

**PENERAPAN ALGORITMA *ANT COLONY OPTIMIZATION* DALAM
MENYELESAIKAN *TRAVELING SALESMAN PROBLEM***

(Studi Kasus : PT. Kobe Boga Utama)

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana pada
Program Studi Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam

Oleh :

Muhamad Ilsan Aljabar

064117019



PROGRAM STUDI MATEMATIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS PAKUAN

BOGOR

2023

Bismillahirohimaanirohim.

Alhamdulillahirabbil' alamin. Saya panjatkan puji dan syukur kepada Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Berkat rahmat dan karunia-Mu yang engkau limpahkan sehingga diberikan kemudahan dalam menyelesaikan skripsi ini.

Terima kasih untuk keluargaku terutama kedua orang tuaku Mama Nisa dan Bapak Ismail, adik-adikku Nafsha Siti Maharani, Keysa Aulia Azahra, Faris Abdul Syahir, dan Maulana Yusuf Alhuda, atas segala dukungan kasih sayang, motivasi dan doa yang telah diberikan. Dukungan yang kalian berikan membuatku bangkit dari situasi terpuruk sehingga dapat terselesaikan skripsi ini.

Terima kasih yang sebesar-besarnya teruntuk Bapak Drs. Amar Sumarsa M.Pd dan Ibu Maya Widyastiti M.Si yang telah membimbing dan memberikan motivasi dalam pembuatan skripsi ini. Saya ucapkan terima kasih kepada seluruh dosen dan staf Program Studi Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pakuan yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat selama masa kuliah sehingga dapat dijadikan bekal menuju kesuksesan.

Terima kasih untuk Aliya Ananda Fauziah kekasihku, sahabatku dikampus (Taufik Malikul Ikhsan, Joyo Dwi Pantoro), Sahabatku dari SMA (Aras Ramadhan), Sahabatku ditempat kerja (Dimas Sopanov, Farhan, Yoga Rizky Pratama), Terima kasih atas segala dukungan dan doa yang telah diberikan, terima kasih untuk semua kasih dan cerita manisnya, semoga kesuksesan selalu menghampiri kita semua.

Tidak lupa saya ucapkan terima kasih kepada teman-teman Matematika angkatan 2017 atas dukungan dan pertemanan baik selama menuntut ilmu juga untuk semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas do'a dan dukungannya.

Alhamdulillah skripsi ini dapat terselesaikan dan terima kasih saya ucapkan kepada pihak yang tidak dapat saya ucapkan satu persatu semoga karya ini dapat memberikan manfaat bagi pembacanya. Aamiin.

HALAMAN PENGESAHAN

NAMA : MUHAMAD ILSAN ALJABAR
NPM : 064117019
JUDUL : PENERAPAN ALGORITMA *ANT COLONY OPTIMIZATION*
DALAM MENYELESAIKAN *TRAVELING SALESMAN*
PROBLEM

Bogor, Agustus 2023

Menyetujui,

Pembimbing Pendamping



Maya Widyastiti, M.Si

Pembimbing Utama



Drs. Amar Sumarsa, M.Pd.

Mengetahui,

Ketua Program Studi Matematika



Dr. Ir. Fitria Virgantari, M.Si

Dekan FMIPA



Asep Denih, S.Kom., M.Sc., Ph.D.

**SURAT PENYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER
INFORMASI SERTA PELIMPAHAN KEKAYAAN INTELEKTUAL DI
UNIVERSITAS PAKUAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhamad Ilsan Aljabar

NPM : 064117019

Judul Skripsi : Penerapan Algoritma *Ant Colony Optimization* Dalam Menyelesaikan *Traveling Salesman Problem*

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi di atas adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Universitas Pakuan.

Bogor, Agustus 2023



Muhamad Ilsan Aljabar

064117019

RIWAYAT HIDUP



Muhamad Ilsan Aljabar dilahirkan di Bogor pada tanggal 10 Januari 2000. Penulis merupakan anak pertama dari lima bersaudara dari pasangan yang bernama Bapak Ismail dan Ibu Nisa. Pada tahun 2005 penulis terdaftar sebagai siswa MI. Wahdatul Ikhwan dan lulus pada tahun 2011. Penulis melanjutkan ke jenjang pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Sukaraja dan lulus pada tahun 2014. Penulis melanjutkan jenjang pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Babakan Madang dan lulus pada tahun 2017. Pada tahun 2017 penulis melanjutkan pendidikan strata satu di Universitas Pakuan Bogor pada Program Studi Matematika di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, selama menjadi mahasiswa penulis tercatat pernah melakukan Praktik Kerja Lapangan di Badan Pusat Statistika Kota Depok.

RINGKASAN

MUHAMAD ILSAN ALJABAR, Penerapan Algoritma *Ant Colony Optimization* dalam Menyelesaikan *Traveling Salesman Problem*.

Dibimbing oleh Drs. AMAR SUMARSA, M.Pd dan MAYA WIDYASTITI, M.Si

Pendistribusian merupakan permasalahan yang termasuk kedalam kategori *traveling salesman problem* karena berhubungan dengan rute, jarak, dan biaya. *Traveling Salesman Problem* (TSP) adalah masalah optimasi penentuan rute kapan seseorang akan datang mengunjungi setiap lokasi yang tepat dikunjungi untuk semua lokasi hanya satu kali dan kembali ke lokasi pertama. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menentukan rute terpendek dengan biaya terkecil dan memudahkan distributor dalam menentukan perjalanan kesetiap toko pada *traveling salesman problem* dengan menggunakan algoritma *ant colony optimization*.

Permasalahan TSP dapat diselesaikan menggunakan metode eksak maupun dengan menggunakan metode pendekatan yaitu seperti metode *heuristic* atau *metaheuristic*. Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) adalah metode *metaheuristic* yang merupakan pencarian solusi dengan hasil terbaik yang mendekati optimal yang ditunjukkan oleh kecerdasan hewan koloni semut. Penerapan ACO telah diterapkan dalam berbagai permasalahan optimasi, seperti salah satunya yaitu *Traveling Salesman Problem* untuk mencari solusi terbaik dalam menentukan rute terpendek yang mendekati optimal pada TSP.

Permasalahan pada penelitian kali ini yaitu untuk mencari rute terpendek dengan biaya terkecil. Pada kasus proses pendistribusian produk dari PT. Kobe Boga Utama Kota Depok khususnya untuk tiga Kecamatan yang berada di Kota Depok yaitu Kecamatan Sawangan, Pancoran Mas, dan Cimanggis. Dalam menyelesaikan permasalahan tersebut menggunakan sintaks algoritma ACO dengan bantuan *software* MATLAB yang dapat membantu dalam menentukan rute pendistribusiannya.

Dengan menggunakan metode algoritma ACO didapatkan hasil dengan rute terpendek dan biaya terkecil pada Kecamatan Sawangan diperoleh biaya terkecil sebesar Rp. 64.044 dengan rute sebanyak 20 titik, kemudian untuk Kecamatan Pancoran Mas diperoleh biaya terkecil Rp. 61.006 dengan rute sebanyak 24 titik, dan untuk Kecamatan Cimanggis diperoleh biaya terkecil Rp. 66.839 dengan rute sebanyak 22 titik.

Kata kunci : Algoritma *Ant Colony Optimization*; Optimasi; Graf; *Traveling Salesman Problem*; Biaya Terkecil.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas kehendaknya-Nya lah penulis dapat menyelesaikan hasil penelitian ini dengan judul **“Penerapan Algoritma Ant Colony Optimization dalam menyelesaikan Traveling Salesman Problem (TSP)”**

Dalam penulisan dan penyusunan hasil ini penulis banyak menerima kritik, saran maupun masukan yang membangun dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Amar Sumarsa, M.Pd selaku Dosen Pembimbing Utama.
2. Ibu Maya widyastiti, M.Si selaku Pembimbing Pendamping.
3. Ibu Dr. Ir. Fitria Virgantari, M.Si selaku Ketua Program Studi Matematika FMIPA UNPAK.
4. Dosen-dosen beserta staf Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pakuan.
5. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan do'a dan moril.
6. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi Matematika.
7. Semua pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis berharap usulan penelitian ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan. Apabila terdapat kesalahan dan kekurangan penulis memohon saran dan kritik yang membangun demi perbaikan laporan ini.

Bogor, Agustus 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	iii
RIWAYAT HIDUP	v
RINGKASAN	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan.....	3
1.3 Ruang Lingkup.....	4
1.4 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Optimisasi.....	5
2.2 Graf.....	6
2.2.1 Graf Berjalan (<i>Walk</i>).....	7
2.2.2 Lintasan Graf (<i>Path</i>)	7
2.2.3 Jalan Tapak (<i>Trail</i>).....	7
2.2.4 Graf Berarah dan Tidak Berarah.....	8
2.2.5 Graf Terhubung dan Graf Tidak Terhubung.....	9
2.2.6 Graf Hamilton	9
2.3 <i>Traveling Salesman Problem</i> (TSP).....	10
2.4 Algoritma <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO)	10
2.4.1 Semut dan Perilakunya	10
2.4.2 <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO)	12
2.4.3 Langkah – Langkah kerja algoritma <i>Ant Colony Optimization</i>	12

2.4.4 Inisialisasi Parameter Ant Colony Optimization	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Data	17
3.2 Tahapan Analisis	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Proses Pendistribusian PT. Kobe Boga Utama Kota Depok.....	20
4.2 Penyelesaian Traveling Salesman Problem dengan menggunakan algoritma Ant Colony Optimization.....	21
4.2.1 Hasil Algoritma <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO).....	23
4.3 Perbandingan Biaya Pendistribusian.....	26
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	27
5.2 Saran.....	27
DAFTAR PUSTAKA.....	29
LAMPIRAN.....	31

DAFTAR GAMBAR

1. Edge dan Vertex.....	6
2. Walk pada graf.....	7
3. Trail dan Path dalam Graf.....	7
4. Graf Tidak Berarah.....	8
5. Graf Berarah.....	9
6. Graf G Terhubung (i) dan Tidak Terhubung (ii).....	9
7. Graf Hamilton(i), Graf Semi-Hamilton(ii), Graf Bukan Hamilton(iii).....	10
8. Proses dari Stigmery.....	11
9. flow chart tahapan analisis.....	19
10. Graf hasil rute perjalanan pada Kecamatan Sawangan.....	23
11. Graf hasil rute perjalanan pada Kecamatan Pancoran Mas.....	24
12. Graf hasil rute perjalanan pada Kecamatan Cimanggis.....	25

DAFTAR TABEL

1. Rincian Biaya Pengiriman	21
2. Data biaya perjalanan antar toko.....	22
3. Perbandingan hasil pada Kecamatan Sawangan menggunakan beberapa parameter	23
4. Perbandingan hasil pada Kecamatan Pancoran Mas menggunakan beberapa parameter	24
5. Perbandingan hasil pada Kecamatan Cimanggis menggunakan beberapa parameter	25
6. Perbandingan Biaya Pendistribusian.....	26

DAFTAR LAMPIRAN

1. Data biaya perjalanan distributor PT. Kobe Boga Utama untuk Kec. Sawangan.....	32
2. Data biaya perjalanan distributor PT. Kobe Boga Utama untuk Kec. Pancoran Mas	33
3. Data biaya perjalanan distributor PT. Kobe Boga Utama untuk Kec. Cimanggis.....	34
4. Sintaks <i>Ant Colony Optimization</i> pada <i>software</i> MATLAB R2005a	34

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Optimasi merupakan proses suatu bentuk mengoptimalkan sesuatu hal yang sudah ada untuk mencapai hasil dengan solusi terbaik. Selain itu optimasi diartikan suatu teknik atau metode membuat model matematika dari permasalahan yang dihadapi dengan bantuan program komputasi sebagai cara untuk menemukan solusi dalam menyelesaikan masalah dari data input dengan menggunakan suatu algoritma. Permasalahan optimasi dalam bidang matematika memiliki fungsi yang bertujuan memaksimalkan atau meminimumkan suatu fungsi tujuan atau dalam dunia bisnis optimasi bertujuan untuk memaksimalkan laba dan meminimumkan biaya. Salah satu contoh permasalahan optimasi yaitu seperti pengiriman barang atau dalam dunia bisnis dikenal sebagai proses pendistribusian.

Proses pendistribusian diartikan sebagai proses penyaluran, pembagian, atau pengiriman hasil dari produksi yang berupa barang atau produk yang akan disebarluaskan. Pendistribusian bertujuan untuk memudahkan menyalurkan barang hasil produksi kepada konsumen, sehingga konsumen mendapatkan kebutuhan barang atau produk yang diperlukan di setiap daerah secara merata dan dapat membelinya dengan mudah karena adanya pendistribusian tersebut. Proses pendistribusian produk atau barang tidak pernah lepas dari kegiatan industri dan bisnis.

Permasalahan pendistribusian dalam dunia usaha menjadi pokok penting bagi keberlangsungan suatu perusahaan, oleh karena itu dalam hal ini memerlukan pertimbangan yang tepat karena berkaitan dengan biaya transportasi yang harus dikeluarkan sehingga biaya transportasi menjadi lebih kecil.

Pada penelitian kali ini yaitu mengambil studi kasus pendistribusian salah satu perusahaan yang bergerak di divisi *food service* (produksi makanan) yaitu PT. Kobe Boga Utama yang berada di kota Depok. PT. Kobe Boga Utama merupakan sebuah perusahaan yang memproduksi bumbu tumis siap pakai dengan penjualan terbesar di Indonesia yang terus berkembang dengan mengeluarkan berbagai macam varian produk bumbu dan tepung. PT. Kobe Boga Utama bermula pada tahun 1979 sebagai pelopor tepung bumbu di Indonesia.

Pada pelaksanaannya perusahaan memiliki bagian yang bertugas untuk melakukan pendistribusian agar produk tersebut menyebar merata di masyarakat luas guna memenuhi kebutuhan bumbu siap pakai. PT. Kobe Boga Utama umumnya melakukan pendistribusian yang tersebar ke berbagai daerah seperti Bogor, Jakarta, Bekasi dan Depok serta kota-kota lainnya, bahkan untuk daerah kota Depok saja terdapat 1.590 titik pendistribusian.

Pendistribusian tersebut untuk saat ini dalam kegiatan pendistribusiannya pihak perusahaan mengeluarkan biaya yang cukup besar dalam satu kali pendistribusian. Hal tersebut terjadi karena proses pendistribusian tidak dilakukan dengan program atau metode tertentu, dan masih menggunakan perhitungan jarak secara manual dengan penentuan tersendiri. Contohnya yaitu seperti seorang salesmannya bergerak ke toko yang diketahui terlebih dahulu selain itu pada proses pendistribusiannya cakupan hanya perkecamatan perharinya sehingga memungkinkan terjadinya pendistribusian yang tidak maksimal.

Pada saat ini permasalahan itu masih terjadi pada proses pendistribusian di PT. Kobe Boga Utama untuk daerah Depok, maka dari itu agar biaya distribusi yang dikeluarkan minimum dan jarak yang didapatkan lebih pendek sehingga proses pendistribusiannya optimal, maka itu perlu dilakukan upaya perencanaan pendistribusian dengan metode tertentu. kegiatan pendistribusian tentu berhubungan dengan rute, jarak dan biaya yang dapat dikategorikan sebagai jenis permasalahan yang dikenal pada *Traveling Salesman Problem (TSP)* dan selain itu aplikasi pada teori *graph* banyak digunakan dalam bidang pendistribusian.

Pengaplikasian TSP dalam bidang bisnis sering kali digunakan untuk kasus pendistribusian barang ataupun jasa. *Traveling Salesman Problem (TSP)* bertujuan mencari rute terpendek dari node asal ke node-node yang dituju atau dengan kata lain ke-node selanjutnya dengan syarat setiap node hanya dapat dikunjungi satu kali kecuali node awal. Permasalahan TSP dapat diselesaikan dengan metode eksak maupun melalui metode pendekatan yaitu dengan metode *heuristic* atau metode *metaheuristic*.

Pada metode eksak, TSP dimodelkan sebagai *Integer Linear Programming (ILP)*. *Ant Colony Optimization* merupakan salah satu metode pendekatan berdasarkan kecerdasan berkelompok (*swarm intelligence*) yaitu perilaku koloni semut untuk mendapatkan solusi terbaik. Optimasi koloni semut merupakan metode *meta-heuristic* yang digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi kombinatorial yang cukup sulit. Algoritma optimasi koloni semut diinspirasi dari perilaku semut dalam dunia

nyata untuk membangun jarak terpendek antara sumber makanan dan sarangnya, yang kemudian diaplikasikan dalam mencari jalur terbaik dalam suatu permasalahan distribusi.

Penentuan jalur optimal menggunakan metode matematika merupakan hal yang sesuai karena banyak permasalahan yang dapat diterapkan dalam bentuk *Traveling Salesman Problem (TSP)*. *Traveling Salesman Problem* telah diterapkan pada berbagai kasus seperti Trivaldi Rahardja pada tahun 2018 dengan judul Penerapan Algoritma *Ant Colony Optimization* dalam *Traveling Salesman Problem* untuk Rute Terpendek dengan hasil penelitian bahwa algoritma *ant colony optimization* mampu mencari rute terpendek dari 34 lokasi dengan total jarak 10,18 kilometer.

Bib Paruhum Silalahi dkk pada tahun 2019 dengan judul Algoritma *Ant Colony Optimization with Traveling Salesman Problem (TSP)* yang menghasilkan kesimpulan dari penelitian tersebut bahwa semakin besar kasus yang harus diselesaikan maka semakin lama pula waktu pelaksanaan yang diperlukan akan tetapi bahwa waktu eksekusi yang dihasilkan dari *ant colony optimization* jauh lebih cepat dari pada waktu eksekusi dari metode eksak. Metrika Indra Buana pada tahun 2016 dengan judul *Ant Colony Optimization* dalam penyelesaian *Traveling Salesman Problem* dengan hasil dari penelitian tersebut mendapatkan kesimpulan berdasarkan penujian sistem untuk 32 data kabupaten atau kota di Jawa Tengah diperoleh jarak optimal dari algoritma *ant colony optimization* sebesar 1522 km.

Berdasarkan permasalahan *Traveling Salesman Problem* *Salesman Problem* yang telah dibahas oleh peneliti terdahulunya, maka itu penulis menggunakan *Ant Colony Optimization* untuk memecahkan masalah *Traveling Salesman Problem* dengan judul **“Penerapan Algoritma *Ant Colony Optimization* Dalam Menyelesaikan *Traveling Salesman Problem*”**.

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian ini yaitu menentukan rute terpendek dengan biaya terkecil dan memudahkan distributor dalam menentukan rute perjalanan antar toko pada *traveling salesman problem* menggunakan algoritma *ant colony optimization* sehingga memperoleh keuntungan.

1.3 Ruang Lingkup

Ruang lingkup masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini dibatasi pada penentuan biaya terkecil dengan jalur terpendek dalam pendistribusian semua produk PT. Kobe Boga Utama kota Depok untuk pengiriman di kecamatan Sawangan, Cimanggis dan, Pancoran Mas yang dianalogikan sebagai suatu kasus *Traveling Salesman Problem* (TSP), selanjutnya model yang diperoleh diimplementasikan dengan *software* MATLAB R2005a.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari laporan penelitian ini yaitu sebagai bahan referensi dan pertimbangan bagi perusahaan agar proses pendistribusiannya berjalan dengan baik dan biaya distribusi yang dikeluarkan lebih kecil sehingga memperoleh keuntungan maksimal.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Optimisasi

Optimisasi merupakan suatu upaya sistematis untuk memilih elemen terbaik dari suatu kumpulan elemen yang ada. Di dalam konteks matematika, optimisasi adalah cara untuk menentukan satu atau lebih solusi yang sesuai dengan meminimalkan atau memaksimalkan satu atau lebih dari suatu fungsi. Dengan kata lain, optimisasi merupakan proses mencari nilai terbaik berdasarkan fungsi tujuan dengan daerah asal yang telah didefinisikan. Fungsi ini secara sederhana dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\min/\max f(x)$$

Sebagai contoh adalah fungsi kuadrat $f(x) = x^2$, dimana x adalah daerah asal yang didefinisikan sebagai anggota bilangan real ($x \in R$), dan $f(x) = x^2$ merupakan fungsi tujuannya.

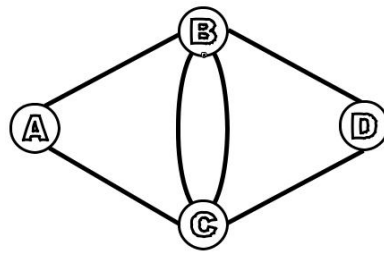
Konsep optimisasi sudah lama digunakan, tetapi metode optimisasi pertama mengacu pada teknik yang terstruktur yang diakui yaitu *steepest descent*. Istilah optimisasi diperkenalkan oleh George Dantzig yang mengembangkan algoritma *simplex* untuk menyelesaikan masalah *linear programming*. Istilah *programming* di sini tidak mengacu pada pemrograman komputer, tetapi pada program pelatihan dan penjadwalan logistik yang diadakan oleh pihak militer Amerika dimana masalah-masalah tersebut menjadi fokus riset yang dilakukan Dantzig. *Linear programming* sendiri merupakan metode untuk menyelesaikan fungsi linier, baik fungsi tujuan maupun Batasan (*constraint*).

Dalam perkembangan selanjutnya, optimisasi sangat berhubungan dengan perkembangan komputer karena proses optimisasi ini umumnya dijalankan di komputer. Di awal-awal perkembangannya, optimisasi hanya dilakukan secara intensif untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan penting di bidang militer yang melibatkan teknologi tinggi, kemudian penelitian di bidang optimisasi berkembang pesat ditambah harga komputer semakin terjangkau sehingga banyak metode-metode optimisasi baru.

Optimisasi dipakai di hampir semua bidang ilmu seperti bidang teknik, sains, ilmu sosial, ekonomi dan bisnis. Banyak permasalahan di bidang teknik, sains, dan ekonomi yang dapat dinyatakan dalam permasalahan optimisasi seperti meminimalkan biaya, waktu, dan resiko atau memaksimalkan keuntungan dan kualitas.

2.2 Graf

Menurut Perdana (2018), secara sederhana graf didefinisikan sebagai kumpulan titik yang dihubungkan oleh garis. Secara matematis, suatu graf G adalah pasangan himpunan (V, E) dengan V adalah himpunan tak kosong berhingga dari elemen yang disebut titik (*vertices*), sedangkan E adalah himpunan berhingga (boleh kosong) dari pasangan titik dalam $V \times V$ yang disebut sisi (*edge*). Graf dengan *vertex* dan *edge* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Edge dan Vertex*

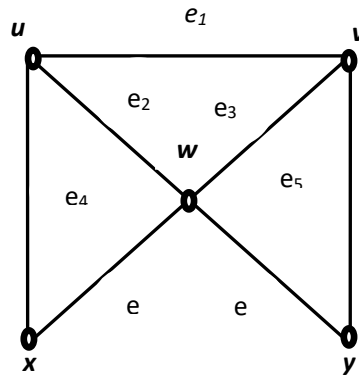
G adalah graf dengan himpunan simpul V (*vertex*) dan himpunan sisi E (*edge*) adalah:

$$V = \{A, B, C, D\}$$

$$E = \{(A, B), (A, C), (B, C), (B, D), (C, D)\}$$

2.2.1 Graf Berjalan (Walk)

Menurut Marsudi (2016), suatu jalan (*walk*) $u-v$ dalam graf G merupakan barisan titik-titik dalam G yang dimulai dari titik u dan berakhir di titik v sedemikian sehingga titik-titik yang berturutan dalam barisan adalah berdekatan (*adjacent*). Graf H dapat dilihat pada Gambar 2



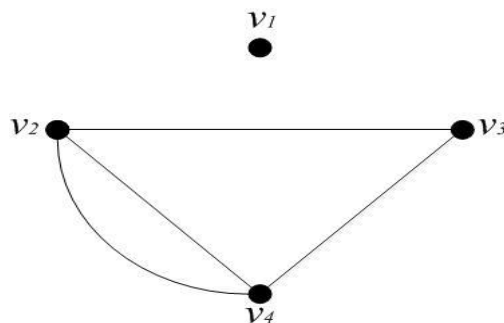
Gambar 2. *Walk* pada graf

2.2.2 Lintasan Graf (Path)

Menurut Marsudi (2016), sebuah *path* (lintasan) yang panjangnya k pada suatu graf adalah barisan dari vertex-verteks v_0, v_1, v_k sehingga untuk $k = 1, 2, \dots, k, \{v_{i-1}, v_i\}$. Barisan u, v, w, x , adalah sebuah *path* dengan panjang 3 pada graf H pada gambar 2.

2.2.3 Jalan Tapak (Trail)

Menurut Marsudi (2016), jalan tapak (*trail*) adalah *walk* yang semua isinya adalah berlainan. Setiap *path* pasti *trail*, tetapi setiap *trail* belum tentu *path*. *Walk* yang dibangun oleh *trail* dan *path* dalam suatu graf dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. *Trail* dan *Path* dalam Graf

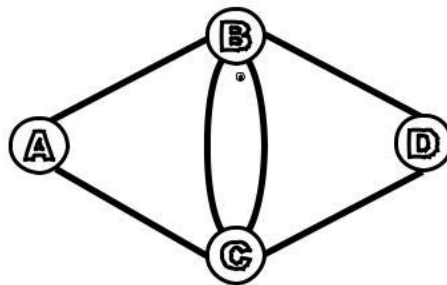
2.2.4 Graf Berarah dan Tidak Berarah

Menurut Marsudi (2016), suatu graf tak berarah G adalah pasangan himpunan (V,E) dengan V adalah himpunan tak kosong berhingga dari elemen yang disebut titik (*vertices*) dan E adalah himpunan berhingga (boleh kosong) dari pasangan titik dalam $v \times v$ yang disebut sisi (*edge*).

Jalan (*walk*) tertutup yang mengandung setidaknya tiga simpul dan semua simpulnya berbeda disebut *cycle*. Suatu *cycle* dikatakan genap (*even cycle*) jika banyaknya sisi dan simpul adalah genap. Sebaliknya disebut *cycle* ganjil (*odd cycle*). *Cycle* dengan n buah sisi disebut n *cycle*. Berdasarkan orientasi arah pada sisi, maka secara umum graf dibedakan menjadi 2 jenis yaitu:

a. Graf Tidak Berarah

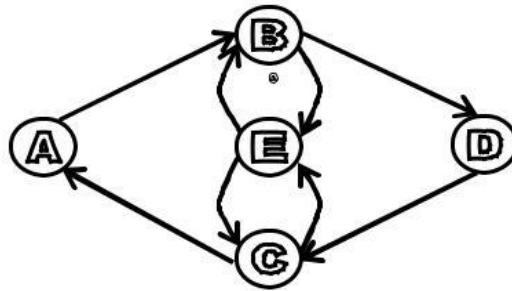
Suatu graf disebut graf tidak berarah (*undirected graph*) jika setiap sisinya tidak berarah. Gambar 4 merupakan graf tidak berarah dengan $V=\{A, B, C, D\}$. Graf tidak berarah dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Graf Tidak Berarah

b. Graf Berarah

Graf yang setiap sisinya diberikan orientasi arah disebut sebagai graf berarah. Graf berarah terdapat pada Gambar 5.

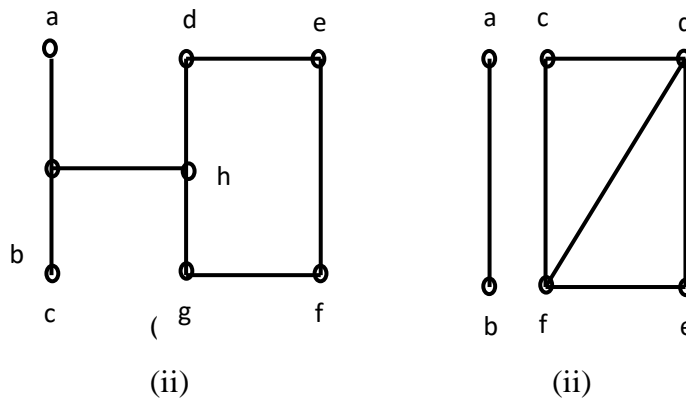


Gambar 5. Graf Berarah

2.2.5 Graf Terhubung dan Graf Tidak Terhubung

Menurut Wirdasari (2011), sebuah graf dikatakan terhubung (*connected*) jika terdapat sebuah *path* antara setiap pasangan verteks-verteksnya.

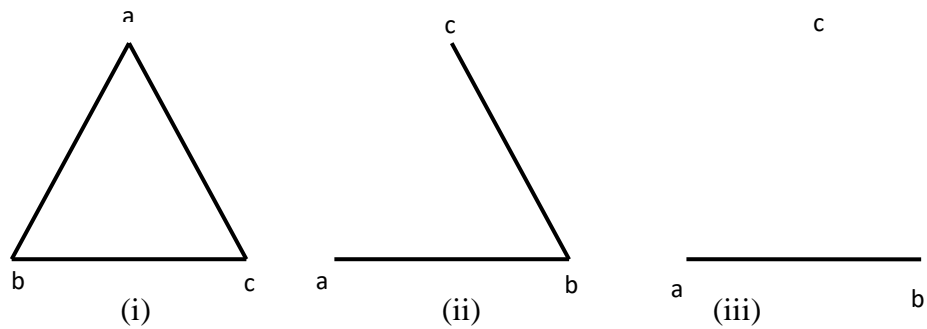
Graf G yang tidak terhubung disebut tidak terhubung (*disconnected*). Subgraf terhubung dari G yang bukan subgraf sejati dari subgraf terhubung lain dari G disebut komponen dari G .



Gambar 6. Graf G Terhubung (i) dan Tidak Terhubung (ii)

2.2.6 Graf Hamilton

Menurut Marsudi (2016), suatu graf G disebut graf Hamilton (*Hamiltonian graph*) jika graf G memiliki *sikel Hamilton* (*cycle* tertutup yang memuat semua titik dari G). Lintasan Hamilton merupakan lintasan yang melalui setiap simpul dalam graf tersebut tepat satu kali. Jika lintasan tersebut kembali ke simpul awal membentuk lintasan tertutup maka lintasan ini disebut sirkuit Hamilton. Graf yang memiliki sirkuit Hamilton dinamakan graf Hamilton, sedangkan graf yang hanya memiliki lintasan Hamilton disebut graf semi-Hamilton. Graf Hamilton dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Graf Hamilton(i), Graf Semi-Hamilton(ii), Graf Bukan Hamilton(iii)

2.3 *Traveling Salesman Problem (TSP)*

Traveling Salesman Problem (TSP) adalah masalah optimasi penentuan rute kapan seseorang akan datang mengunjungi setiap lokasi dari himpunan tempat-tempat yang ditentukan. Mulai dari lokasi pertama dan kemudian mengunjungi semua lokasi yang telah ditentukan tepat satu kali kemudian kembali ke lokasi awal pada akhir dari rute perjalanan dengan jarak, waktu dan biaya yang minimum.

Model TSP dinyatakan dengan sebuah graf lengkap dan berbobot $G=(V,E)$ dengan V himpunan *vertex* atau himpunan titik dan E adalah himpunan dari *edge* yang merupakan jarak dari suatu titik ke titik lain, dengan kata lain TSP termasuk kedalam problem menemukan lintasan atau siklus Hamilton.

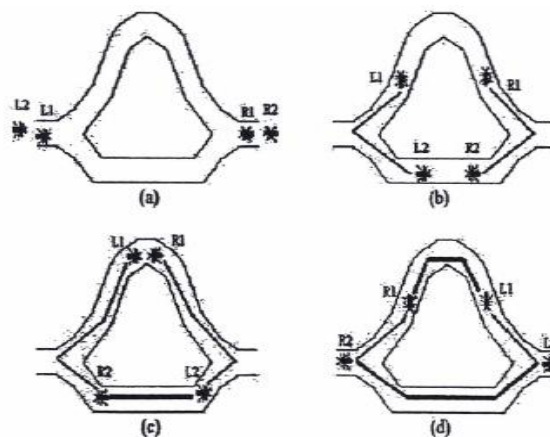
Permasalahan TSP dapat diselesaikan menggunakan metode eksak maupun dengan menggunakan metode pendekatan yaitu seperti metode *heuristic* atau *metaheuristic*. Penyelesaian TSP dengan metode eksak, TSP dimodelkan sebagai *Integer Linear Programming (ILP)* dimana ILP ini merupakan masalah khusus dari *Linear Programming (LP)* dalam bidang optimisasi. Kemudian untuk penyelesaian TSP dengan metode pendekatan yaitu dengan menggunakan metode *metaheuristic* dengan salah satu metodenya yang dikenal seperti *Ant Colony Optimization (ACO)*.

2.4 *Algoritma Ant Colony Optimization (ACO)*

2.4.1 **Semut dan Perilakunya**

Menurut Amalia (2015), semut merupakan serangga sosial yang berkelompok, semut bertahan hidup dengan mencari makan dengan cara bekerja sama. Perilaku semut dalam melakukan perjalanan dari sarang menuju makanan sampai kembali ke sarangnya menghasilkan jalur yang terpendek antara sumber

makanan dan sarangnya, dalam perjalanannya semut menaruh sejumlah informasi yang disebut *feromon*. Proses peninggalan *feromon* ini disebut *stigmergy*, semut memodifikasi lingkungan untuk mengingat jalan pulang ke sarang dan berkomunikasi dengan sesamanya. Berjalannya waktu, jejak *feromon* akan menguap dan akan berkurang daya tariknya. Gambar 8 menunjukkan perjalanan semut menemukan jalur terpendek dalam mencari makanan.



Gambar 8. Proses dari *Stigmergy*

Berdasarkan Gambar 8 (a) semut-semut memulai perjalanannya, pada Gambar 8 (b) semut melakukan perjalanan secara acak. Hal ini dikarenakan belum terdapat *feromon* pada jalur, sebagian semut berjalan pada bagian atas yang panjang dan sebagian lainnya semut berjalan pada jalur bawah jalur yang lebih pendek. Saat melakukan perjalanan setiap semut menaruh *feromon* (garis) pada jalur yang dilewati. Setiap semut melakukan perjalanan dengan kecepatan yang sama dan tetap, akibatnya dapat dilihat bahwa semut-semut yang melewati jalur atas baru menempuh setengah perjalanan dan semut-semut yang melewati jalur bawah telah mendekati ujung dari perjalanannya, hal ini dapat dilihat pada Gambar 8 (c). Berdasarkan Gambar 8 (d) dapat dilihat bahwa jalur bawah memiliki garis (*feromon*) yang lebih tebal atau lebih banyak, pada akhirnya semut-semut pada jalur ini sampai pada ujung jalur terlebih dahulu dibandingkan dengan jalur yang lain. Oleh karena itu, semut-semut baru lebih tertarik untuk melewati jalur ini.

2.4.2 *Ant Colony Optimization (ACO)*

Ant Colony Optimization (ACO) merupakan salah satu metode meta-heuristik yang digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi kombinatorial yang cukup sulit. *Ant Colony Optimization* dapat diartikan teknik probabilitas, untuk menyelesaikan masalah berdasarkan tingkah laku semut dalam sebuah koloni semut yang mencari makanan. ACO awalnya dikembangkan untuk memecahkan persoalan TSP dengan mempertimbangkan pedagang keliling sebagai semut buatan (Ramadhani, Hertono, Hindari, 2016).

Ant Colony Optimization algoritma yang diwakili oleh perilaku semut di dunia nyata untuk membangun rute terpendek antara sumber makanan dan sarangnya. Setiap semut memulai rute ke sumber makanan secara acak dari sebuah simpul. Pergerakan semut juga dipengaruhi oleh intensitas jejak kaki semut atau *feromon* yang terkandung pada rute yang akan dilewati. Setiap node yang dikunjungi semut membentuk rute, dan ini dilakukan berulang kali. Semut memilih node yang akan dikunjungi menggunakan fungsi probabilitas, berdasarkan jarak simpul dan jumlah *feromon* yang ditentukan di sisi penghubung simpul. Node yang memiliki jarak lebih kecil dan memiliki tingkat *feromon* yang tinggi akan lebih banyak dikunjungi semut.

Node yang pernah dikunjungi semut akan terekam dalam memori yang dimana dipanggil dengan nama tabulis. Tabulis ini mencegah semut pergi ke simpul yang telah dikunjungi. Tabulis akan penuh Ketika semua semut telah mengunjungi semua node. Kemudian aturan pembaharuan *feromon* diterapkan. Perhitungan kerugian kada *feromon* disetiap sisi dilakukan. Untuk rute yang lebih pendek, hilangnya tingkat *feromon* akan relatif lebih lama dibandingkan dengan rute yang lebih panjang.

Proses tersebut akan berulang hingga *tour* mencapai nilai maksimal atau sistem berada dalam posisi stagnan, yaitu situasi dimana sistem tidak lagi mencari solusi alternatif lain.

2.4.3 Langkah – Langkah kerja algoritma *Ant Colony Optimization*

Terdapat tahapan-tahapan yang dilakukan dalam algoritma *Ant Colony Optimization (ACO)*, yaitu :

1. Tentukan simpul berikutnya yang akan dilewati semut dengan menghitung peluangnya menggunakan rumus probabilitas yang ditunjukkan pada persamaan (1) :

$$P_{ij}^k = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{j \in N_i^k} [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}, \text{ if } j \in N_i^k \quad (1)$$

P_{ij}^k : peluang semut k dari simpul i menuju ke simpul j pada waktu t

$\tau_{ij}(t)$: jumlah *feromon* dari semut antara titik i ke titik j pada waktu t

$\eta_{ij}(t)$: jarak visibilitas dari titik i ke titik j pada waktu t dengan $\eta_{ij}(t) =$

$$\frac{1}{d_{(i,j)}}$$

$\in N_i^k$: himpunan titik yang akan dikunjungi semut k yang berada di titik i

α : parameter *feromon* semut

β : parameter control jarak

dimana α adalah sebuah parameter yang mengontrol bobot relative dari *feromon*, untuk β adalah parameter pengendali jarak dengan aturan $1 < \alpha \leq 0$ dan $\beta > 0$. $P_{k(i,j)}$ adalah probabilitas semut k memilih untuk bergerak dari titik i ke titik j . Kriteria pemilihan node berikutnya menggunakan *roulette* algoritma *wheel selection*, dengan Langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Tentukan satu nilai acak antara 0 dan 1
 - b. Hitung nilai probabilitas kumulatif $P_{ij}^k(t)$
 - c. Bandingkan nilai acak pada Langkah a dengan setiap probabilitas kumulatif nilai $P_{ij}^k(t)$ pada Langkah b
 - d. Jika nilai probabilitas kumulatif $P_{ij}^k(t)$ lebih besar dari random nilai, maka akan dipilih sebagai node berikutnya.
2. Ulangi Langkah 2 untuk setiap semut sampai semua simpul dipilih dan membentuk rute.
 3. Hitung total jarak setiap semut yang dilewati semut
- Koloni semut akan meninggalkan jejak-jejak kaki pada rute antar kota yang dilaluinya. Adanya penguapan dan perbedaan jumlah semut yang lewat, menyebabkan kemungkinan terjadinya perubahan harga

intensitas jejak kaki semut antar kota. Persamaan (2)perubahannya yaitu :

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad (2)$$

Dengan $\Delta\tau_{ij}^k$ adalah perubahan harga intensitas *feromon* antar kota setiap semut yang dihitung berdasarkan persamaan (3) :

$$\Delta\tau_{ij}^k = \frac{Q}{L_k} \quad (3)$$

4. Pilih rute terbaik dari semua rute yang dihasilkan, yaitu rute dengan jarak total minimum diperoleh pada langkah ke 4
5. Perbaharui *feromon* Global

Aturan Pembaharuan *feromon* Global. Pembaharuan *pheromon* global hanya dilakukan oleh semut yang membuat tur terpendek sejak awal, setelah semut menyelesaikan tur dan menaruh *feromon* di jalur terbaik yang dilewati, tingkat *feromon* diperbaharui dengan menerapkan aturan pembaharuan *feromon* global yang ditunjukkan oleh persamaan (8) dan (9)

$$\tau_{ij}(t) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t) \quad (4)$$

$$\text{Dengan } \Delta\tau_{ij}(t) = \begin{cases} \frac{1}{L_k}, & \text{jika semut } k \text{ dari node } i \text{ ke } j \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (5)$$

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

Dimana :

$\tau_{ij}(t)$: jumlah *feromon* semut dari simpul *i* ke simpul *j* pada waktu *t*

$\Delta\tau_{ij}(t)$: perubahan nilai *feromon* di simpul (*i,j*) yang dibuat oleh semut

L_k : panjang perjalanan semut *k*

ρ : parameter penguapan *feromon* global dengan $0 \leq \rho < 1$

$d_{\text{tabu}(n), \text{tabu}(1)}$ yaitu jarak yang terlewati sebagai lintasan terbaik. Seekor semut yang ditempatkan pada titik t memilih untuk menuju ke titik v kemudian diberikan bilangan pecahan acak ρ dimana $0 < \rho \leq 1$, ρ adalah sebuah parameter yaitu probabilitas semut melakukan eksplorasi (penjelajahan) pada setiap tahapan. Update *feromon* dilakukan dengan tujuan untuk memperbaharui jumlah *feromon* yang ditinggalkan semut akibat penguapan. Jumlah *feromon* yang telah diupdate akan digunakan sebagai informasi bagi semut di iterasi berikutnya.

6. Algoritma ini dihentikan jika kriteria penghentian telah tercapai, yaitu ketika jumlah iterasi telah tercapai
7. Kembali ke langkah 2 jika kriteria berhenti belum tercapai

2.4.4 Inisialisasi *Parameter Ant Colony Optimization*

Parameter-parameter yang digunakan dalam *Ant Colony Optimization* antara lain:

- a. Intensitas jejak semut atau *feromon* τ_{ij} dan perubahannya ($\Delta\tau_{ij}$). τ_{ij} harus diinisialisasi sebelum memulai siklus. τ_{ij} digunakan dalam persamaan probabilitas node yang akan dikunjungi. $\Delta\tau_{ij}$ diinisialisasi setelah selesai satu siklus. $\Delta\tau_{ij}$ digunakan untuk menentukan τ_{ij} untuk siklus selanjutnya.
- b. Banyak kota (n) termasuk x dan y (koordinat) atau d_{ij}
- c. Tetapan siklus semut (Q), Q merupakan konstanta yang digunakan dalam persamaan untuk menentukan $\Delta\tau_{ij}$.
- d. Tetapan pengendali intensitas *feromon* (α), α digunakan dalam persamaan probabilitas node yang akan dikunjungi yang berfungsi sebagai pengendali intensitas jejak semut.
- e. Tetapan pengendalian visibilitas jarak (β). β digunakan dalam persamaan probabilitas node yang akan dikunjungi yang berfungsi sebagai pengendali visibilitas kepekaan terhadap jarak.
- f. Jumlah semut (m)

- g. Visibilitas antar kota (invers dari jarak) $\eta (i,j)$, digunakan dalam persamaan probabilitas kota yang akan dikunjungi dimana nilai $\eta (i,j)$ adalah jarak dari node i ke j .
- h. Tetapan penguapan jejak semut ρ yang digunakan untuk menentukan $\tau (i,j)$ untuk siklus selanjutnya. Nilai ρ ditentukan oleh pengguna. Kemudian m semut ditempatkan pada kota pertama yang ditentukan secara acak sebagai titik awal .

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Data

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari PT. Kobe Boga Utama tahun 2021 berupa data biaya pengiriman antar daerah dan banyaknya (n) lokasi dari tempat kota terpilih atau daerah. Data biaya pengiriman produk bumbu dan makanan siap saji tersebut dapat dilihat pada lampiran 3.

3.2 Tahapan Analisis

Tahapan analisis dalam pengaplikasian algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dalam *Traveling Salesman Problem* (TSP) pada pengiriman produk bumbu dan makanan siap saji di PT. Kobe Boga Utama, dengan keterangan sebagai berikut:

1. Pada tahap pertama yaitu melakukan inisialisasi parameter ACO dengan memberikan nilai *feromon* awal sebesar $\tau_0 = 0.01$ untuk semua jalur, lalu memberikan nilai α yang berbeda yaitu dengan nilai $\alpha = 0.5, 0.7$, dan 1 kemudian inisialisasi parameter nilai $\beta = 2$ dan $\rho = 0.5$.
2. Membuat rute dengan menghitung peluang semua rute antar titik dimana aturan yang berlaku pada ACO yaitu seekor semut yang ditempatkan pada titik i memilih menuju ke titik j dengan rumus, $P_{(i,j)}^k$ adalah probabilitas dimana semut k memilih bergerak dari titik i ke titik j menggunakan rumus probabilitas yang ditunjukkan pada persamaan (6) :

$$P_{ij}^k = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{j \in N_i^k} [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}, \text{ if } j \in N_i^k \quad (6)$$

dengan rumus invers jarak yang ditunjukkan persamaan (7)

$$\eta_{(i,j)} = \frac{1}{d(i,j)} \quad (7)$$

3. Hitung total jarak setiap semut yang dilewati semut Koloni semut akan meninggalkan jejak-jejak kaki pada rute antar kota yang dilaluinya. Adanya penguapan dan perbedaan jumlah semut yang lewat, menyebabkan kemungkinan terjadinya perubahan harga intensitas jejak kaki semut antar kota. Persamaan (8)perubahannya yaitu :

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad (8)$$

Dengan $\Delta\tau_{ij}^k$ adalah perubahan harga intensitas *feromon* antar kota setiap semut yang dihitung berdasarkan persamaan (9) :

$$\Delta\tau_{ij}^k = \frac{Q}{L_k} \quad (9)$$

Pilih rute terbaik dengan jarak total minimum dari hasil persamaan-persamaan tersebut.

4. Melakukan update *feromon global* setiap kali semut melakukan perpindahan agar setiap jalur yang dilewati tidak ada jalur yang mengalami penumpukan *feromon* sehingga dilakukan penguatan atau pengurangan *feromon* yaitu menggunakan persamaan (10) berikut ini:

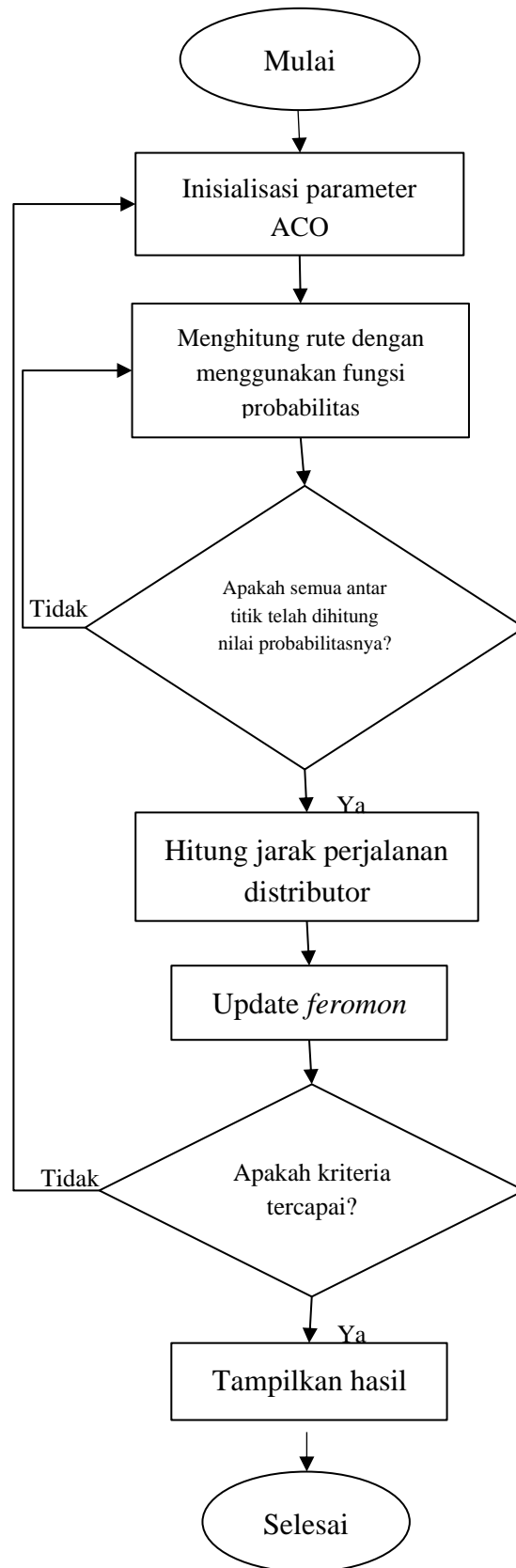
$$\tau(i, j) \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau(i, j) + \rho \cdot \Delta\tau(i, j) \quad (10)$$

5. Perhitungan panjang rute tertutup atau L_K setiap semut dilakukan setelah satu siklus (iterasi) diselesaikan oleh semua semut. Perhitungan ini dilakukan berdasarkan $tabu_k$ masing-masing dengan persamaan (11) berikut :

$$L_K = d_{tabu_k(n), tabu_k(1)} + \sum_{j=1}^{n-1} d_{tabu_k(j), tabu_k(j+1)} \quad (11)$$

6. Algoritma dihentikan jika kriteria sudah tercapai, yaitu ketika jumlah iterasi telah tercapai.
7. Kembali ke langkah 2 apabila kriteria jumlah iterasi maksimal belum tercapai.
8. Menampilkan hasil yang didapatkan lintasan dengan biaya terkecil.
9. Mengaplikasikan model kedalam sintaks dengan menggunakan *software* MATLAB R2005a.

Berikut untuk tahapan analisis dalam bentuk diagram alir atau *flow chart* :



Gambar 9. *flow chart* tahapan analisis

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Pendistribusian PT. Kobe Boga Utama Kota Depok

Proses pendistribusian yang terjadi di PT. Kobe Boga Utama Kota Depok penulis mendapatkan informasi dari narasumber yang bekerja di perusahaan tersebut. Berikut informasi mengenai proses pendistribusiannya yang terjadi saat ini yaitu masih belum menggunakan metode atau perhitungan tertentu untuk menentukan rute terpendek, jadi pada saat ini proses pendistribusian yang berjalan seperti berikut :

1. Tidak ada rute pasti yang mana dilalui terlebih dahulu karena seorang salesman atau orang yang melakukan pendistribusian hanya diberikan list nama-nama toko dan alamatnya perhari perkecamatan.
2. Memulai perjalanan dari alamat toko yang diketahui.
3. Memulai pada dari toko yang tidak tentu atau secara acak.
4. Menggunakan bantuan *google maps* pada *handphone*.
5. Pendistribusiannya perhari perkecamatan untuk cakupannya dan ada penjadwalan pergantian orang setiap hari dalam melakukan pendistribusian dengan kapasitas muatan mobil 650 karton/dus.

Selain itu penulis mendapatkan informasi mengenai rincian biaya yang dikeluarkan dalam proses pendistribusiannya yang diperlihatkan pada tabel 1 berikut :

Tabel 1. Rincian Biaya Pengiriman

No	Rincian biaya pengiriman	Total biaya (dalam rupiah)
1	Solar 10 liter/hari	Rp. 68.000,00
2	Biaya parkir	Rp. 20.000,00
3	Biaya retribusi	Rp. 20.000,00
Total		Rp. 108.000,00

Berdasarkan tabel 1 untuk biaya yang dikeluarkan pada saat pendistribusian yaitu bahan bakar bensin jenis solar sebanyak 10 liter dengan biaya yang dikeluarkan Rp. 68.000,00, lalu biaya parkir dan biaya retribusi sebesar Rp. 20.000,00 jadi total biaya perjalanan yang dikeluarkan untuk sekali jalan yaitu sebesar Rp. 108.000,00.

4.2 Penyelesaian Traveling Salesman Problem dengan menggunakan algoritma Ant Colony Optimization.

Menyelesaikan permasalahan TSP tentu dapat diselesaikan dengan perhitungan secara manual tanpa bantuan *software* akan tetapi perlu waktu yang lama dikarenakan banyak titik atau nodenya dan iterasinya agar diperoleh hasil yang baik walaupun hanya mendekati optimal dengan mengikuti langkah-langkah kerja algoritma ACO sendiri. Sebagai salah satu contoh langkah awal perlu diketahui data jarak atau biaya perjalan antar titik dengan menghitung secara manual masing-masing titik. Berikut sebagai salah satu contoh perhitungan mencari biaya perjalanan antar titik :

$$d_{(i,j)} = \left(\left(\frac{\text{jarak (titik } i, \text{ titik } j)}{\text{jarak tempuh 1 liter kendaraan jenis elf bahan bakar solar}} \right) \times \text{harga 1 liter solar} \right) + \text{biaya parkir dan biaya retribusi.}$$

$$d_{(1,2)} = \left(\left(\frac{0,32616}{13} \right) \times 6.800 \right) + (2.000) = 2.170,60$$

Hasil selanjutnya untuk perhitungan biaya perjalanan (dalam satuan rupiah) titik ke 1 sampai ke 5 PT. Kobe Boga Utama Kota Depok dapat dilihat pada tabel 2 dan untuk hasil perhitungan lengkap dapat dilihat pada lampiran 1

Tabel 2. Data biaya perjalanan antar toko

Toko	1	2	3	4	5
1	0	2170	3993	4495	4213
2	2170	0	4164	4588	4383
3	3993	4164	0	4257	2246
4	4495	4588	4257	0	4226
5	4213	4383	2246	4226	0

Setelah dihitung semua biaya antar titiknya yang ditunjukkan pada lampiran 1, 2, dan 3 karena untuk penelitian kali ini memilih tiga kasus pendistribusian untuk tiga Kecamatan yang berada di Kota Depok yaitu untuk Kecamatan Sawangan, Pancoran Mas, dan Cimanggis. Pemilihan ketiga Kecamatan tersebut dikarenakan memiliki banyak pendistribusian atau titik yang dituju yang mengakibatkan kurang efektif pada proses pendistribusiannya seperti tidak dapat dicapai dengan baik dalam waktu sehari untuk perkecamatan tersebut.

Data yang diperlukan pada penyelesaian TSP dengan ACO adalah suatu data biaya pengiriman antar toko untuk tiga kecamatan kota Depok yaitu Sawangan, Pancoran Mas, dan Cimanggis pada pendistribusian PT. Kobe Boga Utama kota Depok, yang sebelumnya telah dihitung biaya perjalanan antar titik atau toko yang diperlihatkan pada lampiran 1, 2, dan 3 yang dimodelkan dalam bentuk matriks simetris.

Berhubung pada permasalahan TSP kali ini tidak memungkinkan dengan perhitungan manual karena akan memakan waktu serta perhitungan yang mungkin tidak tepat. Oleh sebab itu pada penyelesaian kali ini dilakukan menggunakan bantuan *software* MATLAB R2005a dengan menggunakan metode algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dengan sintaks yang dapat dilihat pada lampiran 4, dengan menggunakan nilai parameter α dan β yang berbeda dengan nilai α berada pada selang $0 < \alpha \leq 1$ serta nilai $\beta > 0$ yang dapat menghasilkan total biaya pendekatan terkecil.

4.2.1 Hasil Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO)

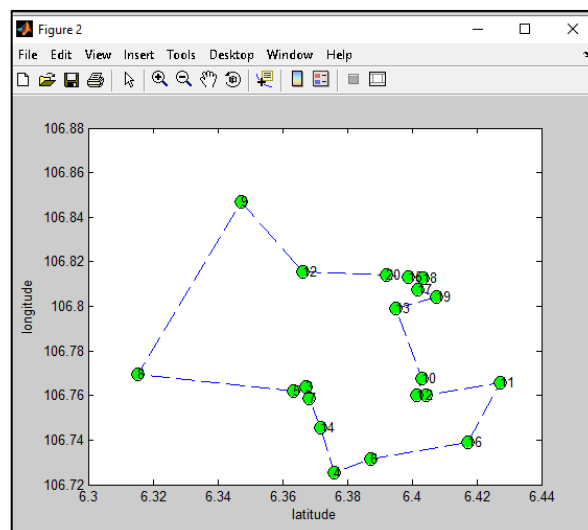
Setelah selesai membuat program sintaks algoritma ACO pada *software* MATLAB R2005a, lalu menampilkan output dengan solusi yang diperoleh dalam menyelesaikan TSP menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dengan ditentukan untuk nilai α nya yaitu 0.5, 0.7, dan 1 untuk ketiga Kecamatan tersebut, dan untuk nilai β yaitu 2 dan nilai ρ yaitu 0.5 dengan hasil output seperti berikut :

Hasil yang diperoleh untuk Kecamatan Sawangan kota Depok bisa dilihat pada tabel 3 berikut :

Tabel 3. Perbandingan hasil pada Kecamatan Sawangan dengan menggunakan beberapa parameter

Jumlah Iterasi	α	β	Total Biaya Terkecil (dalam rupiah)
300	0,5	2	Rp. 64.044
300	0,7	2	Rp. 64.044
300	1	2	Rp. 64.044

Berdasarkan tabel 3 menjelaskan bahwa setelah melakukan beberapa percobaan dengan nilai α dan β diperoleh total biaya pendekatan terkecil sebesar Rp. 64.044 dalam 300 iterasi, dengan gambar rute perjalanan yang bisa dilihat pada gambar 10 berikut :



Gambar 10. Graf hasil rute perjalanan pada Kecamatan Sawangan.

Berdasarkan gambar 10 memperlihatkan graf dengan lintasan Hamilton yang berarti merupakan lintasan yang melalui setiap simpul dalam graf tersebut

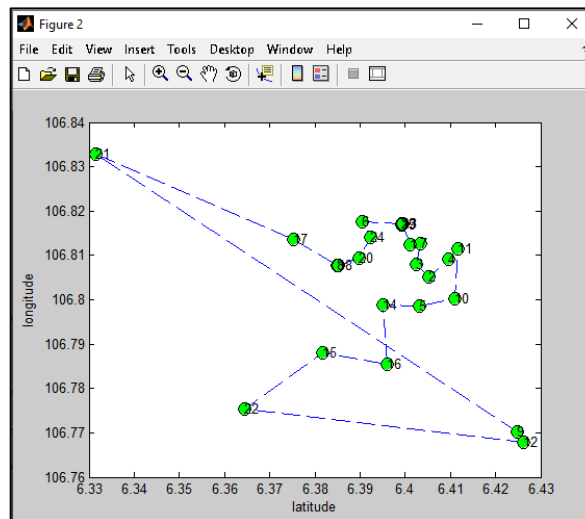
tepat satu kali dan kembali ke titik awal. Gambar graf tersebut menunjukkan rute perjalanan yang dilewati adalah $9 \rightarrow 12 \rightarrow 20 \rightarrow 15 \rightarrow 18 \rightarrow 17 \rightarrow 19 \rightarrow 13 \rightarrow 10 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 11 \rightarrow 16 \rightarrow 6 \rightarrow 4 \rightarrow 14 \rightarrow 7 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 8$ artinya rute perjalanan dimulai dari node ke 9 dan berakhir di node ke 8.

Hasil yang diperoleh untuk Kecamatan Pancoran Mas Kota Depok dapat dilihat pada tabel 4 berikut :

Tabel 4. Perbandingan hasil pada Kecamatan Pancoran Mas menggunakan beberapa parameter

Jumlah Iterasi	α	β	Total Biaya Terkecil (dalam rupiah)
300	0,5	2	Rp. 61.009
300	0,7	2	Rp. 61.055
300	1	2	Rp. 61.006

Berdasarkan tabel 4 menjelaskan bahwa setelah melakukan beberapa percobaan dengan nilai α dan β , diperoleh total biaya pendekatan terkecil sebesar Rp. 61.006 dalam 300 iterasi. dengan gambar rute perjalanan yang bisa dilihat pada gambar 11 berikut :



Gambar 11. Graf hasil rute perjalanan pada Kecamatan Pancoran Mas

Berdasarkan gambar 11 memperlihatkan graf dengan lintasan Hamilton yang berarti merupakan lintasan yang melalui setiap simpul dalam graf tersebut tepat satu kali dan kembali ke titik awal. Gambar graf tersebut menunjukkan rute perjalanan yang dilewati adalah $17 \rightarrow 8 \rightarrow 18 \rightarrow 20 \rightarrow 24 \rightarrow 6 \rightarrow 23 \rightarrow 19$

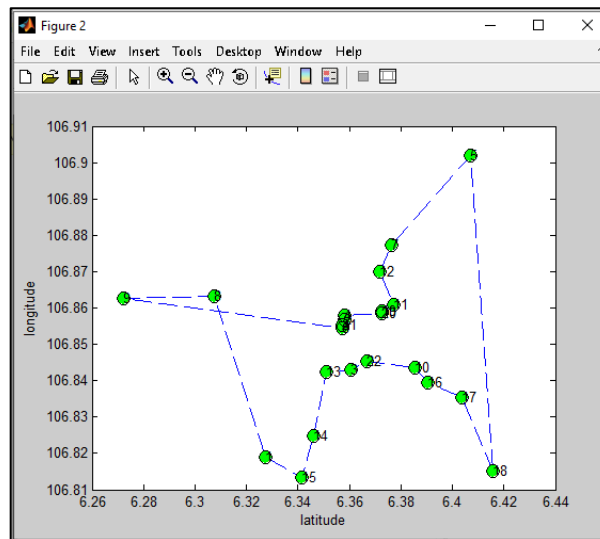
→ 13 → 1 → 7 → 3 → 2 → 4 → 11 → 10 → 5 → 14 → 16 → 15 → 22 → 12 → 9 → 21 artinya rute perjalanan dimulai dari node ke 17 dan berakhir di node ke 21.

Hasil yang diperoleh untuk Kecamatan Cimanggis kota Depok bisa dilihat pada tabel 5 berikut :

Tabel 5. Perbandingan hasil pada Kecamatan Cimanggis menggunakan beberapa parameter

Jumlah Iterasi	α	β	Total Biaya Terkecil (dalam rupiah)
300	0,5	2	Rp. 66.839
300	0,7	2	Rp. 66.839
300	1	2	Rp. 66.839

Berdasarkan tabel 5 menjelaskan bahwa setelah melakukan beberapa percobaan dengan nilai α dan β , diperoleh total biaya pendekatan terkecil sebesar Rp. 66.839 dalam 300 iterasi, dengan gambar rute perjalanan yang bisa dilihat pada gambar 12 berikut :



Gambar 12. Graf hasil rute perjalanan pada Kecamatan Cimanggis

Berdasarkan gambar 12 memperlihatkan graf dengan lintasan Hamilton yang berarti merupakan lintasan yang melalui setiap simpul dalam graf tersebut tepat satu kali dan kembali ke titik awal. Gambar graf tersebut menunjukkan rute perjalanan yang dilewati adalah adalah 18 → 17 → 16 → 10 → 22 → 3 → 13 → 14 → 15 → 1 → 8 → 9 → 6 → 21 → 2 → 4 → 20 → 19 → 11 → 12 → 7 → 5 artinya rute perjalanan dimulai dari node ke 18 dan berakhir di node ke 5.

4.3 Perbandingan Biaya Pendistribusian

Berikut adalah perbandingan biaya pendistribusian yang dikeluarkan sebelum dan sesudah diselesaikan dengan menggunakan metode ACO yang diperlihatkan pada tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Biaya Pendistribusian

Kecamatan	Biaya yang dikeluarkan (dalam rupiah)	
	Sebelum menggunakan ACO	Setelah menggunakan ACO
Sawangan	Rp. 108.000	Rp. 64.044
Pancoran Mas	Rp. 108.000	Rp. 61.006
Cimanggis	Rp. 108.000	Rp. 66.839

Berdasarkan tabel 6 tersebut memperlihatkan biaya pendistribusian yang dikeluarkan setelah menggunakan metode ACO menghasilkan biaya pengeluaran yang jauh lebih kecil dibandingkan biaya sebelum menggunakan metode. Pada Kecamatan Sawangan saja diperoleh keuntungan dengan selisih biaya sebesar Rp. 43.956 atau 40,7%, kemudian untuk Kecamatan Pancoran Mas diperoleh keuntungan dengan selisih biaya sebesar Rp. 46.994 atau 43,513%, dan untuk Kecamatan Cimanggis diperoleh keuntungan biaya dengan selisih biaya sebesar Rp. 41.161 atau 38,112%. Dari hasil tersebut setelah dilakukan penyelesaian dengan metode ACO biaya pengeluaran hampir meperoleh keuntungan setengah dari biaya yang dikeluarkan tanpa menggunakan metode ACO.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian ini dapat dilihat bahwa penerapan metode ACO setelah melakukan percobaan dengan beberapa parameter yang berbeda tidak ada perubahan yang signifikan pada masing-masing hasil output yang didapatkan. Pada keadaan tersebut dalam masalah optimisasi dapat dikatakan keadaan output transient, yang artinya output tidak akan berubah atau tidak banyak perubahan meskipun mengubah-ubah parameternya, sehingga untuk hasil yang diperoleh dapat dikatakan jawaban yang mutlak atau solusi yang terbaik dan berhasil melakukan optimisasi tanpa harus banyak melakukan konfigurasi.

Hasil yang diperoleh pada permasalahan TSP PT. Kobe Boga Utama Kota Depok untuk tiga Kecamatan yang berada di kota Depok yaitu Kecamatan Sawangan diperoleh biaya terkecil perjalanan yaitu sebesar Rp. 64.044 dengan rute yang dilalui yaitu 9 → 12 → 20 → 15 → 18 → 17 → 19 → 13 → 10 → 1 → 2 → 11 → 16 → 6 → 4 → 14 → 7 → 3 → 5 → 8, kemudian untuk Kecamatan Pancoran Mas diperoleh biaya perjalanan terkecil yaitu sebesar Rp. 61.006 dengan rute yang dilalui yaitu 17 → 8 → 18 → 20 → 24 → 6 → 23 → 19 → 13 → 1 → 7 → 3 → 2 → 4 → 11 → 10 → 5 → 14 → 16 → 15 → 22 → 12 → 9 → 21, dan untuk Kecamatan Cimanggis diperoleh biaya perjalanan terkecil yaitu sebesar Rp. 66.839 dengan rute yang dilalui yaitu 18 → 17 → 16 → 10 → 22 → 3 → 13 → 14 → 15 → 1 → 8 → 9 → 6 → 21 → 2 → 4 → 20 → 19 → 11 → 12 → 7 → 5.

Pada hasil penelitian ini tidak bisa ditentukan bahwa metode ACO mendapatkan hasil yang optimal karena seperti metode pendekatan lainnya hasil yang didapatkan hanya mendekati optimal, namun bisa ditentukan juga bahwa hasil yang didapat merupakan solusi yang terbaik.

5.2 Saran

Pada penelitian ini untuk permasalahan TSP dapat diselesaikan dengan baik dengan menggunakan metode ACO, namun untuk permasalahan TSP tidak hanya dapat diselesaikan dengan satu metode saja, tentu banyak metode-metode lain,

karena TSP bersifat tidak ada penyelesaian yang paling optimal selain harus mencoba seluruh kemungkinan penyelesaian yang ada. Maka itu alangkah lebih baik penulis menyarankan untuk penelitian lebih lanjut diharapkan untuk mengeksplorasi mencari referensi mengenai berbagai metode pendekatan lain dan metode yang dapat menghasilkan solusi atau hasil yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, R. 2015. Pencarian Jalur Terpendek Menggunakan *Ant Colony System* (Kasus: Pariwisata Kota Bogor). *Jurnal Faktor Exactra* **8(4)**: 290-304.
<http://dx.doi.org/10.30998/faktorexactra.v8i4.500>
- Buana, I. M. 2016. *Ant Colony Optimization* dalam Penyelesaian *Traveling Salesman Problem* Menggunakan Matlab. Skripsi. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Buhaerah., Busrah. Z., dan Sanjaya. H. 2022. Teori Graf dan Aplikasinya. *Jurnal Online*. <https://repository.iainpare.ac.id>.
- Ernawati. 2017. Impelentasi Algoritma Semut untuk Optimasi Rute Terpendek (Kasus: Pengiriman Barang JNE Alauddin). Skripsi. Universitas Islam Negeri Makassar. Makassar.
- Marsudi. 2016. *Teori Graf*. Malang: Universitas Brawijaya Press.
- Perdana. F. 2018. Modul Ajar Teori Graf. *Jurnal Online*.
<https://edoc.site/modul-tgo-pdf-free.html>.
- PT. Kobe Boga Utama
<https://kobe.co.id/id/tentang-kami>.
- Ramadhania, S. E. 2020. Impelentasi Algoritma Genetika dan Tabu *Search* untuk *Traveling Salesman Problem*. Skripsi. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Ramadhani, T., Hertono, G. F., dan Handari, B. D. 2016.
Ant Colony Optimization Algorithm for Solving The Fixed Destination Multi-depot Multiple Traveling Salesman Problem with Non-random Parameters. *Jurnal AIP Conference Proceedings*.
<https://doi.org/10.1063/1.4991227>.
- Rahardja, T. 2018. *Ant Colony Optimization* dalam *Traveling Salesman problem* (Kasus: PT.Wahana Prestasi Logistik). Skripsi. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta. Jakarta.
- Silalahi, B.P., Fathiah N., dan Supriyo P.T. 2019. *Use of Ant Colony Optimization Algorithm for Determining Traveling Salesman Problem Routes*. *Jurnal Matematika MANTIK* **2(5)** :100-111.
<https://doi.org/10.15642/mantik.2019.5.2.100-111>.

Sitanggang, Y. C., Dewi, C. Dan Wihandika R. C. 2018. Pemilihan Rute Optimal Penjemputan Penumpang *Travel* menggunakan *Ant Colony Optimization* pada *Mutiple-Traveling Salesman problem* (M-TSP). **9(2)**: 3138-3145.

Wirdasari, D. 2011. Teori Graph dan Implementasinya dalam Ilmu Komputer. *Jurnal SAINTIKOM* **1(10)**: 23-24. Universitas Sumatera Utara.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data biaya perjalanan distributor PT. Kobe Boga Utama untuk Kecamatan Sawangan,Depok

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	2170	3993	4495	4213	3845	3925	7033	7913	2442	3541	5775	4274	3931	5064	3554	4738	5029	4553	5146
2	2170	0	4164	4588	4383	3913	4094	7204	8018	2447	3379	5882	4323	4078	5092	3446	4756	5043	4549	5194
3	3993	4164	0	4257	2246	4184	2300	5040	6952	4108	5493	4983	4607	3088	5411	5249	5248	5526	5311	5253
4	4495	4588	4257	0	4226	2752	3956	6343	9210	4911	5791	7213	6393	3169	7244	4528	6982	7282	6896	7198
5	4213	4383	2246	4226	0	4236	2349	4828	6999	4345	5725	5084	4826	3075	5618	5414	5467	5742	5541	5446
6	3845	3913	4184	2752	4236	0	3905	6723	9056	4280	5052	6982	5923	3203	6764	3793	6474	6773	6345	6765
7	3925	4094	2300	3956	2349	3905	0	5147	7252	4101	5455	5279	4810	2788	5631	5072	5448	5733	5484	5494
8	7033	7204	5040	6343	4828	6723	5147	0	6845	7117	8515	5971	6937	5564	7485	8195	7501	7695	7728	7163
9	7913	8018	6952	9210	6999	9056	7252	6845	0	7619	8602	4138	5915	8041	5583	9464	5907	5815	6298	5239
10	2442	2447	4108	4911	4345	4280	4101	7117	7619	0	3400	5490	3878	4247	4644	3864	4310	4598	4114	4748
11	3541	3379	5493	5791	5725	5052	5455	8515	8602	3400	0	6553	4687	5445	5194	3673	4828	5041	4482	5443
12	5775	5882	4983	7213	5084	6982	5279	5971	4138	5490	6553	0	3910	6052	3907	7327	4122	4161	4491	3517
13	4274	4323	4607	6393	4826	5923	4810	6937	5915	3878	4687	3910	0	5390	2851	5725	2641	2923	2790	2871
14	3931	4078	3088	3169	3075	3203	2788	5564	8041	4247	5445	6052	5390	0	6235	4682	6010	6305	5984	6144
15	5064	5092	5411	7244	5618	6764	5631	7485	5583	4644	5194	3907	2851	6235	0	6438	2366	2255	2733	2390
16	3554	3446	5249	4528	5414	3793	5072	8195	9464	3864	3673	7327	5725	4682	6438	0	6084	6351	5816	6585
17	4738	4756	5248	6982	5467	6474	5448	7501	5907	4310	4828	4122	2641	6010	2366	6084	0	2300	2391	2668
18	5029	5043	5526	7282	5742	6773	5733	7695	5815	4598	5041	4161	2923	6305	2255	6351	2300	0	2558	2645
19	4553	4549	5311	6896	5541	6345	5484	7728	6298	4114	4482	4491	2790	5984	2733	5816	2391	2558	0	3059
20	5146	5194	5253	7198	5446	6765	5494	7163	5239	4748	5443	3517	2871	6144	2390	6585	2668	2645	3059	0

Lampiran 2. Data biaya perjalanan distributor PT. Kobe Boga Utama untuk Kecamatan Pancoran Mas, Depok

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0	2149	1928	2198	2463	2354	1805	2632	4465	2574	2281	4620	1962	2516	3460	3250	3170	2631	1953	2341	5889	4677	1962	2181
2	2149	0	1899	2007	2056	2788	2117	2850	3982	2104	2187	4137	2442	2357	3349	2926	3480	2850	2434	2598	6252	4591	2443	2576
3	1928	1899	0	2086	2206	2556	1942	2678	4209	2337	2234	4364	2225	2345	3331	3026	3283	2677	2215	2406	6043	4568	2224	2349
4	2198	2007	2086	0	2373	2885	2082	3095	4078	2184	1847	4232	2423	2694	3688	3247	3683	3095	2420	2818	6420	4931	2431	2709
5	2463	2056	2206	2373	0	2982	2476	2843	3741	2130	2553	3894	2756	2134	3052	2540	3505	2843	2746	2659	6284	4285	2754	2753
6	2354	2788	2556	2885	2982	0	2473	2306	5056	3226	2947	5210	2188	2776	3438	3549	2578	2305	2184	2135	5212	4527	2175	1895
7	1805	2117	1942	2082	2476	2473	0	2770	4419	2512	2146	4574	2015	2599	3566	3302	3307	2770	2010	2481	6016	4791	2021	2314
8	2632	2850	2678	3095	2843	2306	2770	0	4844	3237	3224	4992	2659	2445	2822	3108	2328	1666	2648	1956	5107	3888	2644	2223
9	4465	3982	4209	4078	3741	5056	4419	4844	0	3576	4169	1821	4758	4064	4382	3567	5492	4844	4750	4715	8201	5196	4759	4828
10	2574	2104	2337	2184	2130	3226	2512	3237	3576	0	2318	3731	2857	2593	3504	2889	3886	3237	2850	3008	6667	4725	2860	3013
11	2281	2187	2234	1847	2553	2947	2146	3224	4169	2318	0	4321	2449	2870	3865	3425	3786	3223	2449	2939	6494	5107	2460	2795
12	4620	4137	4364	4232	3894	5210	4574	4992	1821	3731	4321	0	4913	4213	4505	3698	5638	4992	4905	4866	8339	5285	4914	4981
13	1962	2442	2225	2423	2756	2188	2015	2659	4758	2857	2449	4913	0	2752	3634	3513	3087	2658	1678	2381	5724	4819	1681	2112
14	2516	2357	2345	2694	2134	2776	2599	2445	4064	2593	2870	4213	2752	0	2661	2447	3101	2445	2739	2347	5860	3903	2743	2557
15	3460	3349	3331	3688	3052	3438	3566	2822	4382	3504	3865	4505	3634	2661	0	2506	3187	2822	3621	2983	5545	2908	3622	3288
16	3250	2926	3026	3247	2540	3549	3302	3108	3567	2889	3425	3698	3513	2447	2506	0	3693	3108	3501	3098	6316	3583	3506	3335
17	3170	3480	3283	3683	3505	2578	3307	2328	5492	3886	3786	5638	3087	3101	3187	3693	0	2328	3080	2548	4448	3958	3072	2663
18	2631	2850	2677	3095	2843	2305	2770	1666	4844	3237	3223	4992	2658	2445	2822	3108	2328	0	2647	1955	5107	3889	2643	2222
19	1953	2434	2215	2420	2746	2184	2010	2648	4750	2850	2449	4905	1678	2739	3621	3501	3080	2647	0	2370	5722	4806	1676	2102
20	2341	2598	2406	2818	2659	2135	2481	1956	4715	3008	2939	4866	2381	2347	2983	3098	2548	1955	2370	0	5324	4120	2367	1973
21	5889	6252	6043	6420	6284	5212	6016	5107	8201	6667	6494	8339	5724	5860	5545	6316	4448	5107	5722	5324	0	5503	5712	5376
22	4677	4591	4568	4931	4285	4527	4791	3888	5196	4725	5107	5285	4819	3903	2908	3583	3958	3889	4806	4120	5503	0	4805	4425
23	1962	2443	2224	2431	2754	2175	2021	2644	4759	2860	2460	4914	1681	2743	3622	3506	3072	2643	1676	2367	5712	4805	0	2097
24	2181	2576	2349	2709	2753	1895	2314	2223	4828	3013	2795	4981	2112	2557	3288	3335	2663	2222	2102	1973	5376	4425	2097	0

Lampiran 3. Data biaya perjalanan distributor PT. Kobe Boga Utama untuk Kecamatan Cimanggis, Depok

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	0	4636	4181	4696	8481	4497	6232	4628	5911	5464	5577	5732	3741	2950	2685	5673	6352	6948	5325	5297	4545	4557
2	4636	0	2636	1888	5680	1963	3415	4776	6830	3574	2946	2920	2746	3798	4505	3954	4752	5941	2680	2666	1910	2656
3	4181	2636	0	2703	6177	2515	4016	5111	7084	3259	3231	3519	2371	3158	3848	3578	4373	5403	2997	2967	2565	2206
4	4696	1888	2703	0	5626	2032	3357	4777	6836	3597	2924	2866	2813	3867	4573	3979	4773	5974	2662	2651	1978	2707
5	8481	5680	6177	5626	0	5812	4095	8015	9989	5424	4770	4578	6558	7517	8202	5551	5676	6860	4997	5028	5768	5849
6	4497	1963	2515	2032	5812	0	3552	4743	6788	3569	3032	3054	2601	3652	4359	3943	4746	5908	2763	2745	1872	2590
7	6232	3415	4016	3357	4095	3552	0	5903	7948	3835	2778	2321	4321	5333	6036	4150	4719	6072	2891	2924	3505	3476
8	4628	4776	5111	4777	8015	4743	5903	0	3885	6474	5860	5566	4612	4978	5304	6833	7639	8689	5612	5604	4744	5411
9	5911	6830	7084	6836	9989	6788	7948	3885	0	8491	7926	7629	6552	6649	6748	8836	9622	10606	7675	7666	6793	7414
10	5464	3574	3259	3597	5424	3569	3835	6474	8491	0	2917	3538	3813	4340	4906	2204	2996	4229	2975	2958	3580	2899
11	5577	2946	3231	2924	4770	3032	2778	5860	7926	2917	0	2440	3668	4569	5249	3270	3954	5276	2087	2108	3007	2897
12	5732	2920	3519	2866	4578	3054	2321	5566	7629	3538	2440	0	3819	4830	5534	3893	4557	5890	2451	2481	3008	3282
13	3741	2746	2371	2813	6558	2601	4321	4612	6552	3813	3668	3819	0	2879	3582	4127	4916	5896	3410	3383	2653	2749
14	2950	3798	3158	3867	7517	3652	5333	4978	6649	4340	4569	4830	2879	0	2525	4540	5225	5898	4337	4307	3706	3502
15	2685	4505	3848	4573	8202	4359	6036	5304	6748	4906	5249	5534	3582	2525	0	5051	5660	6138	5026	4995	4413	4172
16	5673	3954	3578	3979	5551	3943	4150	6833	8836	2204	3270	3893	4127	4540	5051	0	2624	3846	3353	3337	3957	3242
17	6352	4752	4373	4773	5676	4746	4719	7639	9622	2996	3954	4557	4916	5225	5660	2624	0	3171	4088	4078	4758	4047
18	6948	5941	5403	5974	6860	5908	6072	8689	10606	4229	5276	5890	5896	5898	6138	3846	3171	0	5379	5364	5930	5150
19	5325	2680	2997	2662	4997	2763	2891	5612	7675	2975	2087	2451	3410	4337	5026	3353	4088	5379	0	1850	2739	2694
20	5297	2666	2967	2651	5028	2745	2924	5604	7666	2958	2108	2481	3383	4307	4995	3337	4078	5364	1850	0	2723	2662
21	4545	1910	2565	1978	5768	1872	3505	4744	6793	3580	3007	3008	2653	3706	4413	3957	4758	5930	2739	2723	0	2621
22	4557	2656	2206	2707	5849	2590	3476	5411	7414	2899	2897	3282	2749	3502	4172	3242	4047	5150	2694	2662	2621	0

Lampiran 4. Sintaks *Ant Colony Optimization* (ACO) pada *software* MATLAB R2005a

```
clc;

clear

disp('ANT Colony Optimization (ACO) for');

disp('Traveling Salesman Problem (TSP)');

%lat = [6.327526 6.358085 6.360493 6.358256 6.40702 6.357165 6.376483
6.307637 6.272092 6.38526 6.377098 6.371739 6.350978 6.346143 6.341391
6.390575 6.403781 6.415656 6.372741 6.37257 6.357334 6.366744];

%lon = [106.819015 106.856852 106.842905 106.858052 106.902025 106.854504
106.877364 106.86333 106.862627 106.843596 106.860756 106.870079
106.842468 106.824765 106.8135 106.839592 106.835347 106.815213
106.859171 106.858637 106.855439 106.845254];

D = zeros(length(lat),length(lon));

for i=1:length(lat)

for j=1:length(lon)

if i==j

D(i,j) = 0;

else

lat1 = deg2rad(lat(i));

lat2 = deg2rad(lat(j));

lon1 = deg2rad(lon(i));

lon2 = deg2rad(lon(j));

dlat = lat2 - lat1;

dlon = lon2 - lon1;

a = sin(dlat / 2)^2 + cos(lat1) * cos(lat2) * sin(dlon / 2)^2;

c = 2 * asin(sqrt(a));

r = 6371;
```



```

D(i,j) = c * r;

end

end

end

D=DistanceMatrix(); %dimana D memodelkan data dalam bentuk matriks simetris
yang diinput

nCity=size(D,1);

etha=(1./D); % the heuristic information untuk menghitung nilai inves biaya
perjalanan antar titik

etha(find(etha == Inf))=0.0000001; % In case d(ij) = 0 for some arc (i, j), the
corresponding etha(ij) is set to a very small value.

tau0=1;

tau=tau0*ones(nCity,nCity); % the desirability matrix, to be one for all arcs. (same
probability)

alpha=1;

beta=2;

rho=0.5;

nAnt=nCity;

empty_ant=struct();

empty_ant.Tour=[]; % city locations

empty_ant.L=0; % contains the length of tours

empty_ant.P=[]; % the probability of going from city i to city j

ant=repmat(empty_ant,nAnt,1);

max_it=300;

best_L=repmat(nan,max_it,1);

for t=1:max_it % iterations

for k=1:nAnt % placing ants at random positions. in total 30 ants at 30 cities.

```

```

ant(k).Tour=randint(1,1,[1 nCity]);

end

for i=2:nCity % first all ants choose their desired next city and then move to their
next desired until the make a complete tour.

for k=1:nAnt %% Ants goes in parrallel

N=find(~ismember(1:nCity,ant(k).Tour)); % location of non visited cities

ant(k).P=zeros(1,nCity); % 1*30 matrices

ii=ant(k).Tour(end); % location of start city, (backing to starting city) % tour
construction

for j=1: numel(N) %probability from city i to city j

jj=N(j); % non visited city locations

ant(k).P(jj)=tau(ii,jj)^alpha*etha(ii,jj)^beta;

end

ant(k).P=ant(k).P/sum(ant(k).P); % normalizing the probabilités.

ant(k).Tour(end+1)=Probability(ant(k).P); % adding cities one by one until we get
the complete k visited cities

end

end

% tours were constructed for all ants. now ants have visited all cities

% once and made a complete visit.

% pheromone updates

for k=1:nAnt

ant(k).L=Tour_Cost(ant(k).Tour,D); % calculating the sum of distances in each
tour for ant k

for i=1:nCity

ii=ant(k).Tour(i); % the location of first city

if i<nCity

```

```

jj=ant(k).Tour(i+1); % containing the next city after city i
else
jj=ant(k).Tour(1); % backing to first node
end

% Updating the pheromone trails
tau(ii,jj)=tau(ii,jj)+1/ant(k).L; % previous plus the new pheremone. we uses the
pheromones remained by all ants.
tau(jj,ii)=tau(ii,jj); % symmetric matrix
end

VisitedCities{t,k} = ant(k).Tour;
VisitedCitiesLength{t,k} = ant(k).L;
end

tau=(1-rho)*tau; % Pheremone Evaporation effect

best_L(t)=min(min([ant.L]),min(best_L)); % best tour, % ant.L: represents the tour
lengths made by all ants(30*1);

%at each iteration it will change; best_L: the previous best tour length.
disp(['Iteration ' num2str(t) ': Best Tour Length = ' num2str(best_L(t))]);
end

aco_result=best_L;
plot(1:max_it,best_L);
xlabel('Iterations')
ylabel('Optimal Tour at each iteration')
title('Plot of optimal tours VS iterations')

% what is the most optimal tour
VisitedCitiesLength = cell2mat(VisitedCitiesLength);
[a,b] = min(VisitedCitiesLength);

```

```

[c,d] = min (a);
best_tour_achieved = VisitedCities{b(d),d};
for i=1:nCity
X(i)=lat(best_tour_achieved(i));
Y(i)=lon(best_tour_achieved(i));
end
X(end+1)=lat(best_tour_achieved(1));
Y(end+1)=lon(best_tour_achieved(1));
figure(2);
plot(X,Y,'--o','MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','g','MarkerSize',10);
for i=1:nCity
text(lat(i),lon(i),num2str(i),'Color','k');
end
xlabel('latitude');ylabel('longitude');
%title(['minimum cost(total length)=' ,num2str(k)]);

```