Seperti yang terjadi pada *Ant system*, dalam membuat *tour*, semut ‘dipandu’ oleh informasi heuristik (mereka lebih memilih *edge-edge* yang pendek) dan oleh informasi *Pheromone*. Sebuah *edge* 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 *edge-edge* yang harus mereka lewati. Berikutnya akan dibahas mengenai tiga karakteristik utama dari ACS, yaitu aturan transisi status, aturan pembaharuan *Pheromone* global, dan aturan pembaharuan *Pheromone* lokal.

Aturan transisi status yang berlaku pada ACS ditunjukkan pada persamaan 2.23. Semut k yang berada di titik r , akan memilih titik berikutnya s , menurut persamaan berikut :

$$s = \begin{cases} \arg \max_{u \in J_r^k} \{\tau_{rs} [\eta_{rs}]^\beta\}, & \text{jika } q \leq q_0 \text{ (eksploitasi)} \\ J, & \text{jika tidak (eksplorasi)} \end{cases} \quad (2.23)$$

Dimana q adalah bilangan random dalam $[0,1]$, $q_0 (0 \leq q_0 \leq 1)$ adalah sebuah parameter pembanding bilangan random, dan $J = P_{rs}^k$ probabilitas dari semut k pada titik r yang memilih untuk menuju ke titik s (persamaan 2.11).

Dengan kata lain, Jika $q \leq q_0$ maka semut tersebut akan memanfaatkan pengetahuan heuristik tentang jarak antara titik tersebut dengan titik-titik lainnya dan juga pengetahuan yang telah didapat dan disimpan dalam bentuk *Pheromone*. Hal ini mengakibatkan *edge* terbaik (berdasarkan persamaan (2.23) dipilih. Jika sebaliknya maka sebuah *edge* dipilih berdasarkan persamaan (2.11).

Setelah semua semut menyelesaikan sebuah *tour*, tingkat *Pheromone* di-*update* dengan mengaplikasikan *global updating rule* (Dorigo dan Gambardella 1996) menurut persamaan berikut :

$$\tau_{rs} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{rs} + \rho \cdot \Delta\tau_{rs}^{bs} \quad (2.24)$$

Dengan

$$\Delta\tau_{rs}^{bs} = \begin{cases} \frac{1}{C^{bs}}, & \text{jika } (r, s) \in \text{lintasan terbaik keseluruhan} \\ 0, & \text{jika tidak} \end{cases} \quad (2.25)$$

Dimana ρ adalah parameter *evaporasi global*, yang mempunyai nilai $0 < \rho < 1$. $\Delta\tau_{rs}^{bs}$ adalah $\frac{1}{(\text{panjang lintasan terbaik keseluruhan})}$, jika (i, j) merupakan bagian panjang lintasan terbaik keseluruhan (C^{bs}), dan 0 jika tidak.

Persamaan *update* jejak *Pheromone* secara *offline* ini, dilakukan pada akhir sebuah iterasi algoritma, saat semua semut telah menyelesaikan sebuah *tour*. Persamaan diaplikasikan ke *edge* yang digunakan semut menemukan lintasan keseluruhan yang terbaik sejak awal percobaan. Tujuan pemberian nilai ini adalah memberi sejumlah jejak *Pheromone* pada lintasan terpendek, dimana *tour* terbaik (lintasan dengan panjang terpendek) mendapat penguatan. Bersama dengan *pseudo-random proportional rule* dimaksudkan untuk membuat pencarian lebih terarah.

Ketika membangun solusi (*tour*) dari TSP, semut mengaplikasikan *local updating rule* (Dorigo dan Gambardella 1996) menurut persamaan berikut:

$$\tau_{rs} \leftarrow (1 - \xi) \cdot \tau_{rs} + \xi \cdot \tau_0 \quad (2.26)$$

ξ adalah parameter evaporasi lokal $0 < \xi < 1$. τ_0 adalah nilai awal jejak *Pheromone*, $\tau_0 = \frac{1}{nC^{nn}}$ dimana n adalah jumlah titik dan C^{nn} adalah panjang sebuah *tour* terbaik yang diperoleh dari metode *nearest neighbourhood heuristic*.

Persamaan *update Pheromone online* ini diaplikasikan saat semut membangun *tour TSP*, yaitu ketika melewati *edge* dan mengubah tingkat *Pheromone* pada *edge*(r, s). Tujuannya untuk membantu melewati sebuah *edge*, *edge* ini menjadi kurang diinginkan (karena berkurangnya jejak *Pheromone* pada *edge* yang bersesuaian).

2.5 Anjuran Hidup Hemat dalam Islam

Islam adalah agama yang seimbang, juga membawa manusia untuk berlaku adil dan tidak melampaui batas, karena segala sesuatu yang melampaui batas itu buruk. Dan al-Quran memiliki cara yang indah untuk menggiring manusia agar tidak terjebak dalam sifat boros. Salah satu contoh kasus adalah dengan menemukan jarak terpendek pada suatu perjalanan maka dapat terhindar dari sifat boros dan mengurangi beberapa pengeluaran dengan cara menghemat BBM, waktu dan juga tenaga. Dengan bertahap Allah Swt. ingin menjelaskan bahwa sifat boros hanya akan merugikan manusia dalam al-Quran surat al-Isra'/17:26-27, yaitu:

وَأَاتِ ذَا الْقُرْبَىٰ حَقَّهُ وَالْمِسْكِينَ وَابْنَ السَّبِيلِ وَلَا تَبْذِرْ تَبْذِيرًا ۖ إِنَّ الْمُبْذِرِينَ كَانُوا إِخْوَانَ الشَّيَاطِينِ ۖ وَكَانَ الشَّيْطَانُ لِرَبِّهِ كَفُورًا

“Dan berikanlah kepada keluarga-keluarga yang dekat akan haknya, kepada orang miskin dan orang yang dalam perjalanan dan janganlah kamu menghambur-hamburkan (hartamu) secara boros. Sesungguhnya pemboros-pemboros itu adalah saudara-saudara syaitan dan syaitan itu adalah sangat ingkar kepada Tuhannya”. (QS. al-Isra’/17:26-27).

Secara jelas Allah Swt melarang umatnya melakukan pemborosan, perbuatan yang dilarang Allah Swt berarti sesuatu yang tidak baik dan tidak membawa manfaat, secara umum segala bentuk pemborosan dan menghambur-hamburkan harta adalah perbuatan yang dilarang dalam Islam. Allah Swt. mengingatkan bahwa orang-orang yang melakukan pemborosan dan berbuat mubadzir adalah saudara dari setan, dan setan itu sangat ingkar kepada Allah Swt.

Ibnu Katsir mengatakan dalam firman Allah Ta’ala, “Dan janganlah kamu menghambur-hamburkan (hartamu) secara boros.” Setelah menyuruh mengeluarkan infak, Allah Ta’ala melarang berlebih-lebihan dalam berinfaq, dan menyuruh melakukannya secara seimbang/pertengahan (Katsir, 2004).

Dengan (perintah untuk) menjauhi tindakan mubadzir dan berlebih-lebihan, Allah Swt. berfirman, “Sesungguhnya pemboros-pemboros itu adalah saudara-saudara syaitan.” Yakni, dalam hal itu, mereka menjadi orang yang serupa dengan syaitan. Dan saudara dalam keborosan, kebodohan, pengabaian terhadap ketaatan, dan kemaksiatan kepada Allah Swt Oleh karena itu, Dia berfirman: “Dan syaitan itu adalah sangat ingkar kepada rabb-nya.” Maksudnya, benar-benar ingkar, karena syaitan itu telah mengingkari nikmat Allah Swt yang diberikan kepadanya dan sama sekali tidak mau berbuat taat kepada-Nya, bahkan ia cenderung durhaka kepada-Nya dan menyalahi-Nya (Katsir, 2004).

Larangan yang berhubungan dengan perihal di atas ditegaskan pula dalam surat al-An'am/6:141, sebagai berikut:

﴿ وَهُوَ الَّذِي أَنْشَأَ جَنَّاتٍ مَّعْرُوشَاتٍ وَغَيْرَ مَعْرُوشَاتٍ وَالنَّخْلَ وَالزَّرْعَ مُخْتَلِفًا أَكْلُهُ، وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَّانَ مُتَشَبِهًا وَغَيْرَ مُتَشَبِهٍ ۚ كُلُوا مِنْ ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَءَاتُوا حَقَّهُ يَوْمَ حَصَادِهِ ۚ وَلَا تُسْرِفُوا ۚ إِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِينَ ۝۱۴۱﴾

“Dan Dialah yang menjadikan kebun-kebon yang berjunjung dan yang tidak berjunjung, pohon korma, tanam-tanaman yang bermacam-macam buahnya, zaitun dan delima yang serupa (bentuk dan warnanya) dan tidak sama (rasanya). Makanlah dari buahnya (yang bermacam-macam itu) bila dia berbuah, dan tunaikanlah haknya di hari memetik hasilnya (dengan disedekahkan kepada fakir miskin); dan janganlah kamu berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang yang berlebih-lebihan.” (QS. al-An'am/6:141).

Adanya larangan untuk berlebih-lebihan pada firman Allah Swt adalah menunjukkan larangan berlebih-lebihan dalam segala hal. Hal itu dilarang, karena Allah Swt menjadikan harta-harta itu sebagai kekuatan untuk kemaslahatan hamba-hamba. Sedang penghamburannya (*tabdzir*) itu menghilangkan maslahat-maslahat, baik dalam hak pelaku yang menyia-nyiakan harta ataupun dalam hak orang lain.

Adapun tentang adanya larangan berlebih-lebihan Rasulullah Saw juga menjelaskan dalam hadits dari Babul Adab dari Kitabul Jami' dari Kitab Bulughul Maram.

وَعَنْ عَمْرِو بْنِ شُعَيْبٍ، عَنْ أَبِيهِ، عَنْ جَدِّهِ قَالَ : قَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ (كُلْ، وَاشْرَبْ، وَابْسَنْ، وَتَصَدَّقْ فِي غَيْرِ سَرْفٍ، وَلَا مَخِيلَةٍ) أَخْرَجَهُ أَبُو دَاوُدَ، وَأَحْمَدُ، وَعَلَّقَهُ الْبُخَارِيُّ

“Dari ‘Amr Ibnu Syu’aib, dari ayahnya, dari kakeknya, radhiyallahu ‘anhum (semoga Allāh meridhai mereka) berkata, Rasulullah shallallahu ‘alayhiwasallam bersabda, “Makanlah dan minumlah dan berpakaianlah dan bersedekahlah tanpa berlebihan

(israf) dan tanpa kesombongan”(HR Abu Dawud dan Ahmad dan Al-Imam Al-Bukhari meriwayatkan secara ta’liq).

Dengan adanya larangan berlebih-lebihan dalam segala hal, dapat diartikan bahwa Allah Swt memerintahkan umatnya untuk berlaku hemat. Kita tahu bahwasanya Allah Swt asalnya menghalalkan bagi hamba-hamba-Nya seluruh perkara dan rizqi yang baik. Baik berupa makanan maupun minuman, pakaian, tempat tinggal, tunggangan/kendaraan dan seluruh kebaikan-kebaikan yang ada di atas muka bumi ini. Allah Swt tidak akan mengharamkan bagi hamba-hambaNya kecuali yang mendatangkan kemudharatan, baik kemudharatan bagi agamanya, badannya, akalanya, harga dirinya atau bagi hartanya.

Dan hadits ini juga memperkuat bahwasanya seluruh perkara dan kesenangan yang baik di atas muka bumi ini dihalalkan oleh Allah Swt Akan tetapi perkara-perkara yang baik tersebut terkadang meskipun hukum asalnya baik, diubah oleh Allah Swt menjadi hukumnya haram tatkala mencapai tingkatan *saraf* (berlebihan). Oleh karena itu dalam hadits ini dijelaskan dilarang untuk berbuat berlebih-lebihan. Begitu juga dengan permasalahan pencarian jalur dalam sebuah perjalanan menuju suatu tempat atau beberapa tempat akan hemat dengan menempuh jarak terpendek dan berhemat adalah anjuran agama.

BAB III

PEMBAHASAN

3.1 Metode *Ant Colony Optimization* untuk Pencarian Jalur Terpendek

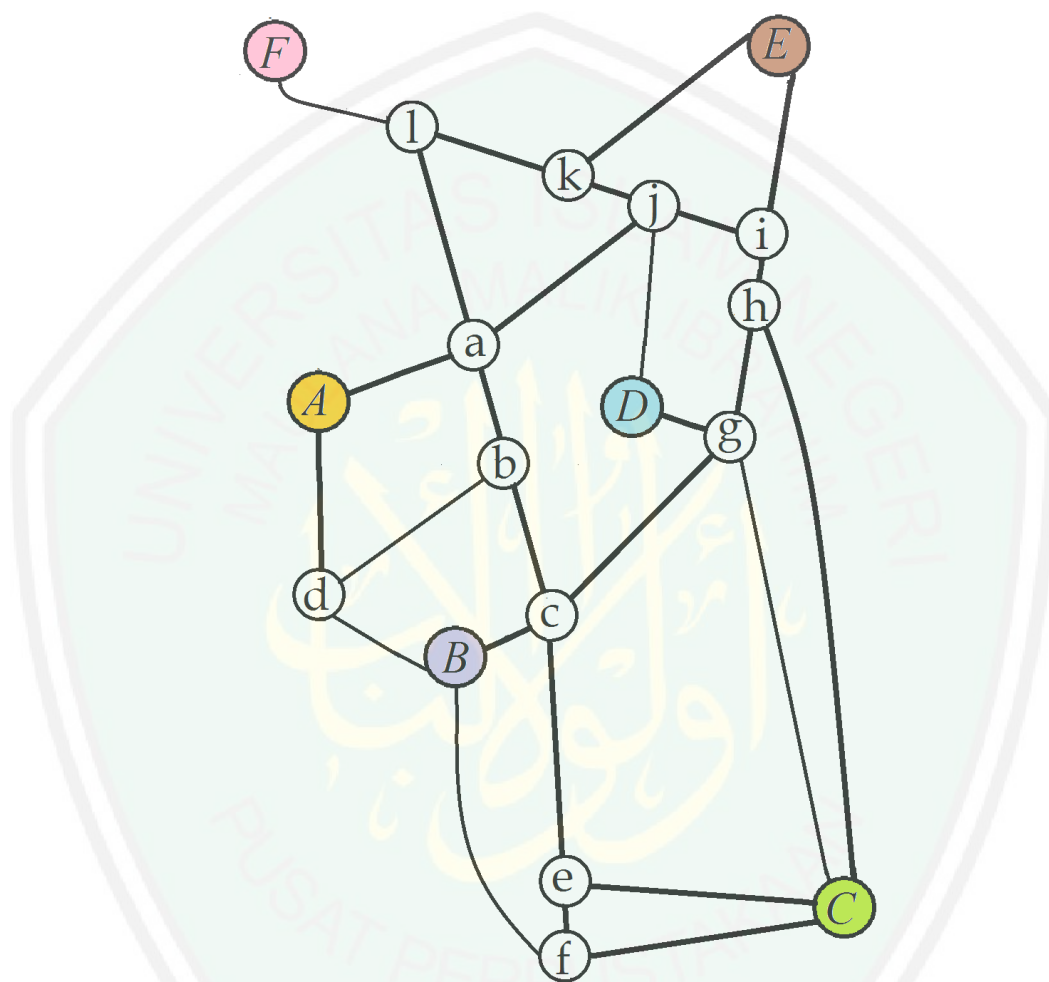
Metode ACO diaplikasikan dengan cara menentukan jumlah titik yang akan dilalui semut dan mencari jarak antar titik tersebut. Kemudian menyusun rute kunjungan semut ke setiap kota dengan titik-titik yang ada hanya dikunjungi sekali dimana titik awal sama dengan titik akhir, dengan tujuan mencari rute terpendek terhadap n titik. Selanjutnya pemberian nilai intensitas jejak semut atau *pheromone* (τ_{rs}) yang dilakukan saat semut mengunjungi titik s setelah mengunjungi titik r , dan informasi heuristik (η_{rs}) merupakan informasi yang merepresentasikan kualitas suatu jarak antara titik r dan titik s . dengan $(\eta_{rs}) = \frac{1}{d_{rs}}$, d_{rs} adalah jarak antara titik r dan titik s .

Setiap semut memulai perjalanannya melalui sebuah titik yang sudah ditentukan. Secara berulang kali, satu persatu titik yang ada dikunjungi oleh semut dengan tujuan untuk menghasilkan sebuah perjalanan, dengan mempertimbangkan invers dari jarak titik tersebut dan jumlah *Pheromone* yang terdapat pada ruas yang menghubungkan titik tersebut. Semut lebih suka untuk bergerak menuju ke titik-titik yang dihubungkan dengan ruas yang pendek dan memiliki tingkat *Pheromone* yang tinggi (Dorigo dan Gambardella, 1997).

Selanjutnya metode yang akan penulis lakukan yaitu menentukan lokasi yang menjadi tempat penelitian, mencari rute perjalanan semut, menentukan panjang perjalanan semut, menentukan parameter-parameter algoritma,

menentukan nilai visibilitas antar kota, dan perhitungan perubahan harga intensitas jejak kaki semut.

3.1.1 Lokasi yang Menjadi Tempat Penelitian dan Simbolisasi



Gambar 3.1 Ilustrasi Graf Jalur dengan 6 Kampus

Pemilihan studi penelitian yang penulis lakukan adalah beberapa titik sektor kampus yang berada di Kota Malang. Alasan pengambilan titik tersebut adalah berdasar pada aspek pendidikan, seperti apabila suatu waktu dalam penyelesaian masa studi membutuhkan literatur-literatur yang berada di kampus lain.

Di bawah ini akan diberikan keterangan masing-masing titik dari Gambar (3.1):

A : Perpustakaan Universitas Islam Negeri Malang

B : Perpustakaan Institut Teknologi Nasional Malang

C : Perpustakaan Universitas Negeri Malang

D : Perpustakaan Universitas Brawijaya

E : Perpustakaan Politeknik Negeri Malang

F : Perpustakaan Universitas Islam Malang

3.1.2 Jarak Antar Perpustakaan Kampus (*drs*)

Penentuan jarak antar perpustakaan kampus dengan r adalah titik awal dan s adalah titik akhir yaitu Universitas Islam Negeri Malang (A), diketahui memiliki jarak sebagai berikut :

Untuk menemukan jarak dari titik A ke titik B dengan melalui beberapa titik bantuan yang dapat dihitung sebagai berikut:

$$d(A, a) = 0,172$$

$$d(A, d) = 0,898$$

$$d(a, b) = 0,523$$

$$d(b, c) = 0,2$$

$$d(c, B) = 0,2$$

$$d(b, d) = 0,386$$

$$d(d, B) = 0,302$$

jalur $d(A, B) = d(B, A)$ yang pertama adalah:

$$= d(A, a) + d(a, b) + d(b, c) + d(c, B)$$

$$= 0,172 + 0,523 + 0,2 + 0,2$$

$$= 1,1$$

jalur $d(A, B) = d(B, A)$ yang kedua adalah:

$$\begin{aligned}
&= d(A, a) + d(a, b) + d(b, d) + d(d, B) \\
&= 0,172 + 0,523 + 0,386 + 0,302 \\
&= 1,4
\end{aligned}$$

jalur $d(A, B) = d(B, A)$ yang ketiga adalah:

$$\begin{aligned}
&= d(A, d) + d(d, B) \\
&= 0,898 + 0,302 \\
&= 1,2
\end{aligned}$$

Dari ketiga jalur $d(A, B) = d(B, A)$ yang sudah dihitung dapat diketahui jalur terpendeknya adalah :

$$d(A, B) = d(B, A) = 1,1 \quad (3.1)$$

Selanjutnya untuk menemukan jarak dari titik A ke titik C dengan melalui beberapa titik bantuan yang dapat dihitung sebagai berikut:

$$d(c, e) = 0,327$$

$$d(e, C) = 0,59$$

$$d(c, f) = 0,612$$

$$d(f, D) = 0,652$$

jalur $d(A, C) = d(C, A)$ yang pertama adalah :

$$\begin{aligned}
&= d(A, a) + d(a, b) + d(b, c) + d(c, e) + d(e, D) \\
&= 0,172 + 0,523 + 0,2 + 0,327 + 0,59 \\
&= 1,8
\end{aligned}$$

jalur $d(A, C) = d(C, A)$ yang kedua adalah :

$$\begin{aligned}
&= d(A, d) + d(d, c) + d(c, f) + d(f, D) \\
&= 0,898 + 0,302 + 0,612 + 0,652 \\
&= 2,5
\end{aligned}$$

Dari kedua jalur $d(A, C) = d(C, A)$ yang sudah dihitung dapat diketahui jalur terpendeknya adalah :

$$d(A, C) = d(C, A) = 1,8 \quad (3.2)$$

Selanjutnya untuk menemukan jarak dari titik A ke titik D dengan melalui beberapa titik bantuan yang dapat dihitung sebagai berikut:

$$d(c, g) = 0,485$$

$$d(g, C) = 0,07$$

$$d(a, k) = 0,787$$

$$d(k, j) = 0,4$$

$$d(j, i) = 0,095$$

$$d(i, g) = 0,265$$

jalur $d(A, D) = d(D, A)$ yang pertama adalah :

$$\begin{aligned} &= d(A, a) + d(a, b) + d(b, c) + d(c, g) + d(g, C) \\ &= 0,172 + 0,523 + 0,2 + 0,485 + 0,07 \\ &= 1,45 \end{aligned}$$

jalur $d(A, D) = d(D, A)$ yang kedua adalah :

$$\begin{aligned} &= d(A, a) + d(a, j) + d(j, i) + d(i, h) + d(h, g) \\ &\quad + d(g, C) \\ &= 0,172 + 0,787 + 0,4 + 0,095 + 0,265 + 0,07 \\ &= 1,9 \end{aligned}$$

Dari kedua jalur $d(A, D) = d(D, A)$ yang sudah dihitung dapat diketahui jalur terpendeknya adalah :

$$d(A, D) = d(D, A) = 1,5 \quad (3.3)$$

Selanjutnya untuk menemukan jarak dari titik A ke titik E dengan melalui beberapa titik bantuan yang dapat dihitung sebagai berikut:

$$d(i, E) = 0,429$$

$$d(l, k) = 0,850$$

$$d(k, E) = 0,962$$

$$d(k, j) = 0,421$$

jalur $d(A, E) = d(E, A)$ yang pertama adalah :

$$= d(A, a) + d(a, j) + d(j, i) + d(i, E)$$

$$= 0,172 + 0,787 + 0,4 + 0,429$$

$$= 1,8$$

jalur $d(A, E) = d(E, A)$ yang kedua adalah :

$$= d(A, a) + d(a, l) + d(l, k) + d(k, E)$$

$$= 0,172 + 0,85 + 0,85 + 0,962$$

$$= 2,8$$

jalur $d(A, E) = d(E, A)$ yang ketiga adalah :

$$= d(A, a) + d(a, l) + d(l, k) + d(k, j) + d(j, i) + d(i, E)$$

$$= 0,172 + 0,85 + 0,85 + 0,421 + 0,4 + 0,429$$

$$= 3,1$$

Dari ketiga jalur $d(A, E) = d(E, A)$ yang sudah dihitung dapat diketahui jalur terpendeknya adalah :

$$d(A, E) = d(E, A) = 1,8 \quad (3.4)$$

Selanjutnya untuk menemukan jarak dari titik A ke titik F dengan melalui beberapa titik bantuan yang dapat dihitung sebagai berikut:

$$d(a, l) = 0,85$$

$$d(l, F) = 1,12$$

jalur $d(A, F) = d(F, A)$ yang pertama adalah :

$$\begin{aligned} &= d(A, a) + d(a, l) + d(l, F) \\ &= 0,172 + 0,85 + 1,12 \\ &= 2,1 \end{aligned}$$

Dari jalur $d(A, F) = d(F, A)$ yang sudah dihitung dapat diketahui jalur terpendeknya adalah :

$$d(A, F) = d(F, A) = 2,1 \quad (3.5)$$

Selanjutnya untuk menemukan jarak dari titik B ke titik C dengan melalui beberapa titik bantuan yang dapat dihitung sebagai berikut:

$$d(e, f) = 0,652$$

jalur $d(B, C) = d(C, B)$ yang pertama adalah :

$$\begin{aligned} &= d(B, c) + d(c, e) + d(e, C) \\ &= 0,2 + 0,327 + 0,59 \\ &= 1,1 \end{aligned}$$

jalur $d(B, C) = d(C, B)$ yang kedua adalah :

$$\begin{aligned} &= d(B, f) + d(f, C) \\ &= 0,612 + 0,652 \\ &= 1,3 \end{aligned}$$

Dari kedua jalur $d(B, C) = d(C, B)$ yang sudah dihitung dapat diketahui jalur terpendeknya adalah :

$$d(B, C) = d(C, B) = 1,1 \quad (3.6)$$

Selanjutnya untuk menemukan jarak dari titik B ke titik D dengan melalui beberapa titik bantuan yang dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{jalur } d(B, D) &= d(D, B) \text{ yang pertama adalah :} \\ &= d(B, c) + d(c, g) + d(g, D) \\ &= 0,2 + 0,485 + 0,07 \\ &= 0,755\end{aligned}$$

Dari jalur $d(B, D) = d(D, B)$ yang sudah dihitung dapat diketahui jalur terpendeknya adalah :

$$d(B, D) = d(D, B) = 0,75 \quad (3.7)$$

Selanjutnya untuk menemukan jarak dari titik B ke titik E dengan melalui beberapa titik bantuan yang dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}d(g, h) &= 0,265 \\ d(h, i) &= 0,095\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{jalur } d(B, E) &= d(E, B) \text{ yang pertama adalah :} \\ &= d(B, c) + d(c, g) + d(g, h) + d(h, i) + d(i, E) \\ &= 0,2 + 0,474 + 0,265 + 0,095 + 0,429 \\ &= 1,463\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{jalur } d(B, E) &= d(E, B) \text{ yang kedua adalah :} \\ &= d(B, c) + d(c, b) + d(b, a) + d(a, j) + d(j, i) \\ &\quad + d(i, E) \\ &= 0,2 + 0,2 + 0,523 + 0,787 + 0,4 + 0,429 \\ &= 2,5\end{aligned}$$

Dari kedua jalur $d(B, E) = d(E, B)$ yang sudah dihitung dapat diketahui jalur terpendeknya adalah :

$$d(B, E) = d(E, B) = 1,4 \quad (3.8)$$

Selanjutnya untuk menemukan jarak dari titik B ke titik F dengan melalui beberapa titik bantuan yang dapat dihitung sebagai berikut:

jalur $d(B, F) = d(F, B)$ adalah :

$$\begin{aligned} &= d(B, c) + d(c, b) + d(b, a) + d(a, l) + d(l, F) \\ &= 0,2 + 0,2 + 0,523 + 0,85 + 1,12 \\ &= 2,993 \end{aligned}$$

Dari jalur $d(B, F) = d(F, B)$ yang sudah dihitung dapat diketahui jalur terpendeknya adalah:

$$d(B, F) = d(F, B) = 3 \quad (3.9)$$

Selanjutnya untuk menemukan jarak dari titik C ke titik D dengan melalui beberapa titik bantuan yang dapat dihitung sebagai berikut:

jalur $d(C, D) = d(D, C)$ yang pertama adalah :

$$\begin{aligned} &= d(D, g) + d(g, c) + d(c, e) + d(e, C) \\ &= 0,07 + 0,474 + 0,327 + 0,59 \\ &= 1,5 \end{aligned}$$

jalur $d(C, D) = d(D, C)$ yang kedua adalah :

$$\begin{aligned} &= d(D, g) + d(g, C) \\ &= 0,07 + 1,6 \\ &= 1,67 \end{aligned}$$

Dari kedua jalur $d(C, D) = d(D, C)$ yang sudah dihitung dapat diketahui jalur terpendeknya adalah :

$$d(C, D) = d(D, C) = 1,5 \quad (3.10)$$

Selanjutnya untuk menemukan jarak dari titik C ke titik E dengan melalui beberapa titik bantuan yang dapat dihitung sebagai berikut:

jalur $d(C, E) = d(E, C)$ yang pertama adalah :

$$\begin{aligned} &= d(C, h) + d(h, i) + d(i, E) \\ &= 1,086 + 0,95 + 0,429 \\ &= 2,21 \end{aligned}$$

jalur $d(C, E) = d(E, C)$ yang kedua adalah :

$$\begin{aligned} &= d(C, g) + d(c, h) + d(h, i) + d(i, E) \\ &= 1,6 + 0,265 + 0,95 + 0,429 \\ &= 3,2 \end{aligned}$$

Dari jalur $d(C, E) = d(E, C)$ yang sudah dihitung dapat diketahui jalur terpendeknya adalah:

$$d(C, E) = d(E, C) = 2,2 \quad (3.11)$$

Selanjutnya untuk menemukan jarak dari titik C ke titik F dengan melalui beberapa titik bantuan yang dapat dihitung sebagai berikut:

jalur $d(C, F) = d(F, C)$ adalah :

$$\begin{aligned} &= d(C, e) + d(e, c) + d(c, b) + d(b, a) + d(a, l) \\ &\quad + d(l, F) \\ &= 0,59 + 0,327 + 0,2 + 0,523 + 0,85 + 1,12 \\ &= 3,65 \end{aligned}$$

Dari jalur $d(C, F) = d(F, C)$ yang sudah dihitung dapat diketahui jalur terpendeknya adalah :

$$d(C, F) = d(F, C) = 3,7 \quad (3.12)$$

Selanjutnya untuk menemukan jarak dari titik D ke titik E dengan melalui beberapa titik bantuan yang dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{jalur } d(D, E) &= d(E, D) \text{ yang pertama adalah :} \\
 &= d(D, g) + d(g, h) + d(h, i) + d(i, E) \\
 &= 0,07 + 0,265 + 0,095 + 0,429 \\
 &= 0,859
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{jalur } d(D, E) &= d(E, D) \text{ yang kedua adalah :} \\
 &= d(D, j) + d(j, i) + d(i, E) \\
 &= 0,25 + 0,4 + 0,429 \\
 &= 1,1
 \end{aligned}$$

Dari kedua jalur $d(D, E) = d(E, D)$ yang sudah dihitung dapat diketahui jalur terpendeknya adalah :

$$d(D, E) = d(E, D) = 0,85 \quad (3.13)$$

Selanjutnya untuk menemukan jarak dari titik D ke titik F dengan melalui beberapa titik bantuan yang dapat dihitung sebagai berikut:

$$d(D, j) = 250$$

$$\begin{aligned}
 \text{jalur } d(D, F) &= d(F, D) \text{ yang pertama adalah :} \\
 &= d(D, j) + d(j, k) + d(k, l) + d(l, m) + d(m, F) \\
 &= 0,25 + 0,421 + 0,85 + 0,9 + 0,22 \\
 &= 2,461
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{jalur } d(D, F) &= d(F, D) \text{ yang kedua adalah :} \\
 &= d(D, g) + d(g, c) + d(c, b) + d(b, a) + d(a, l) \\
 &\quad + d(l, m) + d(m, F) \\
 &= 0,07 + 0,474 + 0,2 + 0,523 + 0,85 + 0,9 + 0,22
 \end{aligned}$$

$$= 3,3$$

Dari kedua jalur $d(D, F) = d(F, D)$ yang sudah dihitung dapat diketahui jalur terpendeknya adalah:

$$d(D, F) = d(F, D) = 2,5 \quad (3.14)$$

Selanjutnya untuk menemukan jarak dari titik E ke titik F dengan melalui beberapa titik bantuan yang dapat dihitung sebagai berikut:

jalur $d(E, F) = d(F, E)$ adalah :

$$= d(F, l) + d(l, k) + d(k, E)$$

$$= 1,12 + 0,850 + 0,962$$

$$= 2,23$$

jalur $d(E, F) = d(F, E)$ adalah :

$$= d(F, l) + d(l, k) + d(k, j) + d(j, i) + d(i, E)$$

$$= 1,12 + 0,850 + 0,421 + 0,4 + 0,429$$

$$= 3,2$$

Dari jalur $d(E, F) = d(F, E)$ yang sudah dihitung dapat diketahui jalur terpendeknya adalah:

$$d(E, F) = d(F, E) = 2,2 \quad (3.15)$$

Dari persamaan (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.6), (3.7), (3.8), (3.9), (3.10), (3.11), (3.12), (3.13), (3.14), dan (3.15) jarak antar titik dapat dituliskan dalam bentuk tabel sebagai berikut:

Tabel 3.1 Jarak Antar Titik

	A	B	C	D	E	F
A	0	1,1	1,8	1,5	1,8	2,1
B	1,1	0	1,1	0,75	1,4	3,0
C	1,8	1,1	0	1,5	2,2	3,7
D	1,5	0,75	1,5	0	0,85	2,5
E	1,8	1,4	2,2	0,85	0	2,2
F	2,1	3,0	3,7	2,5	2,2	0

3.1.3 Jalur Perjalanan Semut

Penulis mengambil titik awal dan akhir adalah Perpustakaan Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, dengan melewati beberapa titik perpustakaan kampus di kota Malang dan tujuan kembali ke tempat awal. Untuk menentukan rute perjalanan semut dengan cara mencari sirkuit hamilton di dalam graf lengkap dengan n vertek adalah $\frac{(n-1)!}{2}$, sehingga pada Gambar 3.1, graf memiliki $\frac{(6-1)!}{2} = 60$ sirkuit Hamilton sebagai berikut:

C1	=	(A,B,C,D,E,F,A)	=	(A,F,E,D,C,B,A)
C2	=	(A,B,C,D,F,E,A)	=	(A,E,F,D,C,B,A)
C3	=	(A,B,C,E,D,F,A)	=	(A,F,D,E,C,B,A)
C4	=	(A,B,C,E,F,D,A)	=	(A,D,F,E,C,B,A)
C5	=	(A,B,C,F,D,E,A)	=	(A,E,D,F,C,B,A)
C6	=	(A,B,C,F,E,D,A)	=	(A,D,E,F,C,B,A)
C7	=	(A,B,D,C,E,F,A)	=	(A,F,E,C,D,B,A)
C8	=	(A,B,D,C,F,E,A)	=	(A,E,F,C,D,B,A)
C9	=	(A,B,D,E,C,F,A)	=	(A,F,C,E,D,B,A)
C10	=	(A,B,D,E,F,C,A)	=	(A,C,F,E,D,B,A)
C11	=	(A,B,D,F,C,E,A)	=	(A,E,C,F,D,B,A)
C12	=	(A,B,D,F,E,C,A)	=	(A,C,E,F,D,B,A)
C13	=	(A,B,E,C,D,F,A)	=	(A,F,D,C,E,B,A)
C14	=	(A,B,E,C,F,D,A)	=	(A,D,F,C,E,B,A)
C15	=	(A,B,E,D,C,F,A)	=	(A,F,C,D,E,B,A)
C16	=	(A,B,E,D,F,C,A)	=	(A,C,F,D,E,B,A)
C17	=	(A,B,E,F,C,D,A)	=	(A,D,C,F,E,B,A)
C18	=	(A,B,E,F,D,C,A)	=	(A,C,D,F,E,B,A)
C19	=	(A,B,F,C,D,E,A)	=	(A,E,D,C,F,B,A)
C20	=	(A,B,F,C,E,D,A)	=	(A,D,E,C,F,B,A)
C21	=	(A,B,F,D,C,E,A)	=	(A,E,C,D,F,B,A)
C22	=	(A,B,F,D,E,C,A)	=	(A,C,E,D,F,B,A)
C23	=	(A,B,F,E,C,D,A)	=	(A,D,C,E,F,B,A)
C24	=	(A,B,F,E,D,C,A)	=	(A,C,D,E,F,B,A)
C25	=	(A,C,B,D,E,F,A)	=	(A,F,E,D,B,C,A)
C26	=	(A,C,B,D,F,E,A)	=	(A,E,F,D,B,C,A)
C27	=	(A,C,B,E,D,F,A)	=	(A,F,D,E,B,C,A)
C28	=	(A,C,B,E,F,D,A)	=	(A,D,F,E,B,C,A)
C29	=	(A,C,B,F,D,E,A)	=	(A,E,D,F,B,C,A)
C30	=	(A,C,B,F,E,D,A)	=	(A,D,E,F,B,C,A)
C31	=	(A,C,D,B,E,F,A)	=	(A,F,E,B,D,C,A)
C32	=	(A,C,D,B,F,E,A)	=	(A,E,F,B,D,C,A)
C33	=	(A,C,D,E,B,F,A)	=	(A,F,B,E,D,C,A)
C34	=	(A,C,D,F,B,E,A)	=	(A,E,B,F,D,C,A)
C35	=	(A,C,E,B,D,F,A)	=	(A,F,D,B,E,C,A)
C36	=	(A,C,E,B,F,D,A)	=	(A,D,F,B,E,C,A)

(3.16)

C37	=	(A,C,E,D,B,F,A)	=	(A,F,B,D,E,C,A)
C38	=	(A,C,E,F,B,D,A)	=	(A,D,B,F,E,C,A)
C39	=	(A,C,F,B,D,E,A)	=	(A,E,D,B,F,C,A)
C40	=	(A,C,F,B,E,D,A)	=	(A,D,E,B,F,C,A)
C41	=	(A,C,F,D,B,E,A)	=	(A,E,B,D,F,C,A)
C42	=	(A,C,F,E,B,D,A)	=	(A,D,B,E,F,C,A)
C43	=	(A,D,B,C,E,F,A)	=	(A,F,E,C,B,D,A)
C44	=	(A,D,B,C,F,E,A)	=	(A,E,F,C,B,D,A)
C45	=	(A,D,B,E,C,F,A)	=	(A,F,C,E,B,D,A)
C46	=	(A,D,B,F,C,E,A)	=	(A,E,C,F,B,D,A)
C47	=	(A,D,C,B,E,F,A)	=	(A,F,E,B,C,D,A)
C48	=	(A,D,C,B,F,E,A)	=	(A,E,F,B,C,D,A)
C49	=	(A,D,C,E,B,F,A)	=	(A,F,B,E,C,D,A)
C50	=	(A,D,C,F,B,E,A)	=	(A,E,B,F,C,D,A)
C51	=	(A,D,E,B,C,F,A)	=	(A,F,C,B,E,D,A)
C52	=	(A,D,E,C,B,F,A)	=	(A,F,B,C,E,D,A)
C53	=	(A,D,F,B,C,E,A)	=	(A,E,C,B,F,D,A)
C54	=	(A,D,F,C,B,E,A)	=	(A,E,B,C,F,D,A)
C55	=	(A,E,B,C,D,F,A)	=	(A,F,D,C,B,E,A)
C56	=	(A,E,B,D,C,F,A)	=	(A,F,C,D,B,E,A)
C57	=	(A,E,C,B,D,F,A)	=	(A,F,D,B,C,E,A)
C58	=	(A,E,C,D,B,F,A)	=	(A,F,B,D,C,E,A)
C59	=	(A,E,D,B,C,F,A)	=	(A,F,C,B,D,E,A)
C60	=	(A,E,D,C,B,F,A)	=	(A,F,B,C,D,E,A)

3.1.4 Panjang Jalur Perjalanan Semut (C^k)

Setelah mengetahui semua jalur yang dilalui semut kemudian dihitung panjang jalur yang dilalui semut(C^k) sebagai berikut:

Rute semut ke-1

$$\begin{aligned}
 C^1 &= \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} + \overrightarrow{CD} + \overrightarrow{DE} + \overrightarrow{EF} + \overrightarrow{FA} \\
 &= 1,1 + 1,1 + 1,5 + 0,85 + 2,2 + 2,1 \\
 &= 8,85
 \end{aligned} \tag{3.17}$$

Rute semut ke-2

$$\begin{aligned}
 C^2 &= \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} + \overrightarrow{CD} + \overrightarrow{DF} + \overrightarrow{FE} + \overrightarrow{EA} \\
 &= 1,1 + 1,1 + 1,5 + 2,5 + 2,2 + 1,8 \\
 &= 10,2
 \end{aligned} \tag{3.18}$$

Rute semut ke-3

$$C^3 = \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} + \overrightarrow{CE} + \overrightarrow{ED} + \overrightarrow{DF} + \overrightarrow{FA} \tag{3.19}$$

$$= 1,1 + 1,1 + 2,2 + 0,85 + 2,5 + 2,1$$

$$= 9,85$$

Rute semut ke-4

$$C^4 = \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} + \overrightarrow{CE} + \overrightarrow{EF} + \overrightarrow{FD} + \overrightarrow{DA} \quad (3.20)$$

$$= 1,1 + 1,1 + 2,2 + 2,2 + 2,5 + 1,5$$

$$= 10,6$$

Rute semut ke-5

$$C^5 = \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} + \overrightarrow{CF} + \overrightarrow{FD} + \overrightarrow{DE} + \overrightarrow{EA} \quad (3.21)$$

$$= 1,1 + 1,1 + 3,7 + 2,5 + 0,85 + 1,8$$

$$= 11,05$$

Rute semut ke-6

$$C^6 = \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BC} + \overrightarrow{CE} + \overrightarrow{FE} + \overrightarrow{ED} + \overrightarrow{DA} \quad (3.22)$$

$$= 1,1 + 1,1 + 3,7 + 2,2 + 0,85 + 1,5$$

$$= 10,45$$

Rute semut ke-7

$$C^7 = \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BD} + \overrightarrow{DC} + \overrightarrow{CE} + \overrightarrow{EF} + \overrightarrow{FA} \quad (3.23)$$

$$= 1,1 + 0,75 + 1,5 + 2,2 + 2,2 + 2,1$$

$$= 9,85$$

Rute semut ke-8

$$C^8 = \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BD} + \overrightarrow{DC} + \overrightarrow{CF} + \overrightarrow{FE} + \overrightarrow{EA} \quad (3.24)$$

$$= 1,1 + 0,75 + 1,5 + 3,7 + 2,2 + 1,8$$

$$= 11,05$$

Rute semut ke-9

$$C^9 = \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BD} + \overrightarrow{DE} + \overrightarrow{EC} + \overrightarrow{CF} + \overrightarrow{FA} \quad (3.25)$$

$$= 1,1 + 0,75 + 0,85 + 2,2 + 3,7 + 2,1$$

$$= 10,7$$

Rute semut ke-10

$$C^{10} = \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BD} + \overrightarrow{DE} + \overrightarrow{EF} + \overrightarrow{FC} + \overrightarrow{CA} \quad (3.26)$$

$$= 1,1 + 0,75 + 0,85 + 2,2 + 3,7 + 1,8$$

$$= 10,4$$

Rute semut ke-11

$$C^{11} = \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BD} + \overrightarrow{DF} + \overrightarrow{FC} + \overrightarrow{CE} + \overrightarrow{EA} \quad (3.27)$$

$$= 1,1 + 0,75 + 2,5 + 3,7 + 2,2 + 1,8$$

$$= 12,05$$

Rute semut ke-12

$$C^{12} = \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BD} + \overrightarrow{DF} + \overrightarrow{FE} + \overrightarrow{EC} + \overrightarrow{CA} \quad (3.28)$$

$$= 1,1 + 0,75 + 2,5 + 2,2 + 2,2 + 1,8$$

$$= 10,55$$

Rute semut ke-13

$$C^{13} = \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BE} + \overrightarrow{EC} + \overrightarrow{CD} + \overrightarrow{DF} + \overrightarrow{FA} \quad (3.29)$$

$$= 1,1 + 1,4 + 2,2 + 1,5 + 2,5 + 2,1$$

$$= 10,8$$

Rute semut ke-14

$$C^{14} = \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BE} + \overrightarrow{EC} + \overrightarrow{CF} + \overrightarrow{FD} + \overrightarrow{DA} \quad (3.30)$$

$$= 1,1 + 1,4 + 2,2 + 3,7 + 2,5 + 1,5$$

$$= 12,4$$

Rute semut ke-15

$$C^{15} = \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BE} + \overrightarrow{ED} + \overrightarrow{DC} + \overrightarrow{CF} + \overrightarrow{FA} \quad (3.31)$$

$$= 1,1 + 1,4 + 0,85 + 1,5 + 3,7 + 2,1$$

$$= 10,15$$

Rute semut ke-16

$$\begin{aligned} C^{16} &= \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BE} + \overrightarrow{ED} + \overrightarrow{DF} + \overrightarrow{FC} + \overrightarrow{CA} \\ &= 1,1 + 1,4 + 0,85 + 2,5 + 3,7 + 1,8 \\ &= 11,35 \end{aligned} \quad (3.32)$$

Rute semut ke-17

$$\begin{aligned} C^{17} &= \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BE} + \overrightarrow{EF} + \overrightarrow{FC} + \overrightarrow{CD} + \overrightarrow{DA} \\ &= 1,1 + 1,4 + 2,2 + 3,7 + 1,5 + 1,5 \\ &= 11,4 \end{aligned} \quad (3.33)$$

Rute semut ke-18

$$\begin{aligned} C^{18} &= \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BE} + \overrightarrow{EF} + \overrightarrow{FD} + \overrightarrow{DC} + \overrightarrow{CA} \\ &= 1,1 + 1,4 + 2,2 + 2,5 + 1,5 + 1,8 \\ &= 10,5 \end{aligned} \quad (3.34)$$

Rute semut ke-19

$$\begin{aligned} C^{19} &= \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BF} + \overrightarrow{FC} + \overrightarrow{CD} + \overrightarrow{DE} + \overrightarrow{EA} \\ &= 1,1 + 3 + 3,7 + 1,5 + 0,85 + 1,8 \\ &= 11,95 \end{aligned} \quad (3.35)$$

Rute semut ke-20

$$\begin{aligned} C^{20} &= \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BF} + \overrightarrow{FC} + \overrightarrow{CE} + \overrightarrow{ED} + \overrightarrow{DA} \\ &= 1,1 + 3 + 3,7 + 2,2 + 0,85 + 1,5 \\ &= 12,35 \end{aligned} \quad (3.36)$$

Rute semut ke-21

$$\begin{aligned} C^{21} &= \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BF} + \overrightarrow{FD} + \overrightarrow{DC} + \overrightarrow{CE} + \overrightarrow{EA} \\ &= 1,1 + 3 + 2,5 + 1,5 + 2,2 + 1,8 \\ &= 12,1 \end{aligned} \quad (3.37)$$

Rute semut ke-22

$$\begin{aligned}
 C^{22} &= \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BF} + \overrightarrow{FD} + \overrightarrow{DE} + \overrightarrow{EC} + \overrightarrow{CA} \\
 &= 1,1 + 3 + 2,5 + 0,85 + 2,2 + 1,8 \\
 &= 12,1
 \end{aligned}
 \tag{3.38}$$

Rute semut ke-23

$$\begin{aligned}
 C^{23} &= \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BF} + \overrightarrow{FE} + \overrightarrow{EC} + \overrightarrow{CD} + \overrightarrow{DA} \\
 &= 1,1 + 3 + 2,2 + 2,2 + 1,5 + 1,5 \\
 &= 11,5
 \end{aligned}
 \tag{3.39}$$

Rute semut ke-24

$$\begin{aligned}
 C^{24} &= \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BF} + \overrightarrow{FE} + \overrightarrow{ED} + \overrightarrow{DC} + \overrightarrow{CA} \\
 &= 1,1 + 3 + 2,2 + 0,85 + 1,5 + 1,8 \\
 &= 10,45
 \end{aligned}
 \tag{3.40}$$

Rute semut ke-25

$$\begin{aligned}
 C^{25} &= \overrightarrow{AC} + \overrightarrow{CB} + \overrightarrow{BD} + \overrightarrow{DE} + \overrightarrow{EF} + \overrightarrow{FA} \\
 &= 1,8 + 1,1 + 0,75 + 0,85 + 2,2 + 2,1 \\
 &= 8,8
 \end{aligned}
 \tag{3.41}$$

Rute semut ke-26

$$\begin{aligned}
 C^{26} &= \overrightarrow{AC} + \overrightarrow{CB} + \overrightarrow{BD} + \overrightarrow{DF} + \overrightarrow{FE} + \overrightarrow{EA} \\
 &= 1,8 + 1,1 + 0,75 + 2,5 + 2,2 + 1,8 \\
 &= 10,15
 \end{aligned}
 \tag{3.42}$$

Rute semut ke-27

$$\begin{aligned}
 C^{27} &= \overrightarrow{AC} + \overrightarrow{CB} + \overrightarrow{BE} + \overrightarrow{ED} + \overrightarrow{DF} + \overrightarrow{FA} \\
 &= 1,8 + 1,1 + 1,4 + 0,85 + 2,5 + 2,1 \\
 &= 9,75
 \end{aligned}
 \tag{3.43}$$

Rute semut ke-28

$$C^{28} = \overrightarrow{AC} + \overrightarrow{CB} + \overrightarrow{BE} + \overrightarrow{EF} + \overrightarrow{FD} + \overrightarrow{DA}
 \tag{3.44}$$

$$= 1,8 + 1,1 + 1,4 + 2,2 + 2,5 + 1,5$$

$$= 10,5$$

Rute semut ke-29

$$C^{29} = \overrightarrow{AC} + \overrightarrow{CB} + \overrightarrow{BF} + \overrightarrow{FD} + \overrightarrow{DE} + \overrightarrow{EA} \quad (3.45)$$

$$= 1,8 + 1,1 + 3 + 2,5 + 0,85 + 1,8$$

$$= 11,05$$

Rute semut ke-30

$$C^{30} = \overrightarrow{AC} + \overrightarrow{CB} + \overrightarrow{BF} + \overrightarrow{FE} + \overrightarrow{ED} + \overrightarrow{DA} \quad (3.46)$$

$$= 1,8 + 1,1 + 3 + 2,2 + 0,85 + 1,5$$

$$= 10,45$$

Rute semut ke-31

$$C^{31} = \overrightarrow{AC} + \overrightarrow{CD} + \overrightarrow{DB} + \overrightarrow{BE} + \overrightarrow{EF} + \overrightarrow{FA} \quad (3.47)$$

$$= 1,8 + 1,5 + 0,75 + 1,4 + 2,2 + 2,1$$

$$= 9,75$$

Rute semut ke-32

$$C^{32} = \overrightarrow{AC} + \overrightarrow{CD} + \overrightarrow{DB} + \overrightarrow{BF} + \overrightarrow{FE} + \overrightarrow{EA} \quad (3.48)$$

$$= 1,8 + 1,5 + 0,75 + 3 + 2,2 + 1,8$$

$$= 11,05$$

Rute semut ke-33

$$C^{33} = \overrightarrow{AC} + \overrightarrow{CD} + \overrightarrow{DE} + \overrightarrow{EB} + \overrightarrow{BF} + \overrightarrow{FA} \quad (3.49)$$

$$= 1,8 + 1,5 + 0,85 + 1,4 + 3 + 2,1$$

$$= 10,65$$

Rute semut ke-34

$$C^{34} = \overrightarrow{AC} + \overrightarrow{CD} + \overrightarrow{DF} + \overrightarrow{FB} + \overrightarrow{BE} + \overrightarrow{EA} \quad (3.50)$$

$$= 1,8 + 1,5 + 2,5 + 3 + 1,4 + 1,8$$

$$= 12$$

Rute semut ke-35

$$\begin{aligned} C^{35} &= \overrightarrow{AC} + \overrightarrow{CE} + \overrightarrow{EB} + \overrightarrow{BD} + \overrightarrow{DF} + \overrightarrow{FA} \\ &= 1,8 + 2,2 + 1,4 + 0,75 + 2,5 + 2,1 \\ &= 10,75 \end{aligned} \quad (3.51)$$

Rute semut ke-36

$$\begin{aligned} C^{36} &= \overrightarrow{AC} + \overrightarrow{CE} + \overrightarrow{EB} + \overrightarrow{BF} + \overrightarrow{FD} + \overrightarrow{DA} \\ &= 1,8 + 2,2 + 1,4 + 3 + 2,5 + 1,5 \\ &= 12,4 \end{aligned} \quad (3.52)$$

Rute semut ke-37

$$\begin{aligned} C^{37} &= \overrightarrow{AC} + \overrightarrow{CE} + \overrightarrow{ED} + \overrightarrow{DB} + \overrightarrow{BF} + \overrightarrow{FA} \\ &= 1,8 + 2,2 + 0,85 + 0,75 + 3 + 2,1 \\ &= 10,7 \end{aligned} \quad (3.53)$$

Rute semut ke-38

$$\begin{aligned} C^{38} &= \overrightarrow{AC} + \overrightarrow{CE} + \overrightarrow{EF} + \overrightarrow{FB} + \overrightarrow{BD} + \overrightarrow{DA} \\ &= 1,8 + 2,2 + 2,2 + 3 + 0,75 + 1,5 \\ &= 11,45 \end{aligned} \quad (3.54)$$

Rute semut ke-39

$$\begin{aligned} C^{39} &= \overrightarrow{AC} + \overrightarrow{CF} + \overrightarrow{FB} + \overrightarrow{BD} + \overrightarrow{DE} + \overrightarrow{EA} \\ &= 1,8 + 3,7 + 3 + 0,75 + 0,85 + 1,8 \\ &= 11,9 \end{aligned} \quad (3.55)$$

Rute semut ke-40

$$\begin{aligned} C^{40} &= \overrightarrow{AC} + \overrightarrow{CF} + \overrightarrow{FB} + \overrightarrow{BE} + \overrightarrow{ED} + \overrightarrow{DA} \\ &= 1,8 + 5,5 + 3 + 1,4 + 0,85 + 1,5 \\ &= 12,25 \end{aligned} \quad (3.56)$$

Rute semut ke-41

$$\begin{aligned} C^{41} &= \overrightarrow{AC} + \overrightarrow{CF} + \overrightarrow{FD} + \overrightarrow{DB} + \overrightarrow{BE} + \overrightarrow{EA} \\ &= 1,8 + 3,7 + 2,5 + 0,75 + 1,4 + 1,8 \\ &= 11,95 \end{aligned} \quad (3.57)$$

Rute semut ke-42

$$\begin{aligned} C^{42} &= \overrightarrow{AC} + \overrightarrow{CF} + \overrightarrow{FE} + \overrightarrow{EB} + \overrightarrow{BD} + \overrightarrow{DA} \\ &= 1,8 + 3,7 + 2,2 + 1,4 + 0,75 + 1,5 \\ &= 11,35 \end{aligned} \quad (3.58)$$

Rute semut ke-43

$$\begin{aligned} C^{43} &= \overrightarrow{AD} + \overrightarrow{DB} + \overrightarrow{BC} + \overrightarrow{CE} + \overrightarrow{EF} + \overrightarrow{FA} \\ &= 1,5 + 0,75 + 1,1 + 2,2 + 2,2 + 2,1 \\ &= 9,85 \end{aligned} \quad (3.59)$$

Rute semut ke-44

$$\begin{aligned} C^{44} &= \overrightarrow{AD} + \overrightarrow{DB} + \overrightarrow{BC} + \overrightarrow{CF} + \overrightarrow{FE} + \overrightarrow{EA} \\ &= 1,5 + 0,75 + 1,1 + 3,7 + 2,2 + 1,8 \\ &= 11,05 \end{aligned} \quad (3.60)$$

Rute semut ke-45

$$\begin{aligned} C^{45} &= \overrightarrow{AD} + \overrightarrow{DB} + \overrightarrow{BE} + \overrightarrow{EC} + \overrightarrow{CF} + \overrightarrow{FA} \\ &= 1,5 + 0,75 + 1,4 + 2,2 + 3,7 + 2,1 \\ &= 11,65 \end{aligned} \quad (3.61)$$

Rute semut ke-46

$$\begin{aligned} C^{46} &= \overrightarrow{AD} + \overrightarrow{DB} + \overrightarrow{BF} + \overrightarrow{FC} + \overrightarrow{CE} + \overrightarrow{CA} \\ &= 1,5 + 0,75 + 3 + 3,7 + 2,2 + 1,8 \\ &= 12,95 \end{aligned} \quad (3.62)$$

Rute semut ke-47

$$\begin{aligned}
 C^{47} &= \overrightarrow{AD} + \overrightarrow{DC} + \overrightarrow{CB} + \overrightarrow{BE} + \overrightarrow{EF} + \overrightarrow{FA} \\
 &= 1,5 + 1,5 + 1,1 + 1,4 + 2,2 + 2,1 \\
 &= 9,8
 \end{aligned}
 \tag{3.63}$$

Rute semut ke-48

$$\begin{aligned}
 C^{48} &= \overrightarrow{AD} + \overrightarrow{DC} + \overrightarrow{CB} + \overrightarrow{BF} + \overrightarrow{FE} + \overrightarrow{EA} \\
 &= 1,5 + 1,5 + 1,1 + 3 + 2,2 + 1,8 \\
 &= 11,1
 \end{aligned}
 \tag{3.64}$$

Rute semut ke-49

$$\begin{aligned}
 C^{49} &= \overrightarrow{AD} + \overrightarrow{DC} + \overrightarrow{CE} + \overrightarrow{EB} + \overrightarrow{BF} + \overrightarrow{FA} \\
 &= 1,5 + 1,5 + 2,2 + 1,4 + 3 + 2,1 \\
 &= 11,7
 \end{aligned}
 \tag{3.65}$$

Rute semut ke-50

$$\begin{aligned}
 C^{51} &= \overrightarrow{AD} + \overrightarrow{DC} + \overrightarrow{CF} + \overrightarrow{FB} + \overrightarrow{BE} + \overrightarrow{EA} \\
 &= 1,5 + 1,5 + 3,7 + 3 + 1,4 + 1,8 \\
 &= 12,9
 \end{aligned}
 \tag{3.66}$$

Rute semut ke-51

$$\begin{aligned}
 C^{51} &= \overrightarrow{AD} + \overrightarrow{DE} + \overrightarrow{EB} + \overrightarrow{BC} + \overrightarrow{CF} + \overrightarrow{FA} \\
 &= 1,5 + 0,85 + 1,4 + 1,1 + 3,7 + 2,1 \\
 &= 10,65
 \end{aligned}
 \tag{3.67}$$

Rute semut ke-52

$$\begin{aligned}
 C^{35} &= \overrightarrow{AD} + \overrightarrow{DE} + \overrightarrow{EC} + \overrightarrow{CB} + \overrightarrow{BF} + \overrightarrow{FA} \\
 &= 1,5 + 0,85 + 2,2 + 1,1 + 3 + 2,1 \\
 &= 10,75
 \end{aligned}
 \tag{3.68}$$

Rute semut ke-53

$$C^{53} = \overrightarrow{AD} + \overrightarrow{DF} + \overrightarrow{FB} + \overrightarrow{BC} + \overrightarrow{CE} + \overrightarrow{EA}
 \tag{3.69}$$

$$= 1,5 + 2,5 + 3 + 1,1 + 2,2 + 1,8$$

$$= 12,1$$

Rute semut ke-54

$$C^{54} = \overrightarrow{AD} + \overrightarrow{DF} + \overrightarrow{FC} + \overrightarrow{CB} + \overrightarrow{BE} + \overrightarrow{EA} \quad (3.70)$$

$$= 1,5 + 2,5 + 3,7 + 1,1 + 1,4 + 1,8$$

$$= 12$$

Rute semut ke-55

$$C^{55} = \overrightarrow{AE} + \overrightarrow{EB} + \overrightarrow{BC} + \overrightarrow{CD} + \overrightarrow{DF} + \overrightarrow{FA} \quad (3.71)$$

$$= 1,8 + 1,4 + 1,1 + 1,5 + 2,5 + 2,1$$

$$= 10,4$$

Rute semut ke-56

$$C^{56} = \overrightarrow{AE} + \overrightarrow{EB} + \overrightarrow{BD} + \overrightarrow{DC} + \overrightarrow{CF} + \overrightarrow{FA} \quad (3.72)$$

$$= 1,8 + 1,4 + 0,75 + 1,5 + 3,7 + 2,1$$

$$= 11,25$$

Rute semut ke-57

$$C^{57} = \overrightarrow{AE} + \overrightarrow{EC} + \overrightarrow{CB} + \overrightarrow{BD} + \overrightarrow{DF} + \overrightarrow{FA} \quad (3.73)$$

$$= 1,8 + 2,2 + 1,1 + 0,75 + 2,5 + 2,1$$

$$= 10,45$$

Rute semut ke-58

$$C^{58} = \overrightarrow{AE} + \overrightarrow{EC} + \overrightarrow{CD} + \overrightarrow{DB} + \overrightarrow{BF} + \overrightarrow{FA} \quad (3.74)$$

$$= 1,8 + 2,2 + 1,5 + 0,75 + 3 + 2,1$$

$$= 11,35$$

Rute semut ke-59

$$C^{59} = \overrightarrow{AE} + \overrightarrow{ED} + \overrightarrow{DB} + \overrightarrow{BC} + \overrightarrow{CF} + \overrightarrow{FA} \quad (3.75)$$

$$= 1,8 + 0,85 + 0,75 + 1,1 + 3,7 + 2,1$$

$$= 10,3$$

Rute semut ke-60

$$C^{60} = \overrightarrow{AE} + \overrightarrow{ED} + \overrightarrow{DC} + \overrightarrow{CB} + \overrightarrow{BF} + \overrightarrow{FA} \quad (3.76)$$

$$= 1,8 + 0,85 + 1,5 + 1,1 + 3 + 2,1$$

$$= 10,35$$

Dari persamaan (3.17), (3.18), (3.19), (3.20), (3.21), (3.22), (3.23), (3.24), (3.25), (3.26), (3.27), (3.28), (3.29), (3.30), (3.31), (3.32), (3.33), (3.34), (3.35), (3.36), (3.37), (3.38), (3.39), (3.40), (3.41), (3.42), (3.43), (3.44), (3.45), (3.46), (3.47), (3.48), (3.49), (3.50), (3.51), (3.52), (3.53), (3.54), (3.55), (3.56), (3.57), (3.58), (3.59), (3.60), (3.61), (3.62), (3.63), (3.64), (3.65), (3.66), (3.67), (3.68), (3.69), (3.70), (3.71), (3.72), (3.73), (3.74), (3.75), dan (3.76) dapat dituliskan dalam bentuk tabel sebagai berikut:

Tabel 3.2 Panjang Jalur Setiap Semut

Semut ke-	Jalur Semut							Panjang Jalur/KM
1	A	B	C	D	E	F	A	8,85
2	A	B	C	D	F	E	A	10,2
3	A	B	C	E	D	F	A	9,85
4	A	B	C	E	F	D	A	10,6
5	A	B	C	F	D	E	A	11,05
6	A	B	C	F	E	D	A	10,45
7	A	B	D	C	E	F	A	9,85
8	A	B	D	C	F	E	A	11,05
9	A	B	D	E	C	F	A	10,7
10	A	B	D	E	F	C	A	10,4
11	A	B	D	F	C	E	A	12,05
12	A	B	D	F	E	C	A	10,55
13	A	B	E	C	D	F	A	10,8
14	A	B	E	C	F	D	A	12,4
15	A	B	E	D	C	F	A	10,65
16	A	B	E	D	F	C	A	11,35
17	A	B	E	F	C	D	A	11,4
18	A	B	E	F	D	C	A	10,5
19	A	B	F	C	D	E	A	11,95
20	A	B	F	C	E	D	A	12,35
21	A	B	F	D	C	E	A	12,1
22	A	B	F	D	E	C	A	11,45
23	A	B	F	E	C	D	A	11,5
24	A	B	F	E	D	C	A	10,45
25	A	C	B	D	E	F	A	8,8

26	A	C	B	D	F	E	A	10,15
27	A	C	B	E	D	F	A	9,75
28	A	C	B	E	F	D	A	10,5
29	A	C	B	F	D	E	A	11,05
30	A	C	B	F	E	D	A	10,45
31	A	C	D	B	E	F	A	9,75
32	A	C	D	B	F	E	A	11,05
33	A	C	D	E	B	F	A	10,65
34	A	C	D	F	B	E	A	12
35	A	C	E	B	D	F	A	10,75
36	A	C	E	B	F	D	A	12,4
37	A	C	E	D	B	F	A	10,7
38	A	C	E	F	B	D	A	11,45
39	A	C	F	B	D	E	A	11,9
40	A	C	F	B	E	D	A	12,25
41	A	C	F	D	B	E	A	11,95
42	A	C	F	E	B	D	A	11,35
43	A	D	B	C	E	F	A	9,85
44	A	D	B	C	F	E	A	11,05
45	A	D	B	E	C	F	A	11,65
46	A	D	B	F	C	E	A	12,95
47	A	D	C	B	E	F	A	9,8
48	A	D	C	B	F	E	A	11,1
49	A	D	C	E	B	F	A	11,7
50	A	D	C	F	B	E	A	12,9
51	A	D	E	B	C	F	A	10,65
52	A	D	E	C	B	F	A	10,75
53	A	D	F	B	C	E	A	12,1
54	A	D	F	C	B	E	A	12
55	A	E	B	C	D	F	A	10,4
56	A	E	B	D	C	F	A	11,25
57	A	E	C	B	D	F	A	10,45
58	A	E	C	D	B	F	A	11,35
59	A	E	D	B	C	F	A	10,3
60	A	E	D	C	B	F	A	10,35

3.2 Hasil Perhitungan

Untuk mencari lintasan terpendek dengan menggunakan metode algoritma semut dilakukan beberapa langkah, yang pertama dengan menentukan intensitas jejak semut antar titik dan perubahannya (τ_{rs}). Nilai (τ_{rs}) akan selalu diperbaharui pada setiap iterasi maksimum yang akan ditentukan atau telah mencapai hasil yang optimal. Adapun (τ_{rs}) awal yang penulis gunakan adalah 1.

Setelah nilai τ_{rs} ditentukan selanjutnya masing-masing semut ditempatkan pada titik pertama tertentu pada sejumlah titik, yang berdasarkan pada tabel 3.1

diperoleh banyaknya titik (n) adalah 6 dan banyaknya jalur semut (m) adalah 60. Dengan titik berangkat (awal) dan titik tujuan adalah sama, dan dapat dituliskan dengan:

$$d_{rs} = d_{sr}$$

Dimana titik awal dan titik akhirnya adalah Perpustakaan Pusat Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.2.1 Perhitungan Perubahan Harga Intensitas *Pheromone*

Selanjutnya mencari nilai $\Delta\tau_{rs}$, dengan menggunakan rumus berikut:

$$\Delta\tau_{rs} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{rs}^k$$

Dengan, $\Delta\tau_{rs}^k$ adalah perubahan harga intensitas *pheromone* antara titik r dan titik s untuk semut k . Dimana akan dihitung sebagai berikut:

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

Dengan nilai Q yang sudah ditentukan adalah 1, dan C^k adalah jumlah dari setiap jalur perjalanan semut yang sudah dihitung dan dapat dilihat pada Tabel 3.2, maka dapat dihitung sebagai berikut:

$$\frac{Q}{C^1} = \frac{1}{8,85} = 0,1130$$

$$\frac{Q}{C^2} = \frac{1}{10,2} = 0,0980$$

$$\frac{Q}{C^3} = \frac{1}{9,85} = 0,1015$$

$$\frac{Q}{C^4} = \frac{1}{10,6} = 0,0943$$

$$\frac{Q}{C^5} = \frac{1}{11,05} = 0,0905$$

$$\frac{Q}{C^6} = \frac{1}{10,45} = 0,0957$$

$$\frac{Q}{C^7} = \frac{1}{9,85} = 0,1015$$

$$\frac{Q}{C^8} = \frac{1}{11,05} = 0,0905$$

$$\frac{Q}{C^9} = \frac{1}{10,7} = 0,0935$$

$$\frac{Q}{C^{10}} = \frac{1}{10,4} = 0,0962$$

$$\frac{Q}{C^{11}} = \frac{1}{12,0} = 0,0830$$

$$\frac{Q}{C^{12}} = \frac{1}{10,55} = 0,0948$$

$$\frac{Q}{C^{13}} = \frac{1}{10,8} = 0,0926$$

$$\frac{Q}{C^{14}} = \frac{1}{12,4} = 0,0806$$

$$\frac{Q}{C^{15}} = \frac{1}{10,65} = 0,0939$$

$$\frac{Q}{C^{16}} = \frac{1}{11,35} = 0,0881$$

$$\frac{Q}{C^{17}} = \frac{1}{11,4} = 0,0877$$

$$\frac{Q}{C^{18}} = \frac{1}{10,5} = 0,0952$$

$$\frac{Q}{C^{19}} = \frac{1}{11,95} = 0,0837$$

$$\frac{Q}{C^{20}} = \frac{1}{12,35} = 0,0810$$

$$\frac{Q}{C^{21}} = \frac{1}{12,1} = 0,0826$$

$$\frac{Q}{C^{22}} = \frac{1}{11,45} = 0,0873$$

$$\frac{Q}{C^{23}} = \frac{1}{11,5} = 0,0870$$

$$\frac{Q}{C^{24}} = \frac{1}{10,45} = 0,0957$$

$$\frac{Q}{C^{25}} = \frac{1}{8,8} = 0,1136$$

$$\frac{Q}{C^{26}} = \frac{1}{10,15} = 0,0985$$

$$\frac{Q}{C^{27}} = \frac{1}{9,75} = 0,1026$$

$$\frac{Q}{C^{28}} = \frac{1}{10,5} = 0,0952$$

$$\frac{Q}{C^{29}} = \frac{1}{11,05} = 0,0905$$

$$\frac{Q}{C^{30}} = \frac{1}{10,45} = 0,0957$$

$$\frac{Q}{C^{31}} = \frac{1}{9,75} = 0,1026$$

$$\frac{Q}{C^{32}} = \frac{1}{11,05} = 0,0905$$

$$\frac{Q}{C^{33}} = \frac{1}{10,65} = 0,0939$$

$$\frac{Q}{C^{34}} = \frac{1}{12} = 0,0833$$

$$\frac{Q}{C^{35}} = \frac{1}{10,75} = 0,0930$$

$$\frac{Q}{C^{36}} = \frac{1}{12,4} = 0,0806$$

$$\frac{Q}{C^{37}} = \frac{1}{10,7} = 0,0935$$

$$\frac{Q}{C^{38}} = \frac{1}{11,45} = 0,0873$$

$$\frac{Q}{C^{39}} = \frac{1}{11,9} = 0,0840$$

$$\frac{Q}{C^{40}} = \frac{1}{12,25} = 0,0816$$

$$\frac{Q}{C^{41}} = \frac{1}{11,95} = 0,0837$$

$$\frac{Q}{C^{42}} = \frac{1}{11,35} = 0,0881$$

$$\frac{Q}{C^{43}} = \frac{1}{9,85} = 0,1015$$

$$\frac{Q}{C^{44}} = \frac{1}{11,05} = 0,0905$$

$$\frac{Q}{C^{45}} = \frac{1}{11,65} = 0,0838$$

$$\frac{Q}{C^{46}} = \frac{1}{12,95} = 0,0772$$

$$\frac{Q}{C^{47}} = \frac{1}{9,8} = 0,1021$$

$$\frac{Q}{C^{48}} = \frac{1}{11,1} = 0,0901$$

$$\frac{Q}{C^{49}} = \frac{1}{11,7} = 0,0855$$

$$\frac{Q}{C^{50}} = \frac{1}{12,9} = 0,0775$$

$$\frac{Q}{C^{51}} = \frac{1}{10,65} = 0,0939$$

$$\frac{Q}{C^{52}} = \frac{1}{10,75} = 0,0930$$

$$\frac{Q}{C^{53}} = \frac{1}{12,1} = 0,0826$$

$$\frac{Q}{C^{54}} = \frac{1}{12} = 0,0833$$

$$\frac{Q}{C^{55}} = \frac{1}{10,4} = 0,0962$$

$$\frac{Q}{C^{56}} = \frac{1}{11,25} = 0,0889$$

$$\frac{Q}{C^{27}} = \frac{1}{10,45} = 0,0957$$

$$\frac{Q}{C^{28}} = \frac{1}{11,35} = 0,0881$$

$$\frac{Q}{C^{29}} = \frac{1}{10,3} = 0,0971$$

$$\frac{Q}{C^{30}} = \frac{1}{10,35} = 0,0966$$

Setelah menghitung perubahan harga intensitas *pheromone* antara titik *r* dan titik *s* untuk setiap perjalanan semut, maka dapat diketahui hasil jumlah *pheromone* tertinggi terdapat pada jalur perjalanan semut ke-25 dengan nilai 0,1136.

3.3 Anjuran Hidup Hemat dalam Islam

Dengan menemukan jarak terpendek pada suatu perjalanan maka dapat terhindar dari sifat boros dan dapat berhemat dengan cara mengurangi pemakaian BBM, mempersingkat waktu dan juga tenaga, karena sifat boros hanya akan merugikan manusia. Secara jelas Allah Swt melarang umatnya melakukan pemborosan, perbuatan yang dilarang Allah Swt berarti sesuatu yang tidak baik dan tidak membawa manfaat, secara umum segala bentuk pemborosan dan menghambur-hamburkan harta adalah perbuatan yang dilarang dalam Islam. Allah

Swt. mengingatkan bahwa orang-orang yang melakukan pemborosan dan berbuat mubadzir adalah saudara dari setan, dan setan itu sangat ingkar kepada Allah Swt.

Al-Quran menggunakan kata *israf* untuk menggambarkan segala yang melampaui batas dalam pembelajaan harta. Demikian pula harta yang dibelanjakan bukan dalam ketaatan kepada Allah, termasuk bagian dari *israf* walaupun hanya sedikit. Perilaku boros bisa terjadi pada harta dan urusan lainnya, sehingga al-Quran memperingatkan dengan keras para pelakunya. Sikap boros sangat dibenci dan dilarang. Allah Swt memperingatkan hamba-Nya dari sikap boros dalam firman-Nya:

... وَكُلُوا وَاشْرَبُوا وَلَا تُسْرِفُوا إِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِينَ ﴿٣١﴾

“Dan makan dan minumlah, dan janganlah berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berlebih-lebihan”(QS. Al-‘Arof/7:31).

Menurut Atho’ bin Abi Robah setiap muslim dilarang berlaku boros dalam segala hal. Ibnu Katsir menambahkan bahwa berlebihan dalam makan, dapat membahayakan akal dan jasmani. Tafsir Ibnu Katsir: 2/182

Dalam hadits shahih, Allah membenci orang yang menyia-nyiakan harta:

عَنْ أَبِي هُرَيْرَةَ قَالَ قَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ إِنَّ اللَّهَ يَرْضَى لَكُمْ ثَلَاثًا وَيَكْرَهُ لَكُمْ ثَلَاثًا فَيَرْضَى لَكُمْ أَنْ تَعْبُدُوهُ وَلَا تُشْرِكُوا بِهِ شَيْئًا وَأَنْ تَعْتَصِمُوا بِحَبْلِ اللَّهِ جَمِيعًا وَلَا تَفَرَّقُوا وَيَكْرَهُ لَكُمْ قِيلَ وَقَالَ وَكَثَرَةُ السُّؤَالِ وَإِضَاعَةُ الْمَالِ

“Dari Abu Hurairah dia berkata, “Rasulullah shallallahu ‘alaihi wasallam bersabda: “Sesungguhnya Allah menyukai bagimu tiga perkara dan membenci tiga perkara; Dia menyukai kalian bila kalian beribadah kepada-Nya dan tidak menyekutukan-Nya dengan sesuatu apapun, kalian berpegang teguh dengan agama-Nya dan tidak berpecah belah. Dan Allah membenci kalian dari mengatakan sesuatu yang tidak jelas sumbernya (qiila wa qaala), banyak bertanya dan menyia-nyiakan harta”(HR Muslim 3236).

Adapun (tentang dibencinya) menyia-nyiakan harta itu ada di hadits muttafaq ‘alaih, karena hal itu tidak bermaslahat bagi agama maupun dunia. Hal itu dilarang, karena Allah Ta’ala menjadikan harta-harta itu sebagai kekuatan untuk kemaslahatan hamba-hamba. Sedang penghamburannya (tabdzir) itu menghilangkan maslahat-maslahat, baik dalam hak pelaku yang menyia-nyiakan harta ataupun dalam hak orang lain.

Adapun tentang adanya larangan berlebih-lebihan Rasulullah Saw juga menjelaskan dalam hadits dari Babul Adab dari Kitabul Jami’ dari Kitab Bulughul Maram.

وَعَنْ عَمْرِو بْنِ شُعَيْبٍ، عَنْ أَبِيهِ، عَنْ جَدِّهِ قَالَ : قَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ (كُلْ، وَاشْرَبْ، وَالْبَسْ، وَتَصَدَّقْ فَيُغَيِّرَ سَرَفَ، وَلَا تَخِيلَ) أَخْرَجَهُ أَبُو دَاوُدَ، وَأَحْمَدُ، وَعَلَّقَهُ ابْنُ خَارِيزٍ

“Dari ‘Amr Ibnu Syu’aib, dari ayahnya, dari kakeknya, radhiyallahu ‘anhum (semoga Allah meridhai mereka) berkata, Rasulullah shallallahu ‘alayhiwasallam bersabda, “Makanlah dan minumlah dan berpakaianlah dan bersedekahlah tanpa berlebihan (israf) dan tanpa kesombongan”(HR Abu Dawud dan Ahmad dan Al-Imam Al-Bukhari meriwayatkan secara ta’liq).

Dengan adanya larangan berlebih-lebihan dalam segala hal, dapat diartikan bahwa Allah Swt memerintahkan umatnya untuk berlaku hemat. Kita tahu bahwasanya Allah Swt asalnya menghalalkan bagi hamba-hamba-Nya seluruh perkara dan rizqi yang baik. Baik berupa makanan maupun minuman, pakaian, tempat tinggal, tunggangan/kendaraan dan seluruh kebaikan-kebaikan yang ada di atas muka bumi ini. Allah Swt tidak akan mengharamkan bagi hamba-hambaNya kecuali yang mendatangkan kemudharatan, baik kemudharatan bagi agamanya, badannya, akalanya, harga dirinya atau bagi hartanya.

Dan hadits ini juga memperkuat bahwasanya seluruh perkara dan kesenangan yang baik di atas muka bumi ini dihalalkan oleh Allah Swt. Akan tetapi perkara-perkara yang baik tersebut terkadang meskipun hukum asalnya baik, dirubah oleh Allah Swt menjadi hukumnya haram tatkala mencapai tingkatan *saraf* (berlebihan). Oleh karena itu dalam hadits ini dijelaskan dilarang untuk berbuat berlebih-lebihan. Begitu juga dengan permasalahan pencarian jalur dalam sebuah perjalanan menuju suatu tempat atau beberapa tempat akan hemat dengan menempuh jarak terpendek dan berhemat adalah anjuran agama.



BAB IV

PENUTUP

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang sudah diperoleh, maka dapat diambil kesimpulan bahwa cara menemukan jalur terpendek dari suatu lokasi ke lokasi yang lain, dalam penelitian ini yaitu perpustakaan kampus (r) ke perpustakaan kampus (s) adalah dengan menggunakan metode *Ant Colony Optimization* dengan input berupa perpustakaan asal dan tujuan, dimana titik awal dan titik tujuan yang diambil yaitu perpustakaan Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Dan diperoleh jalur terpendek adalah jalur perjalanan semut ke-25, yaitu:

$$\overrightarrow{AC} + \overrightarrow{CB} + \overrightarrow{BD} + \overrightarrow{DE} + \overrightarrow{EF} + \overrightarrow{FA}$$

Yang berarti perjalanan berawal dari (A) Perpustakaan Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang menuju ke (C) Perpustakaan Universitas Negeri Malang, (B) Perpustakaan Institut Teknologi Nasional Malang, (D) Perpustakaan Universitas Brawijaya, (E) Perpustakaan Politeknik Negeri Malang, (F) Perpustakaan Universitas Islam Malang, kemudian kembali ke (A) Perpustakaan Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Dengan panjang dari jalur perjalanannya adalah 8,8 yang terhitung memiliki penguapan *pheromoneya* itu 0,1136, yang merupakan jumlah penguapan *pheromone* terbanyak dibanding jalur lainnya. Sedangkan *Pheromone* pada jalan yang lain sudah banyak menguap sehingga semut-semut tidak memilih

jalan selain jalur ke-25. Semakin banyak semut yang melalui jalur 25 maka semakin banyak semut yang mengikutinya.

Demikian juga dengan jalan selain jalur ke-25, semakin sedikit semut yang melalui, maka *Pheromone* yang ditinggalkan semakin berkurang bahkan hilang. Dari sinilah kemudian terpilihlah jalur terpendek.

4.2. Saran

Bagi peneliti selanjutnya, disarankan untuk dapat membandingkan antara metode-metode algoritma semut yang lain.



DAFTAR RUJUKAN

- Abdussakir, Azizah, N.N. dan Nofandika, F.F. 2009. *Teori Graf*. Malang: UIN Malang Press.
- Bullnheimer, B., Hartl, R. F., dan Strauss, C. (1999). *An Improved Ant System Algorithm for the Vehicle Routing Problem*. Technical report, Institute of Management Science, University of Vienna, Austria.
- Dorigo, M, dan Gambardella, L.1996. *Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem*. Tech.Rep/IRIDIA/1996-005, Université Libre de Bruxelles, Belgium.
- Dorigo, M., dan Gambardella, L. M. 1997. *Ant Colonies for the Traveling Salesman Problem*. Tech.Rep/IRIDIA/1996-003, Université Libre de Bruxelles, Belgium.
- Dorigo, M., Maniezzo, V., dan Coloni, A. 1991. *Positive Feedback as a Search Strategy*. Technical report 91-016, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, Milan.
- Dorigo, M., Maniezzo, V., dan Coloni, 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.
- Dorigo, M., dan Stützle, T. 2004. *Ant Colony Optimization*. A Bradford book. The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England.
- Hariyadi. M.A, 2007, *Al-Quran dan Semut: Inspirasi Al-Quran dalam Membangun Algoritma Ant*, Malang: UIN-Malang Press.
- J. Ahmad, Sunaryo, dan Purnomo 2014. *Modifikasi ACO untuk Penentuan Rute Terpendek ke Kabupaten/Kota di Jawa*. Jurnal EECCIS Vol. 8, No. 2.
- Katsir, I. 2004. Tafsir Ibnu Katsir, Jilid 3. Terjemahan M. Ghoffar. Bogor: Pustaka Imam Asy-Syafi'i.
- Katsir, I. 2004. Tafsir Ibnu Katsir, Jilid 5. Terjemahan M. Ghoffar. Bogor: Pustaka Imam Asy-Syafi'i.
- Mutakhirroh, I., Saptono, F., Hasanah, N., dan Wiryadinata, R., 2007. *Pemanfaatan Metode Heuristik Dalam Pencarian Jalur Terpendek Dengan Algoritma Semut dan Algoritma Genetik*. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi. ISSN: 1907-5022. Yogyakarta.
- Nahimunkar. 2011. Larangan Hamburkan Harta dan Contoh buruk Pesta Nikah mewah. <https://www.nahimunkar.org/larangan-hamburkan-harta-dan-contoh-buruk-pesta-nikah-mewah-mewah/>. Diakses tanggal 11 April 2018.

Pogo, Tajuddin. 2014. Larangan Berlaku Boros. <http://ikadi.or.id/artikel/tafakkur/1101-larangan-berlaku-boros.html>. Diakses tanggal 11 April 2018.

R. Beekers, J.L Deneubourg, dan S.Goss, 1992, *Trail and U-turns in the Selection of the shortest Path by the Ant Lasius Niger*, Journal of Theoretical biology.

Wardy, I. S. 2007. *Penggunaan graph dalam algoritma semut untuk melakukan optimisasi*. Program studi Teknik Informatika, ITB, Bandung.

Wilson, R. J., dan Watkins, J. J., (1990). *Graph An Introductory Approach, A First Course in Discrete Mathematics*. John Wiley and Sons, New York.



RIWAYAT HIDUP



Cahya A'isyah Laili Soetomo dilahirkan di Malang pada tanggal 21 November 1994, anak ketiga dari empat bersaudara, pasangan Bapak Soetomo Aspan dan Ibu Djuma'yah. Pendidikan dasar ditempuh di SDN Glagahsari III Kecamatan Sukorejo Kabupaten Pasuruan yang ditamatkan pada tahun 2006. Padatahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan menengah pertama di MTs. Persis Putri Bangil Pasuruan. Pada tahun 2009 dia menamatkan pendidikan menengah pertamanya, kemudian melanjutkan pendidikan menengah atas di Persis Putri Bangil Pasuruan di tempat yang sama dan menamatkan pendidikan tersebut pada tahun 2012. Pendidikan berikutnya penulis tempuh di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang melalui jalur tulis (SNMPTN) dengan mengambil Jurusan 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 : Cahya A'isyah Laili Soetomo
Nim : 12610071
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi/Matematika
JudulSkripsi : Penentuan Jalur Terpendek dengan Menggunakan Metode
Ant Colony Optimization
Pembimbing I : Evawati Alisah, M.Pd
Pembimbing II : Dr. Abdussakir, M.Pd

	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	23 September 2017	Konsultasi Bab I, Bab II, dan Bab III	1.
2.	10 November 2017	Revisi Bab I	2.
3.	27 November 2017	Revisi Bab III	3.
4.	27 November 2017	Konsultasi Bab I	4.
5.	29 Januari 2018	Konsultasi Bab II	5.
6.	22 Februari 2018	Konsultasi Bab I, Bab II, dan Bab III	6.
7.	15 Maret 2018	Revisi Bab I, Bab II, dan Bab III	7.
8.	19 Maret 2018	Revisi Bab IV	8.
9.	20 Maret 2018	Konsultasi Agama Bab III	9.
10.	11 April 2018	Revisi Agama Bab III	10.
11.	11 April 2018	ACC Keseluruhan	11.
12.	12 April 2018	ACC Agama Keseluruhan	12.

Malang, 13 April 2018
Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika

Dr. Usman Pagalay, M.Si
NIP. 19650414 200312 1 001



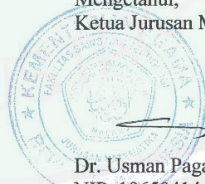
KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang Telp./Fax.(0341)558933

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Cahya A'isyah Laili Soetomo
Nim : 12610071
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi/Matematika
JudulSkripsi : Penentuan Jalur Terpendek dengan Menggunakan Metode
Ant Colony Optimization
Pembimbing I : Evawati Alisah, M.Pd
Pembimbing II : Dr. Abdussakir, M.Pd

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	23 September 2017	Konsultasi Bab I, Bab II, dan Bab III	1.
2.	10 November 2017	Revisi Bab I	2.
3.	27 November 2017	Revisi Bab III	3.
4.	27 November 2017	Konsultasi Bab I	4.
5.	29 Januari 2018	Konsultasi Bab II	5.
6.	22 Februari 2018	Konsultasi Bab I, Bab II, dan Bab III	6.
7.	15 Maret 2018	Revisi Bab I, Bab II, dan Bab III	7.
8.	19 Maret 2018	Revisi Bab IV	8.
9.	20 Maret 2018	Konsultasi Agama Bab III	9.
10.	11 April 2018	Revisi Agama Bab III	10.
11.	11 April 2018	ACC Keseluruhan	11.
12.	12 April 2018	ACC Agama Keseluruhan	12.

Malang, 13 April 2018
Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika



Dr. Usman Pagalay, M.Si
NIP. 19650414 200312 1 001