



**TUGAS AKHIR – TI 141501**

**PENERAPAN ANT COLONY OPTIMIZATION PADA VEHICLE  
ROUTING PROBLEM TIME WINDOWS (Study Kasus: CV. Yufa  
Barokah)**

KURNIA ISWARDANI

NRP 2511 100 112

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Suparno, MSIE

JURUSAN TEKNIK INDUSTRI

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2015



**FINAL PROJECT – TI 141501**

**IMPLEMENTATION OF ANT COLONY OPTIMIZATION IN  
VEHICLE ROUTING PROBLEM TIME WINDOWS (Case Study:  
CV Yufa Barokah)**

KURNIA ISWARDANI

NRP 2511 100 112

Supervisor

Prof. Dr. Ir. Suparno, MSIE

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING

Faculty of Industrial Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2015

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**PENERAPAN ANT COLONY OPTIMIZATION PADA**  
**VEHICLE ROUTING PROBLEM TIME WINDOWS**  
**(Study Kasus: CV. Yufa Barokah)**

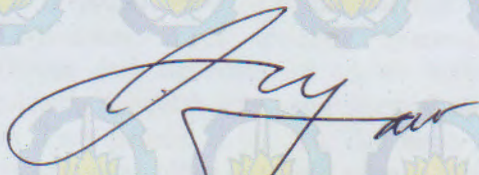
**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Industri  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**KURNIA ISWARDANI**  
**NRP. 2511 100 112**

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:



**Prof. Dr. Ir. Suparno, MSIE**

**NIP. 194807101976031002**



# PENERAPAN ANT COLONY OPTIMIZATION PADA VEHICLE ROUTING PROBLEM TIME WINDOWS (Study Kasus: CV. Yufa Barokah)

Nama Mahasiswa : Kurnia Iswardani  
NRP : 2511100112  
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Suparno, MSIE

## ABSTRAK

Distribusi merupakan salah satu hal yang patut diperhatikan dalam suatu bidang bisnis. Distribusi adalah salah satu cara agar barang yang diproduksi oleh suatu perusahaan dapat tersalurkan ke tangan konsumen. Namun, yang sering menjadi kendala pada saat ini adalah biaya distribusi yang dikeluarkan cukup besar sehingga dapat mengurangi profit yang akan diperoleh. Kasus ini seperti yang dialami oleh CV Yufa Barokah. UKM ini menjalani salah satu bisnis distribusi yaitu distribusi tepung. Konsumen yang dimiliki berjumlah 40 konsumen dan masing-masing mempunyai *time windows* dan *demand*. Pada saat ini, biaya distribusi yang dikeluarkan oleh UKM ini cukup tinggi dan salah satu faktornya adalah biaya penalty yang besar karena sering datang melebihi waktu tutup konsumen. Ini merupakan salah satu kasus *Vehicle Routing Problem Time windows* (VRPTW). *Vehicle Routing Problem Time windows* (VRPTW) merupakan salah satu jenis permasalahan optimasi kombinatorial dimana akan ditentukan rute kendaraan untuk melayani permintaan pelanggan dengan total jarak terpendek dan minimasi biaya penalty. Permasalahan ini termasuk NP-Hard yang berarti perlu usaha komputasi yang besar untuk mencari solusi terbaik. Salah satu metode yang bisa digunakan untuk permasalahan ini adalah metode *Ant colony Optimization* (ACO). ACO merupakan salah satu algoritma *metaheuristic* yang berbasis pada meniru perilaku semut ketika menuju sumber makanan. Pada penelitian ini akan menggunakan salah satu pengembangan metode ACO yaitu *Ant Colony System* (ACS). Pada ACS terdapat tiga hal yang diperhatikan yaitu: aturan *state transition*, *local updating pheromone* dan *global updating pheromone*. Output dari algoritma ini adalah biaya distribusi dan rute yang dilewati. Solusi terbaik adalah rute yang dilewati menghasilkan biaya distribusi yang minimum. Pada penelitian ini, rute dan biaya yang dihasilkan dari model *software* bisa menurunkan biaya distribusi sebesar 69,8%.

**Kata Kunci:** *Vehicle Routing Problem Time windows* (VRPTW), *Ant Colony System*, distribusi, *metaheuristic*.

*halaman ini sengaja dikosongkan*

# IMPLEMENTATION OF ANT COLONY OPTIMIZATION IN VEHICLE ROUTING PROBLEM *TIME WINDOWS* (Case Study: CV Yufa Barokah)

Student name : Kurnia Iswardani  
Student ID : 2511100112  
Spervisor : Prof. Dr. Ir. Suparno, MSIE

## ABSTRAK

Distribution is one of important in bussines. Distribution is one of the way for product which produced by accompany can received in consumer hand. But, almost the problem in distribution is spend many distribution cost so can decrease the profit. This case happen in CV Yufa Barokah. This UKM have a bussines are flours distribution. It have 40 *customer* and each have *time windows*. Now, UKM spent many distribution cost because penalty cost are high, distribution vehicle often came more than latest time in *customer*. This is a a case of *Vehicle Routing Problem Time windows* (VRPTW). *Vehicle Routing Problem Time windows* (VRPTW) are one of combinatorial optimization problem which will chosen the route of vehicle distribution for seve *customer demand* with shortest distance and minimize the penalty cost. This problem is NP Hard, it mean need high computation for solve and get better solution. For solve this problem can use Ant Colony Optimization. Ant Colony Optimization is one of metaheuristic algorithm and based on imitated ant behavior when it go to food source. In this research will use one of improving ACO method that is Ant Colony System. In ACS has three will be noticed, that are: state transiition rule, local updating and global updating. Output in this algorithm is distribution cost and route which give low distribution cost. In this research, solution from *software* model can decrease distributin cost to 69.8%.

**Kata Kunci:** *Vehicle Routing Problem Time windows* (VRPTW), *Ant Colony System*, distribution, *metaheuristic*.

*halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena karunia dan anugerah-Nya, penulis dianugerahi dan dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Penerapan Ant Colony Optimization pada Vehicle Routing Problem *Time windows* (Study Kasus: CV. Yufa Barokah”.

Penyusunan Tugas Akhir ini dilakukan untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan studi Strata-1 dan memperoleh gelar sarjana Teknk Industri, pada Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulisan Tugas Akhir ini tidak akan terwujud tanpa adanya bantuan dari pihak lain. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini:

1. Allah SWT yang Maha Penyayang dan Maha Pengasih, yang telah memberikan rahmat-Nya, kelancaran, ketenangan dan kemudahan kepada hamba-Nya selama mengerjakan tugas akhir ini. Saya yakin tanpa campur tangan Tuhan, saya tidak akan mampu menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Nyoto dan Ibu Suwarsih selaku kedua orang tua penulis yang selalu mengucapkan doa yang luar biasa demi keberhasilan penulis di saat senang maupun susah dan memberikan semangat yang tiada hentinya selama ini.
3. Mas Taufan Rahmanto, Mas Iqbal Iswahyudi dan Mbak Maulidani selaku saudara penulis yang selalu memberikan semangat dan perhatian kepada penulis selama mengerjakan Tugas Akhir ini.
4. Prof. Dr. Ir. Suparno, MSIE selaku dosen pembimbing penulis, atas kesabaran, bimbingan, waktu, tenaga serta pembelajarannya. Terima kasih atas semua saran, kritik, dan masukan selama pengerjaan Tugas Akhir.
5. Bapak Prof. Ir. Budi Santosa, M.S., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Industri, Kepala Laboratorium Komputasi dan Optimasi Industri, serta dosen penguji dan Bapak Yudha Andrian, S.T., MBA selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Industri ITS atas arahan dan masukan kepada penulis.



6. Ibu Fatimah selaku pemilik CV Yufa Barokah atas keramahannya, support dan bantuan data Tugas Akhir yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik.
7. Segenap dosen Teknik Industri ITS yang telah membimbing penulis selama menempuh studi.
8. Arini Fitriya Izzati dan Anisa Istiqfari selaku teman kuliah penulis yang sama-sama berjuang mengerjakan Tugas Akhir yang saling mendoakan, saling memberi support, dan saling mengingatkan,serta selalu mendengar curhatan baik sedih maupun senang selama berada di perkuliahan ini,
9. Rizki Martha, Nofinda, Dinda, Bilqis dan Ar selaku teman satu dosen pembimbing yang saling menyemangati, memberi informasi dan curhatan selama penyelesaian Tugas Akhir ini.
10. Mbak Arum dan Puspita selaku teman kos yang selalu memberikan semangat, doa dan memberikan bantuan berupa buku Matlab.
11. Keluarga Sedekah Rombongan yang selalu memberikan hiburan, hikmah, semangat, dan pelajaran hidup dan doanya.
12. Febrian Arief Hidayat, selaku teman terdekat penulis yang selalu memberikan spirit selama ini, selalu mencoba untuk menghibur di kala penulis lagi suntuk, selalu mau menjadi pendengar setia segala keluh kesah selama di perkuliahan dan pengerjaan tugas akhir, dan sering didoakan selama pengerjaan Tugas Akhir Terima kasih telah menemani di kala susah maupun senang selama ini.
13. Petrus H.K Gumarang selaku teman baru yang sudah penulis anggap sahabat yang dengan sabarnya mengajari dan membantu penulis dalam mengerjakan *software* Matlab. Serta memberi semangat agar bisa sama-sama wisuda. Semoga cita-cita kamu kuliah di Jerman dan menjadi dosen tercapai.
14. Keluarga besar baik dari Ibu maupun Bapak atas doa dan semangatnya selama ini.

15. Keluarga VERESIS 2011 baik yang sudah meraih sarjana dan sedang menyusul atas semangatnya dan canda tawanya selama menempuh studi di Teknik Industri.

16. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu atas semua dukungan dan doa dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan dan keterbatasan, oleh karena itu penulis memohon maaf atas segala kekurangan yang ada. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak dan dapat memberikan masukan dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan kemajuan bangsa.

Surabaya, Juni 2015

Penulis

*halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	iii
<i>ABSTRACT</i> .....	v
KATA PENGANTAR.. .....	vii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Ruang Lingkup Penelitian .....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Profil CV Yufa Barokah.....	7
2.2 Vehicle Routing Problem .....	8
2.3 Vehicle Routing Problem <i>Time windows</i> .....	11
2.4 Metode Penyelesaian VRPTW .....	13
2.5 Ant Colony Optimization (ACO) .....	14
2.5.1 Konsep Ant Colony Optimization.....	14
2.5.2 <i>Ant Colony Systems</i> .....	15
2.6 Penelitian Terdahulu.....	16
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	19

3.1	Tahap Identifikasi Permasalahan .....	19
3.1.1	Identifikasi dan Perumusan Masalah.....	19
3.1.2	Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	19
3.1.3	Tinjauan Pustaka .....	20
3.2	Tahap Penerapan Model .....	21
3.2.1	Pengumpulan data .....	21
3.2.2	Pengembangan Model Matematis dan Algoritma ACO.....	21
3.2.3	Pembuatan Model ACO pada <i>software</i> .....	21
3.2.4	Validasi.....	21
3.2.5	Pencarian Solusi yang Baik .....	22
3.3	Tahap Analisis dan Penarikan Kesimpulan .....	22
3.3.1	Analisis dan Interpretasi .....	22
3.3.2	Penarikan Kesimpulan.....	22
BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....		23
4.1	Pengumpulan data.....	23
4.1.1	Data <i>Demand</i> dan <i>Time windows</i> .....	23
4.1.2	Lokasi <i>customer</i> dan depot.....	25
4.1.3	Jenis dan Kapasitas Kendaraan.....	27
4.1.4	Rute eksisting dan biaya distribusi .....	27
4.2	Pengembangan Algoritma ACO pada VRPTW .....	29
4.3	Uji Validasi .....	31
4.3.1	Penyelesaian dengan perhitungan data kecil .....	34
4.3.2	Penyelesaian dengan <i>Ant Colony System</i> .....	36
4.3.3	Uji Validasi Hasil Algoritma pada Model Matematis.....	40
4.4	Uji Perubahan Parameter Algoritma.....	42
4.5	Pengolahan Set Data dari Obyek Pengamatan.....	44

4.5.1	Parameter Input Model.....	44
4.5.2	Hasil Pengolahan Data .....	44
4.5.3	Analisis Sensitivitas .....	45
BAB 5 ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....		47
5.1	Analisis Hasil Uji Data Validasi.....	47
5.2	Analisis Hasil Uji Perubahan Parameter Algoritma.....	47
5.3	Analisa Hasil Data Uji.....	48
5.4	Analisis Sensitivitas <i>Demand</i> .....	50
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN .....		51
6.1	Kesimpulan.....	51
6.2	Saran .....	52
DAFTAR PUSTAKA .....		53
LAMPIRAN .....		55

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Jumlah Usaha Besar dan UKM Indonesia.....	1
Tabel 1.2 Statistik TPT dan PDRB Jawa Timur.....	2
Tabel 2.1 Posisi peneliti di antara peneliti terdahulu .....	16
Tabel 4.1 Data <i>demand</i> dan <i>time windows</i> .....	24
Tabel 4.2 Beberapa data jarak berasal dari Google Map.....	27
Tabel 4.3 Jarak set data kecil (berasal dari Google Map) .....	32
Tabel 4.4 Data <i>demand</i> , <i>time windows</i> , dan waktu loading unloading .....	32
Tabel 4.5 Data lain.....	33
Tabel 4.6 Cara perhitungan step 1 .....	34
Tabel 4.7 Cara perhitungan step 2 .....	35
Tabel 4.8 Cara perhitungan selanjutnya .....	35
Tabel 4.9 Output perhitungan data kecil .....	35
Tabel 4.10 Pembentukan rute ACS pada iterasi 1 .....	38
Tabel 4.11 Pemecahan rute berdasar kapasitas dan <i>time windows</i> .....	38
Tabel 4.12 Perhitungan total biaya.....	38
Tabel 4.13 Hasil skenario pertama .....	43
Tabel 4.14 Hasil skenario kedua .....	43
Tabel 4.15 Hasil skenario ketiga .....	43
Tabel 4.16 Hasil scenario keempat.....	43
Tabel 4.17 Parameter input pada model .....	44
Tabel 4.18 Hasil terbaik selama pengolahan data .....	44
Tabel 4.19 Rute yang dihasilkan model <i>software</i> .....	45
Tabel 4.20 Hasil terbaik pada analisis sensitivitas .....	45

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prosentase Omset CV Yufa Barokah per Bulan .....	7
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian .....	20
Gambar 4.1 Denah lokasi depot dan seluruh <i>customer</i> .....	25
Gambar 4.2 Perbesaran denah yang diarsir.....	25
Gambar 4.3 Contoh pencarian jarak menggunakan aplikasi Google Map.....	26
Gambar 4.4 Gambar jalur rute pertama menggunakan aplikasi Google Map.....	28
Gambar 4.5 Gambar jalur rute ke dua menggunakan aplikasi Google Map.....	28
Gambar 4.6 Gambar jalur rute ke tiga menggunakan aplikasi Google Map.....	29
Gambar 4.7 Algoritma ACO pada VRPTW .....	31
Gambar 4.8 Denah lokasi depot dan konsumen pada set data kecil .....	32
Gambar 4.9 Hasil Optimal .....	39



*halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Masyarakat Ekonomi Asean (MEA) akan dilaksanakan di akhir tahun 2015, negara ASEAN akan mengalami “*free trade area*” yaitu perdagangan bebas jasa, barang, tenaga kerja, investasi, dll. MEA terwujud dari keinginan negara-negara ASEAN yang menginginkan kawasan perekonomian ASEAN menjadi solid dan patut diperhatikan di kancan perekonomian Internasional. Penerapan MEA ada di 12 sektor prioritas, yaitu e-ASEAN, e-travel, automotif, logistik, industry berbasis kayu, industry berbasis karet, furniture, makanan, minuman, kesehatan, perikanan, dan tekstil (Panjaitan, 2013).

Indonesia harus meningkatkan kualitas dan daya saing agar mampu bersaing dengan negara ASEAN saat MEA terjadi. Salah satu langkah strategis agar mampu bersaing adalah memperkuat sektor Usaha Kecil Menengah (UKM) karena jumlahnya paling besar dibandingkan Usaha Besar (UB) dan cukup berpengaruh dalam perekonomian Indonesia. Menurut Undang-Undang no 20 tahun 2008, pengertian UKM adalah usaha ekonomi produktif yang berdiri sendiri, dilakukan oleh perorangan atau bukan anak perusahaan yang memiliki kriteria usaha kecil atau menengah (Republik Indonesia, 2008) . Tabel 1.1 adalah data statistik perbandingan antara jumlah UKM dengan Usaha Besar di Indonesia.

Tabel 1.1 Jumlah Usaha Besar dan UKM Indonesia

Tahun	2010	2011	2012	2013
Usaha Besar	23,345	23,370	23,592	23,941
UKM	2,732,724	2,979,071	3,218,043	3,418,366

Sumber : hasil pengolahan data BPS 2014 (Badan Pusat Statistik,2014)

Jawa Timur menjadi salah satu provinsi yang paling banyak mempunyai sentra UKM. Menurut data dari BPS (2014), jumlah UKM pada tahun 2013 di Jawa Timur sebanyak 629.160 dan di tahun 2014 terjadi peningkatan jumlah UKM sebanyak 19.600, sehingga jumlah UKM Jawa Timur tahun 2014 menjadi 648.706. Dengan adanya peningkatan jumlah UKM maka akan berdampak pada

penurunan Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT) dan meningkatnya Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) di Jawa Timur. Menurut Maskur (2013), TPT adalah indikasi tentang penduduk usia kerja yang termasuk dalam kelompok pengangguran. Empat komponen TPT adalah mereka tidak bekerja dan mencari pekerjaan; mereka yang tidak bekerja dan mempersiapkan usaha; mereka tidak bekerja, tidak mencari pekerjaan karena merasa tidak mungkin dapat pekerjaan; mereka tidak bekerja, tidak mencari pekerjaan, karena sudah bekerja namun belum mulai bekerja (Maskur,2013). Pengertian Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) menurut Bank Indonesia (2015) adalah jumlah nilai tambah yang dihasilkan oleh seluruh unit usaha dalam suatu daerah tertentu. PDRB harga konstan digunakan untuk mengetahui pertumbuhan ekonomi secara riil dari tahun ke tahun atau pertumbuhan ekonomi yang tidak dipengaruhi oleh faktor harga. Tabel 1.2 adalah statistik penurunan TPT dan peningkatan PDRB Jawa Timur.

Tabel 1.2 Statistik TPT dan PDRB Jawa Timur

Tahun	2011	2012	2013
<b>Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT)</b>	4.18	4.14	4.00
<b>PDRB harga konstan (Milyar)</b>	366.984.401	393.666.437	419.430.000

Sumber : hasil pengolahan data BPS 2014 (BPS Provinsi Jawa Timur,2014)

Berdasarkan Tabel 1.2 terlihat bahwa meningkatnya jumlah UKM akan berdampak menurunnya tingkat TPT dan meningkatnya PDRB. Peningkatan UKM ini harus berbanding lurus dengan strategi persaingan, karena strategi persaingan akan menentukan apakah UKM tersebut mampu menyaingi para kompetitor dan mampu bertahan lama. UKM harus mempunyai strategi persaingan yang bagus untuk menghadapi pesaing-pesaing pada saat MEA terjadi. Salah satu strategi persaingan yang perlu ditingkatkan adalah di bidang strategi pemasaran, dimana dapat memiliki banyak *customer* yang mengkonsumsi produk tersebut sehingga volume penjualan produk menjadi meningkat. Salah satu strategi pemasaran adalah bagaimana cara perusahaan mendistribusikan produk hingga sampai ke *customer*.

Distribusi adalah hal yang sangat penting dalam suatu kegiatan pemasaran, karena meskipun produk berkualitas bagus, harga terjangkau dan bersaing, peluang bagus dan pemasaran mendukung namun distribusi produk tidak lancar. Maka produk tersebut tidak akan sampai di tangan *customer* dan dampaknya volume penjualan menurun dan UKM akan gulung tikar. Penentuan rute distribusi harus tepat, yaitu harus dapat meningkatkan penjualan maksimal namun dengan biaya yang seminim mungkin. Karena logikanya, jika penjualan meningkat namun biaya distribusi yang dikeluarkan juga sangat banyak dan tidak efisien, maka keuntungan UKM akan menurun.

CV Yufa Barokah adalah salah satu UKM di Lumajang (provinsi Jawa Timur) yang mempunyai banyak bidang bisnis, yaitu penjualan barang sembako, penjualan online minuman coklat, serta distribusi tepung. Penelitian yang dibahas adalah pendistribusian tepung dimana wilayah pendistribusiannya ada di seluruh daerah di Kabupaten Lumajang dan Kabupaten Malang dan terdapat *time windows* tiap *customers*. Kendaraan yang digunakan untuk distribusi tepung berjumlah tiga dimana kapasitas tiap kendaraan adalah 80 karung tepung (tiap karung berisi 25kg). Omset yang didapat dari pendistribusian tepung cukup signifikan dibandingkan omset bisnis lainnya, namun biaya distribusi yang dikeluarkan CV Yufa untuk pendistribusian tepung juga besar. Penyebabnya CV Yufa belum begitu memperhatikan rute distribusi yang tepat pada saat penyaluran produk ke *customer*. Penentuan rute masih dilakukan berdasarkan kehendak pengemudi dan lebih sering mempertimbangkan kapasitas kendaraan tanpa sangat memperhatikan di batasan waktunya, padahal yang paling banyak berkontribusi dalam pengeluaran biaya distribusi adalah biaya penalty karena sering terlambat datang. Apabila rute distribusi diperhatikan maka biaya distribusi akan menurun. Oleh karena itu, penulis ingin membantu UKM CV Yufa agar bisa mencari rute yang tepat dan meminimumkan biaya distribusi.

Metode yang akan digunakan adalah *Ant Colony Optimization*(ACO). ACO meniru koloni semut dalam mencari sumber makanan bermula dan kembali ke sarangnya yang ternyata secara alami mencari rute terpendek (Santosa & Willy, 2011). Pada hasil penelitian milik Tan et al., (2005) menyatakan bahwa

metode ACO menghasilkan solusi yang optimal untuk kasus VRPTW daripada beberapa metode yang lain, salah satunya adalah *simulated annealing*.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Pada kondisi eksisting, biaya distribusi yang dikeluarkan oleh CV Yufa cukup besar akibat dari pemilihan rute distribusi berdasarkan kehendak pengemudi dan lebih sering mempertimbangkan kapasitas kendaraan tanpa sangat memperhatikan di batasan waktunya, padahal yang paling banyak berkontribusi dalam pengeluaran biaya distribusi adalah biaya penalty karena sering terlambat datang. CV Yufa ingin meminimalkan biaya distribusi, sehingga penelitian yang penting adalah pemilihan rute distribusi yang tepat agar biaya bahan bakar minim dan biaya penalty juga minim.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan *output* rute dan biaya yang minimal dari model *software* yang dibuat.
2. Membandingkan antara biaya distribusi yang dihasilkan model *software* dengan biaya distribusi eksisting.
3. Mendapatkan jumlah kendaraan yang dibutuhkan untuk distribusi barang.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan rute yang tepat sehingga biaya distribusi dapat menjadi minimal.
2. Mengetahui jumlah kendaraan yang dibutuhkan.
3. Bisa menjadi alat bantu penentuan rute yang akan dilalui jika terdapat penambahan *customer* baru atau penambahan *demand*.

## 1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kendaraan distribusi selalu tersedia dan dapat digunakan semua.
2. Perhitungan jarak menggunakan aplikasi *google map* dan *symmetric distance*.

Sedangkan asumsi yang digunakan adalah waktu *loading unloading* barang adalah 10 menit, jarak berbanding lurus dengan biaya bahan bakar, sehingga jarak terpendek mewakili biaya bahan bakar minimal. Asumsi lainnya adalah kecepatan kendaraan distribusi dianggap konstan, kemacetan lalu lintas dan berhenti pada lampu merah pada lintasan diabaikan.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan terdiri dari rincian semua bab yang ada pada laporan penelitian ini. Berikut merupakan paparan sistematika penulisan dari masing-masing bab pada laporan penelitian ini

### BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab 1 terdiri dari latar belakang dilakukan penelitian ini, perumusan masalah yang akan diselesaikan melalui penelitian ini, tujuan dilakukan penelitian ini, manfaat dan sistematika penulisan selama dilakukan penelitian ini.

### BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini terdiri dari landasan untuk dilakukan penelitian yang diambil dari berbagai studi literatur yang membantu peneliti untuk menyelesaikan permasalahan yang diteliti dan dapat menentukan metode yang tepat untuk permasalahan. Pada tinjauan pustaka terdiri dari penjelasan mengenai profil CV Yufa Barokah yang dijadikan sebagai objek penelitian, *Vehicle Routing Problem* dan metode *Ant Colony Optimization*.

### BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan mengenai metodologi penelitian yang akan digunakan dalam melakukan penelitian. Metodologi penelitian terdiri dari tahapan ataupun urutan langkah yang harus dilakukan oleh peneliti sehingga penelitian berjalan secara sistematis dan terarah. Tahapan metodologi penelitian dimulai dari

tahap identifikasi permasalahan, penyelesaian masalah, hingga mendapatkan kesimpulan dan saran dari penelitian.

#### BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini berisi mengenai cara pengumpulan data, data yang diperlukan adalah jarak, *demand*, *time windows*, biaya distribusi eksisting, kecepatan rata-rata kendaraan, biaya penalty. Setelah data terkumpul, kemudian akan dilakukan pengujian untuk validasi model *software* yang telah dibuat dengan data sedikit. Setelah valid, akan diteruskan dengan proses perhitungan dari data primer obyek penelitian dengan menggunakan model *software* yang telah valid.

#### BAB 5 ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi mengenai analisa dan interpretasi terhadap hasil *running* model yang dibuat dan pembahasan yang lebih rinci.

#### BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

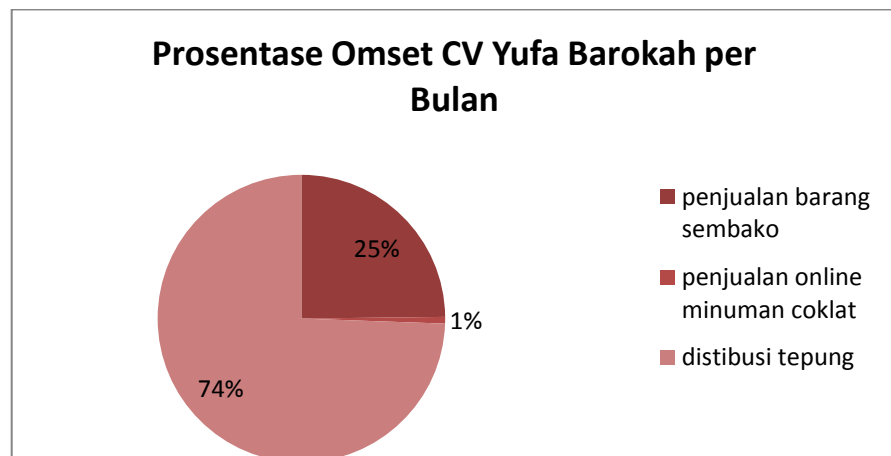
Bab ini berisi kesimpulan dari penelitian yang dilakukan serta saran terhadap hasil penelitian untuk pihak yang berkepentingan untuk penelitian selanjutnya.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Profil CV Yufa Barokah

CV Yufa Barokah berdiri pada tahun 2005 dan didirikan oleh Bapak Yusuf dan Ibu Fatimah. Lokasi CV Yufa Barokah di Kedung Pakis Pasirian, Lumajang, Provinsi Jawa Timur. Bidang bisnis yang dilakukan di CV Yufa cukup banyak, yaitu penjualan barang sembako, penjualan online minuman coklat, serta distribusi tepung. Salah satu omset yang paling besar diantara bidang bisnis tersebut adalah distribusi tepung. Gambar 2.1 merupakan prosentase omset CV Yufa Barokah per bulan.



Gambar 2. 1 Prosentase Omset CV Yufa Barokah per Bulan

Meskipun masih sekelas CV, CV Yufa mempunyai visi dan misi. Visi CV Yufa Barokah adalah “Menjadi Toko Bisnis yang Bermanfaat dan Barokah” dan Misi CV Yufa Barokah antara lain:

1. Menjual produk yang berkualitas dan bermanfaat tapi harga terjangkau.
2. Melayani pembeli dengan ramah dan sopan.
3. Kepercayaan pelanggan diutamakan.

Jumlah pegawai CV Yufa cukup banyak dan dibagi ke beberapa bidang bisnis, jumlah pegawai untuk penjualan online minuman coklat sebanyak 2 orang, jumlah pegawai distribusi tepung sebanyak 4 orang, jumlah pegawai untuk



penjualan barang sembako sebanyak 2 orang. Dalam pendistribusian tepung, CV Yufa menggunakan tiga kendaraan yang sejenis, yaitu mobil pick up yang berkapasitas 80 karung, dimana tiap karung berisi 25 kg tepung. Jumlah *customer* untuk distribusi tepung berjumlah 40 toko di daerah Kabupaten Lumajang dan Kabupaten Malang dimana masing-masing toko mempunyai rentang waktu pengiriman barang (*time windows*) dan terdapat sistem pinalti. Apabila pengiriman melebihi waktu akhir (*latest time*) yang telah ditentukan, maka akan mendapat penalty yaitu Rp 1.000,00 tiap menit atau Rp 60.000,00 tiap jam. .

## 2.2 Vehicle Routing Problem

*Vehicle Routing Problem* adalah permasalahan pencarian rute dalam sistem distribusi. Tujuan VRP adalah untuk membuat rute optimal untuk beberapa kendaraan yang telah diketahui kapasitasnya, agar dapat memenuhi *demand* dari *customer* dimana *demand* tersebut tidak melebihi kapasitas kendaraan (Agustina, 2008). Rute yang optimal adalah rute yang memiliki total jarak dan waktu perjalanan terpendek dalam memenuhi *demand customer* serta menggunakan kendaraan yang seminimal mungkin, sehingga dapat meminimalkan biaya distribusi.

Menurut Toth, P. dan Vigo, D. (2002), komponen-komponen yang terdapat dalam *Vehicle Routing Problem* adalah:

- a. Jaringan jalan, biasanya direpresentasikan dalam sebuah *graph* (diagram) yang terdiri dari *arc* (lengkung atau bagian-bagian jalan) dan *vertex* ( titik lokasi *customer* dan depot). Tiap lengkung diasosiasikan dengan biaya (jarak) dan waktu perjalanan (tergantung jenis kendaraan, kondisi/karakteristik jalan, dan periode pelintasan).
- b. *Customer*, ditandai dengan *vertex* (titik) dan biasanya memiliki hal-hal seperti berikut:
  1. Jumlah permintaan barang (untuk dikirim ataupun diambil), jenis barang dapat berbeda-beda.
  2. Periode pelayanan tertentu (*time windows*), dimana di luar rentang waktu tersebut *customer* tidak dapat menerima pengiriman maupun pengambilan.

3. Waktu yang dibutuhkan untuk menurunkan atau memuat barang (*loading/unloading time*) pada lokasi *customer*, biasanya tergantung dari jenis kendaraan.
  4. Pengelompokan (*subset*) kendaraan yang tersedia untuk melayani *customer* (sehubungan dengan keterbatasan akses atau persyaratan pemuatan dan penurunan barang).
  5. Prioritas atau pinalti sehubungan dengan kemampuan kendaraan untuk melayani permintaan).
- c. Depot, juga ditandai dengan suatu titik, merupakan ujung awal dan akhir dari suatu rute kendaraan. Tiap depot memiliki sejumlah kendaraan dengan jenis dan kapasitas tertentu yang dapat digunakan untuk mendistribusikan produk.
- d. Kendaraan, memiliki:
1. Depot asal, dan kemungkinan untuk mengakhiri rutenya di depot lain.
  2. Kapasitas (berat, volume atau jumlah palet yang dapat diangkut).
  3. Kemungkinan untuk dipisah menjadi beberapa kompartemen untuk mengangkut barang dengan jenis yang berbeda-beda.
  4. Alat yang tersedia untuk operasi (pemuatan atau penurunan barang).
  5. Pengelompokan (*subset*) lintasan/lengkung dari diagram jaringan jalan.
  6. Biaya yang berhubungan dengan penggunaan kendaraan tersebut (unit per jarak, unit per waktu, unit per rute, dan lainnya).
- e. Pengemudi, memiliki kendala seperti jam kerja harian, jumlah dan jam istirahat, durasi maksimum perjalanan, serta lembur yang biasanya juga dikenakan pada kendaraan yang digunakan.

Toth, P. dan Vigo, D. (2002) menjelaskan bahwa pengembangan VRP terdiri atas beberapa jenis, yaitu:

- a. *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)* adalah kendaraan yang digunakan mempunyai kapasitas angkut yang sama. Jumlah *demand* yang dilayani oleh setiap kendaraan tidak boleh melebihi dari kapasitas angkut kendaraan.
- b. *Multiple Depot Vehicle Routing Problem (MDVRP)* adalah VRP dengan lebih dari satu depot untuk melayani beberapa *customer*.

- c. *Split Delivery Vehicle Routing Problem (SDVRP)* adalah VRP dimana satu pelanggan dapat dilayani oleh lebih dari satu kendaraan.
- d. *Periodic Vehicle Routing Problem (PVRP)* adalah VRP dimana pengiriman barang dapat dilakukan dalam beberapa hari.
- e. *Dynamic Vehicle Routing Problem (DVRP)* adalah VRP dimana terdapat penambahan *customer* sehingga terjadi perubahan rute kendaraan secara simultan.
- f. *Vehicle Routing Problem with Time windows (VRPTW)* adalah VRP dimana setiap *customer* memiliki *time window* untuk dapat menerima barang.
- g. *Open Vehicle Routing Problem (OVRP)* adalah VRP dimana setiap kendaraan tidak harus kembali ke depot setelah melakukan pelayanan sehingga hanya berhenti sampai *customer* terakhir atau kembali ke *driver node*.

Liu et al., (2006) memodelkan VRP sebagai berikut: terdapat  $n$  *customer* yang memiliki *demand*. *Demand* dari tiap *customer* akan dilayani oleh beberapa kendaraan dan *demand* tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan. Kendaraan akan berangkat dari depot dan kembali ke depot. Pada VRP, kendaraan pertama akan melayani *customer* awal yang ditentukan dan beberapa *customer* lainnya selama tidak melanggar *constraint* yang ditentukan. Tujuannya untuk meminimasi waktu antara pada saat kendaraan meninggalkan depot sampai kendaraan terakhir kembali ke depot. Kendaraan dinotasikan dari 1 sampai  $m$ , *customer* dinotasikan dari 1 sampai  $n$  dan node yang harus dikunjungi mulai dari  $0, 1, 2, 3, \dots, n$  dimana 0 menunjukkan depot. Formula matematis dari VRP adalah sebagai berikut:

**Min**

$$\left( \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n d_{ij} x_{i,j}^k \right) \quad k = 1, 2, 3, \dots, m$$

Meminimumkan jarak dari  $m$  rute.

**Subject to**

$$\sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m x_{i,j}^k = 1 \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.1)$$

$$\sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m x_{i,j}^k = 1 \quad i = 1,2,3, \dots \dots n \quad (2.2)$$

(2.1) dan (2.2) menunjukkan bahwa tiap konsumen dilayani langsung hanya sekali oleh satu kendaraan.

$$\sum_{i=0}^n x_{i,p}^k - \sum_{j=0}^n x_{p,j}^k = 0 \quad k = 1,2, \dots \dots m; \quad p = 1,2,3, \dots \dots n \quad (2.3)$$

(2.3) menunjukkan kontinuitas rute, hal ini berarti kendaraan yang tiba di *customer* harus segera melayani dan meninggalkan tempat tersebut hanya sekali.

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m g_i x_{ij}^k \leq C \quad k = 1,2,3, \dots \dots m \quad (2.4)$$

(2.4) menunjukkan konstrain kendaraan dimana masing-masing rute harus dilayani tidak boleh melebihi kapasitas tiap kendaraan.

Keterangan :

m = jumlah kendaraan

n = jumlah *customers*

$d_{ij}$  = jarak dari node i ke j

$x_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{jika kendaraan k travels dari node i ke j} \\ 0 & \text{sebaliknya} \end{cases}$

$g_i$  = *demand* dari node i

C = kapasitas kendaraan

### 2.3 Vehicle Routing Problem *Time windows*

*Vehicle Routing Problem with Time windows* (VRPTW) merupakan perluasan dari VRP yang paling sering ditemukan dalam pengambilan keputusan mengenai penentuan rute untuk pengambilan barang. Setiap kendaraan yang bertugas pada VRPTW hanya dapat keluar dari depot pada jam kerja dan harus kembali sebelum jam kerja berakhir (Braysy, O., and Gendreau, M., 2001).

Tujuan VRPTW adalah menentukan sejumlah rute untuk melayani seluruh konsumen dengan biaya distribusi serendah mungkin tanpa melanggar batasan waktu dari depot dan waktu yang ditentukan oleh pihak pelanggan. Jumlah rute

tidak boleh melebihi jumlah kendaraan. Formulasi matematis VRPTW menurut Kallehauge et al., (2002) adalah sebagai berikut:

Meminimumkan

$$z = \sum_{k \in V} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{ij} x_{ijk}$$

Dengan kendala:

1. Setiap pelanggan dikunjungi tepat satu kali oleh suatu kendaraan:

$$\sum_{k \in V} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{ij} x_{ijk}$$

2. Total permintaan semua pelanggan dalam satu rute tidak melebihi kapasitas kendaraan:

$$\sum_{i \in C} d_i \sum_{j \in N} x_{ijk} \leq q, \forall k \in V$$

3. Setiap rute berawal dari depot 0:

$$\sum_{j \in N} x_{0jk} = 1, \forall k \in V$$

4. Setiap kendaraan yang mengunjungi suatu pelanggan pasti akan meninggalkan pelanggan tersebut:

$$\sum_{i \in N} x_{ihk} - \sum_{j \in N} x_{hjk} = 0, \forall h \in C, \forall k \in V$$

5. Setiap rute berakhir di depot n+1:

$$\sum_{i \in N} x_{i,n+1,k} = 1, \forall k \in V$$

6. Suatu kendaraan  $k$  yang menuju  $j$  dari  $i$ , tidak dapat tiba di  $j$  sebelum  $s_{ik} + t_{ij}$ .

Jadi jika  $x_{ijk} > 0$  maka  $s_{ik} + t_{ij} \leq s_{jk}$ , bentuk linearnya adalah:

$$s_{ik} + t_{ij} - M_{ij} (1 - x_{ijk}) \leq s_{jk}, \forall i, j \in N, \forall k \in V$$

Dengan  $M_{ij}$  adalah konstanta besar yang tidak kurang dari nilai maksimum dari  $b_i + t_{ij} - a_j; (i, j) \in A$

7. Waktu pelayanan di setiap pelanggan memenuhi *time windows*:

$$a_i \leq s_{jk} \leq b_i, \forall i \in N, \forall k \in V$$

8. Peubah  $x_{ijk}$  merupakan peubah biner:

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \forall i, j \in N, \forall k \in V$$

Dengan

$V$  = himpunan kendaraan berkapasitas sama.

$C$  = impunan pelanggan =  $\{1, \dots, n\}$ .

$A$  = himpunan sisi berarah =  $\{(i, j) | i, j \in N, i \neq j\}$ .

$c_{ij}$  = jarak/biaya dari simpul  $i$  ke simpul  $j$ .

$t_{ij}$  = waktu tempuh dari simpul  $i$  ke simpul  $j$ .

$d_i$  = jumlah permintaan pelanggan  $i$ .

$q$  = kapasitas kendaraan.

$[a_i, b_i]$  = *time windows* dari simpul  $i$ .

Untuk setiap  $(i, j) \in A, i \neq n+1, j \neq 0$  dan untuk setiap kendaraan  $k$  didefinisikan peubah:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{jika kendaraan } k \text{ melalui } i \text{ lalu ke } j \\ 0, & \text{selainnya} \end{cases}$$

$s_{ik}$  = waktu bagi kendaraan  $k$  mulai melayani pelanggan  $i$ , dengan  $q$  dan  $d_i$  adalah bilangan integer tak negatif dan  $a_i, b_i, c_{ij}$ , dan  $t_{ij}$  adalah bilangan tak negatif. Pada simpul depot diasumsikan  $a_0 = b_0 = a_{n+1} = 0$  dan  $s_{0k} = 0$  untuk setiap  $k$ .

#### 2.4 Metode Penyelesaian VRPTW

Metode Metaheuristik yang digunakan untuk menghasilkan solusi yang baik diantaranya adalah *Ant Colony Optimization* (ACO) dan *Simulated Annealing* (SA). ACO terinspirasi dari tingkah kawanan semut untuk menuju ke lokasi makanan, ACO banyak diaplikasikan ke beberapa masalah yaitu VRP, penjadwalan proyek, data mining, penjadwalan pekerjaan (Santosa & Willy, 2011). SA terinspirasi dari mekanisme perilaku pendinginan dan proses kristalisasi (*annealing*) material panas. SA banyak diaplikasikan untuk permasalahan kombinatorial, penjadwalan, dan VRP.

Terdapat beberapa penelitian tentang metode yang menghasilkan solusi paling baik untuk VRPTW. Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Tan et al., (2005). Dalam penelitian tersebut, Tan mengembangkan algoritma *Ant Colony System* kemudian hasilnya dibandingkan dengan hasil milik Li et al., (2002) yang menggunakan metode Tabu-embedded Simulated Annealing (TSA). Berdasarkan hasil penelitian Tan, hasil solusi yang paling baik untuk VRPTW diantara metode ACO dan SA adalah metode *Ant Colony Optimization*. Oleh karena itu, metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Ant Colony Optimization*.

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

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai konsep dasar dari *ant colony optimization* dan gambaran umum penyelesaian masalah berdasarkan ACO serta penerapannya pada permasalahan VRPTW.

### **2.5.1 Konsep Ant Colony Optimization**

*Ant colony optimization* merupakan kelompok *Swarm Intelligence* yang merupakan salah satu jenis pengembangan paradigma yang digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi dimana inspirasi yang digunakan untuk memecah masalah tersebut berasal dari perilaku kumpulan atau kawanan (*swarm*) serangga (Santosa & Willy, 2011). ACO digunakan untuk menyelesaikan *discrete optimization problems* dan persoalan kompleks dimana terdapat banyak variabel.

Konsep ACO adalah meniru perilaku semut untuk menemukan solusi terbaik dari permasalahan optimasi kombinatorial. Perilaku semut yang ditiru adalah ketika segerombolan semut mencari sumber makanan. Ketika mencari sumber makanan, semut-semut tersebut akan berkomunikasi dengan menggunakan zat kimia yang dinamakan *pheromone*. Seekor semut akan meninggalkan sejumlah *pheromone* dalam perjalanannya sehingga semut-semut yang lain dapat mengikuti jejak *pheromone* tersebut. Semakin banyak jumlah semut yang melewati rute tertentu, semakin kuat *pheromone* pada rute tersebut sehingga semut yang lain akan mengikuti rute tersebut. *Pheromone* dalam rute akan mengalami evaporasi (penguapan), namun karena banyak yang melewati rute tersebut maka nilai *pheromone* akan tetap kuat dan rute tersebut merupakan jarak

terpendek yang dilalui. Hal inilah yang mendasari digunakan konsep *ant colony optimization* sehingga dapat digunakan untuk mencari rute terpendek dan menghasilkan biaya distribusi minimum (Bell & McMullen, (2004).

### 2.5.2 *Ant Colony Systems*

Agustina (2008) menyatakan bahwa terdapat tiga karakteristik utama dari ACS, diantaranya aturan transisi status, aturan pembaharuan *pheromone* global, aturan pembaharuan *pheromone global*:

#### a. Aturan transisi status

Aturan ini digunakan oleh semut untuk memutuskan ke kota mana dia akan pergi, semut bisa memilih ke lintasan yang baru (lintasan yang belum pernah dilewati semut) atau lintasan terbaik (lintasan yang memiliki jumlah *pheromone* terbanyak dan jarak terpendek) secara probabilitas.

#### b. Aturan *local updating*

Aturan ini digunakan untuk menandai lintasan yang baru dilalui. Ketika semut telah melewati lintasan tertentu maka akan meninggalkan *pheromone* dan *pheromone* tersebut akan mengalami penguapan kemudian *pheromone* tersebut akan di-update. Hal ini untuk menentukan edge yang lintasannya jelek dan bagus.

#### c. Aturan *global updating*

Aturan ini digunakan setelah semua semut membentuk jalur perjalanan. Pada aturan *global updating* ini akan dilakukan pengurangan *pheromone* pada semua lintasan, kemudian melakukan penambahan jumlah *pheromone* pada sisi-sisi yang termasuk dalam perjalanan dengan jarak terpendek.

Algoritma ini tersusun atas sejumlah  $k$  semut yang bekerjasama dan berkomunikasi secara tidak langsung menggunakan *pheromone*. Menurut (Agustina, 2008), ACS bekerja sebagai berikut:

1. Sejumlah  $k$  semut ditempatkan pada sejumlah  $n$  titik berdasar beberapa aturan inisialisasi (misal secara acak).
2. Setiap semut akan membuat sebuah tour dengan menerapkan sebuah aturan transisi status secara berulang kali. Zhang & Thang (2009) menyatakan formula aturan *state transition* sebagai berikut:



$$J = \begin{cases} \arg \max \{ \pi_{ij} \eta_{ij}^\beta \} & \text{if } q \leq q_0 & \text{eksploitasi} \\ S, & \text{lainnya} & \text{eksplorasi} \end{cases}$$

$$S = P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{\pi_{ij}^\alpha \eta_{ij}^\beta}{\sum_{j \notin M_k} \pi_{ij}^\alpha \eta_{ij}^\beta} & j \notin M_k \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases}$$

3. Ketika membangun tournya, setiap semut memodifikasi jumlah *pheromone* pada edge-edge yang dikunjungi dengan menerapkan aturan pembaruan *pheromone* local. Zhang & Thang (2009) menyatakan formula *local updating* dengan rumus:

$$\tau(i, j) \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau(i, j) + \rho \tau_0$$

$\tau(i, j)$  = jumlah *pheromone*

$\rho$  = parameter penguapan *pheromone*

4. Setelah semua semut mengakhiri tour mereka, jumlah edge yang ada pada edge-edge dimodifikasi kembali dengan *updating pheromone global*. Zhang & Thang (2009) menyatakan formula *global updating* dengan rumus:

$$\tau_{ij} = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho / C_{\text{best}}$$

$C_{\text{best}}$  = solusi terbaik yang didapatkan dari semua semut.

## 2.6 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian ini digunakan beberapa penelitian terdahulu yang dijadikan acuan dalam pengembangan model. Tabel 2.1 adalah posisi peneliti di antara penelitian terdahulu.

Tabel 2.1 Posisi peneliti di antara peneliti terdahulu

	(Ma, 2010)	(Wang & Yu, 2008)	(Zu, Zhen, & Zhang, 2009)	Peneliti
<b>Jumlah Pelanggan</b>				
Single				
Multiple	√	√	√	√
<b>Jenis Kendaraan</b>				
Homogen	√	√	√	√
Heterogen				

<b><i>Time windows</i></b>				
Batasan waktu kerja kendaraan	√		√	√
Pelanggan	√	√	√	√
<b>Jenis Produk</b>				
Single Produk	√	√	√	√
Multiple Product				
<b>Fungsi Tujuan</b>				
Minimasi biaya distribusi	√	√	√	√
Minimasi Jumlah kendaraan				√

*halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 3**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Metodologi penelitian ini berisi tahapan-tahapan sistematis yang digunakan dalam melakukan penelitian. Tahapan-tahapan tersebut merupakan suatu kerangka berfikir yang dijadikan sebagai acuan agar proses penelitian berjalan secara sistematis, terstruktur dan terarah, serta dijadikan pedoman penelitian untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan sebelumnya.

#### **3.1 Tahap Identifikasi Permasalahan**

Pada tahap awal ini akan mengidentifikasi dan merumuskan masalah yang ada di obyek penelitian, penentuan tujuan dan manfaat penelitian serta mencari tinjauan pustaka sebagai landasan dari penelitian ini.

##### **3.1.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah**

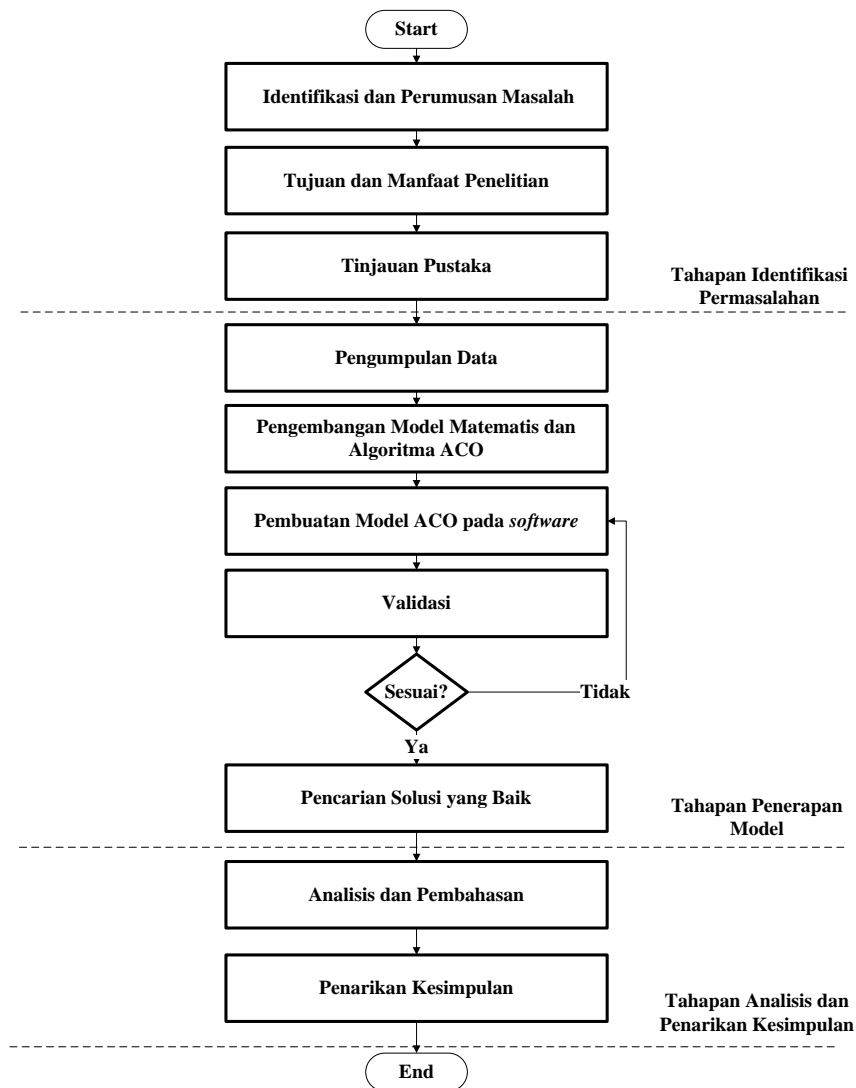
Pada subbab tahap ini dilakukan pengidentifikasian dan perumusan masalah. Masalah yang terjadi pada obyek penelitian ini adalah biaya distribusi barang tidak minimal karena penentuan rute distribusi barang yang dilakukan saat ini masih kehendak pengemudi dan lebih sering mempertimbangkan kapasitas kendaraan tanpa sangat memperhatikan di batasan waktunya, padahal yang paling banyak berkontribusi dalam pengeluaran biaya distribusi adalah biaya penalty karena sering terlambat datang. Sedangkan obyek penelitian ini menginginkan biaya distribusi dapat diminimalkan.

##### **3.1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian**

Pada subbab tahap ini dilakukan penetapan tujuan yang dilatarbelakangi oleh perumusan masalah yang telah dibuat. Penetapan tujuan penelitian akan menjadi dasar dan acuan bagaimana langkah penelitian akan dilakukan dan pokok kesimpulan yang akan ditemukan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui rute yang dapat menghasilkan biaya distribusi minimum dan jumlah kendaraan minimal dengan menggunakan metode ACO. Selain tujuan penelitian, ditetapkan pula manfaat yang akan diperoleh setelah melakukan penelitian ini untuk menggambarkan peran dari penelitian.

### 3.1.3 Tinjauan Pustaka

Pada sub-tahap ini dilakukan pengumpulan literatur-literatur yang digunakan sebagai dasar dalam penelitian ini. Studi literatur dilakukan terhadap berbagai sumber antara lain buku jurnal, *report*, artikel, maupun penelitian mengenai distribusi yang telah dilakukan sebelumnya. Tinjauan pustaka dari studi literatur dibagi menjadi beberapa bagian yaitu mengenai *vehicle routing problem* dan model matematisnya, *vehicle routing problem time windows* dan model matematisnya, metode *Ant Colony Optimization*, serta posisi peneliti dengan peneliti terdahulu. Gambar 3.1 adalah *flowchart* Metodologi Penelitian.



Gambar 3.1 *Flowchart* Metodologi Penelitian

## **3.2 Tahap Penerapan Model**

Pada tahap ini akan dilakukan pengumpulan data yang dibutuhkan, pengembangan model matematis dan algoritma ACO. Pembuatan model ACO pada *software*, validasi, pencarian solusi yang baik. *Output* pada tahap ini adalah rute yang dapat menghasilkan biaya distribusi minimum dan jumlah kendaraan minimum yang dibutuhkan.

### **3.2.1 Pengumpulan data**

Pada subbab tahap ini dilakukan pengumpulan informasi mengenai data-data yang berkaitan dengan distribusi, data-data tersebut diantaranya lokasi *customer* saat ini, jumlah kendaraan, kapasitas kendaraan yang digunakan pada saat mendistribusikan barang, *time windows customer* dan toko, serta biaya distribusi eksisting yang nantinya akan dibandingkan dengan biaya distribusi hasil pemodelan.

### **3.2.2 Pengembangan Model Matematis dan Algoritma ACO**

Pada subbab ini akan dilakukan pengembangan model matematis dan algoritma ACO. Tahap pertama dalam algoritma ACO adalah penentuan rute, kemudian perhitungan total biaya dan akan dilanjutkan dengan pengecekan konstrain kapasitas dan *time windows*. Pada model matematis, secara keseluruhan akan sama dengan model matematis VRPTW yang sudah ada, model ini nantinya akan dijadikan salah satu cara memvalidasi model *software* yang telah dibuat.

### **3.2.3 Pembuatan Model ACO pada *software***

Algoritma yang sudah dibuat sebelumnya, dijadikan acuan untuk pembuatan model pada *software*. Model *software* ini nantinya yang akan digunakan untuk memproses data yang telah didapat sebelumnya. Input yang dibutuhkan adalah jarak *customer*, *time windows customer* dan toko, kapasitas kendaraan, harga bahan bakar, *demand*.

### **3.2.4 Validasi**

Setelah model *software* selesai dibuat maka akan dilakukan validasi. Tujuan validasi adalah untuk memastikan bahwa program tersebut menghasilkan *output* yang tepat. Salah satu cara validasi adalah ketika program dihadapkan pada suatu masalah, hasil perhitungan bernilai sama dengan perhitungan manual dan memenuhi semua batasan permasalahan yang diberikan.

### **3.2.5 Pencarian Solusi yang Baik**

Setelah dilakukan validasi, maka hal selanjutnya adalah menginputkan data pengamatan berupa lokasi *customer*, *time windows*, kapasitas kendaraan, dan harga bahan bakar. Output yang didapat adalah hasil rute yang tepat, besar biaya distribusi serta jumlah kendaraan yang didapat.

### **3.3 Tahap Analisis dan Penarikan Kesimpulan**

Pada tahapan ini dilakukan analisis dari hasil *running* model dengan biaya distribusi eksisting.

#### **3.3.1 Analisis dan Interpretasi**

Pada sub-tahap ini analisis dan interpretasi dilakukan terhadap *output* dari *running* model dengan biaya distribusi eksisting serta analisis sensitivitas pada *demand*. Analisis dan interpretasi yang dilakukan sesuai dengan tujuan dari penelitian.

#### **3.3.2 Penarikan Kesimpulan**

Poin-poin dalam penarikan kesimpulan terdiri dari poin-poin yang menjawab tujuan dari penelitian. Selain penarikan kesimpulan diberikan juga saran terkait penelitian yang dilakukan.

## **BAB 4**

### **PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Pada bab ini akan dilakukan pengumpulan data yang dibutuhkan, pengembangan ACO pada VRPTW, validasi model *software* yang dibuat serta pengolahan data dari obyek pengamatan.

#### **4.1 Pengumpulan data**

Pada subbab ini akan dilakukan pengumpulan informasi mengenai data-data yang dibutuhkan untuk pengolahan data. Data-data tersebut diantaranya lokasi *customer* dan depot saat ini, jumlah kendaraan, *time windows customer* dan depot, *demand* masing-masing *customer*, rute eksisting serta biaya distribusi eksisting.

##### **4.1.1 Data Demand dan Time windows**

*Demand* pada masing-masing *customer* berbeda-beda dan memiliki *time windows* yang berbeda pula. Pihak depot menentukan *demand* minimal untuk *customer* yang ingin memesan produk tepung, *demand* minimal adalah 25 kg. *Time windows* sendiri ditentukan oleh pihak *customer* masing-masing, sehingga bisa jadi tiap *customer* memiliki *time windows* yang berbeda-beda. Pihak depot juga mempunyai *time windows* sendiri yaitu antara pukul 8.00 - 21.00. Apabila *customer* memesan di luar ketentuan *time windows* depot, maka tidak akan dilayani. Dalam pengantaran barang diterapkan sistem penalty, sistem penalty ini hanya berlaku jika waktu barang datang melebihi waktu *latest time*. Penalty yang ditetapkan adalah Rp 60.000,00 per jam atau Rp 1.000,00 tiap menit. Data *time windows* yang didapat adalah dalam satuan jam dan akan dikonversikan ke satuan menit agar lebih mudah dalam penghitungan waktu penalty. Tabel 4.1 merupakan data *demand* dan *time windows* untuk masing-masing *customer*.

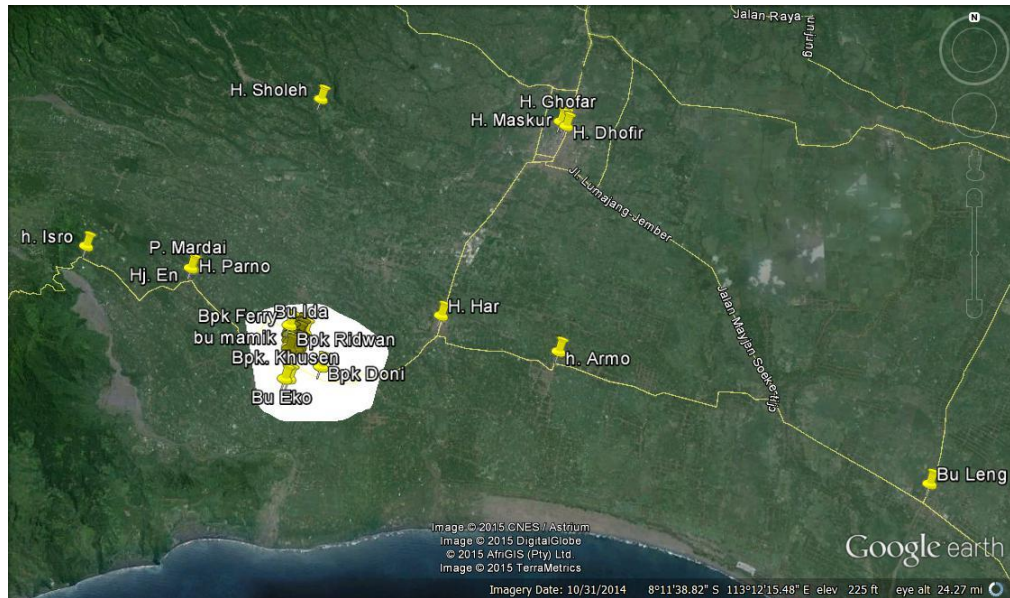


Tabel 4.1 Data *demand* dan *time windows*

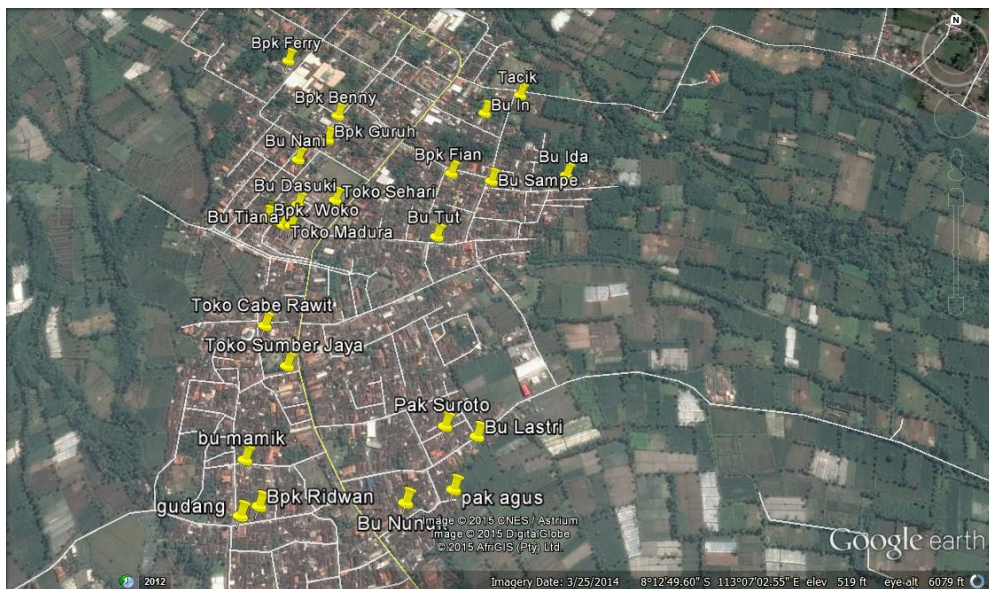
No	Nama konsumen	Time windows (menit)		Demand (kg)	No	Nama konsumen	Time windows (menit)		Demand (kg)
		ei	li				Ei	li	
1	Depot	480	1260	0	22	Haji Maskur	480	1020	300
2	Bu Mamik	480	720	100	23	Haji Dhofir	480	1020	100
3	Pak Agus	480	1020	100	24	Haji Har	480	1020	100
4	Pak Suroto	480	1020	200	25	Haji Armo	480	1080	100
5	Bu Lastri	480	1020	100	26	Haji Parno	480	1020	200
6	Bu Nunuk	1080	1200	100	27	Haji En	480	1020	100
7	Bu Eko	1080	1200	100	28	Pak Mardai	480	1020	100
8	Pak Khusen	480	1020	200	29	H Isro'	480	1020	300
9	Bu Tut	480	1020	100	30	Toko Sehari	480	900	100
10	Bu Ida	480	1020	200	31	Toko Caberawit	480	1080	300
11	Bu In	480	1020	75	32	Toko Sumberjaya	480	1140	200
12	Bu Sampe	480	1020	100	33	Bu Tiana	480	1020	75
13	Pak Fian	900	1200	100	34	Toko Madura	480	1080	75
14	Tacik	720	900	150	35	Haji Miun	480	1140	50
15	Pak Guruh	720	900	100	36	Pak Kholik	480	1080	100
16	Bu Nani	480	1020	100	37	Pak Woko	480	1020	100
17	Pak Beni	660	900	100	38	Bu Win	480	1140	50
18	Pak Fery	660	900	100	39	Bu Dasuki	840	1080	50
19	Pak Ridwan	660	900	100	40	Bu Leng	900	1080	400
20	Pak Doni	480	720	200	41	H.Sholeh	900	1080	200
21	Haji Ghofar	480	1020	200					

#### 4.1.2 Lokasi *customer* dan depot

Terdapat 40 *customer* dan 1 depot dimana lokasinya tersebar di daerah Kabupaten Lumajang dan Kabupaten Malang. Denah lokasi depot dan seluruh *customer* dapat dilihat pada Gambar 4.1 yang di-*capture* dari aplikasi *google earth*.

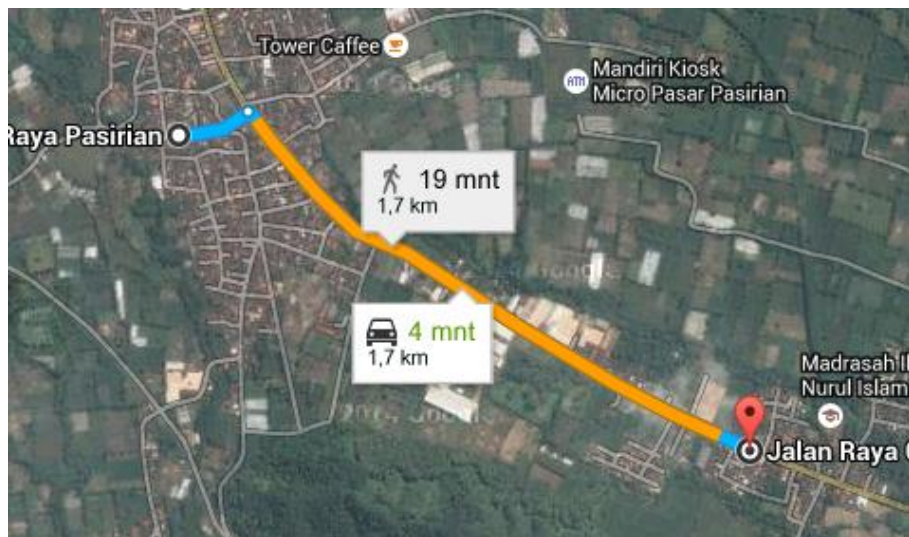


Gambar 4.1 Denah lokasi depot dan seluruh *customer*



Gambar 4.2 Perbesaran denah yang diarsir

Dari data denah lokasi depot dan seluruh *customer* tersebut akan dilakukan perhitungan jarak antar *customer* dan antara depot dan *customer*. Perhitungan jarak menggunakan aplikasi Google Map supaya data jarak yang diperoleh lebih akurat. Salah satu contoh cara pencarian jarak ada pada Gambar 4.3 dimana pada gambar tersebut mencari jarak antara *customer* Bapak Ridwan ke *customer* Bapak Doni.



Gambar 4.3 Contoh pencarian jarak menggunakan aplikasi Google Map

Data yang diambil dari Google Map hanya jarak saja, sedangkan untuk waktu perjalanan dilakukan perhitungan dengan rumus :

$$t = \frac{s}{v}$$

Keterangan : s = jarak (km)

v = kecepatan kendaraan (km/jam)

t = waktu perjalanan (jam) yang akan dikonversikan ke menit.

Perhitungan waktu tempuh akan dilakukan di dalam model *software*. Tabel 4.2 merupakan beberapa data jarak yang berasal dari Google Map. Data lengkapnya terlampir pada Lampiran 2.

Tabel 4.2 Beberapa data jarak berasal dari Google Map.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.00	0.22	0.54	0.53	0.53	0.41	1.87	1.72	1.07	1.46
2	0.22	0.00	0.57	0.72	0.72	0.46	1.86	1.69	0.96	1.36
3	0.54	0.57	0.00	0.19	0.18	0.11	1.90	1.70	1.00	1.40
4	0.53	0.72	0.19	0.00	0.18	0.28	2.10	1.92	1.00	1.20
5	0.53	0.72	0.18	0.18	0.00	0.28	2.10	1.92	1.00	1.20
6	0.41	0.46	0.11	0.28	0.27	0.00	1.80	1.62	0.70	0.90
7	1.87	1.86	1.90	2.10	2.10	1.80	0.00	0.18	2.60	3.00
8	1.72	1.69	1.70	1.92	1.92	1.62	0.18	0.00	2.42	2.82
9	1.07	0.96	1.00	1.00	1.00	1.80	2.60	2.42	0.00	0.40
10	1.46	1.36	1.40	1.20	1.20	1.62	3.00	2.82	0.40	0.00

Keterangan : nomer 1 adalah depot dan nomer lainnya adalah *customer*.

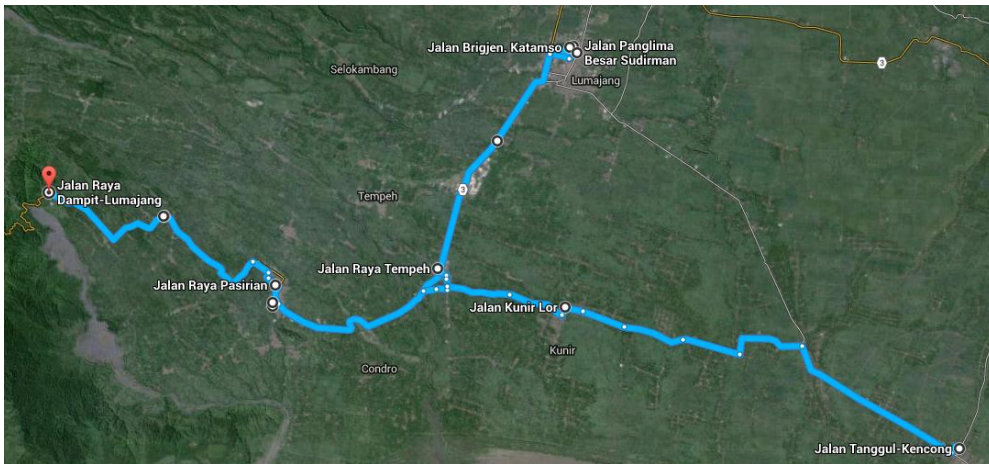
#### 4.1.3 Jenis dan Kapasitas Kendaraan

Kendaraan yang digunakan untuk distribusi barang adalah jenis kendaraan pick up merk Isuzu. Jumlah kendaraan yang digunakan adalah tiga buah, dimana masing-masing kendaraan berkapasitas 80 karung tepung @25kg yang setara dengan 2.000 kg tepung. Kendaraan ini beroperasi sesuai dengan *time windows* depot. Kecepatan kendaraan rata-rata adalah 40 km/jam, kecepatan rata-rata 40 km/jam karena kondisi jalan yang berlubang dan banyak kendaraan besar seperti truk pasir yang melintas, sehingga kecepatan rata-rata kendaraan yang digunakan adalah 40 km/jam. Kendaraan yang digunakan memakai bahan bakar solar, dimana tiap 1 liter solar mampu menempuh 12 km. Harga solar adalah Rp6.900,00, jadi tiap km akan setara dengan Rp 575,00.

#### 4.1.4 Rute eksisting dan biaya distribusi

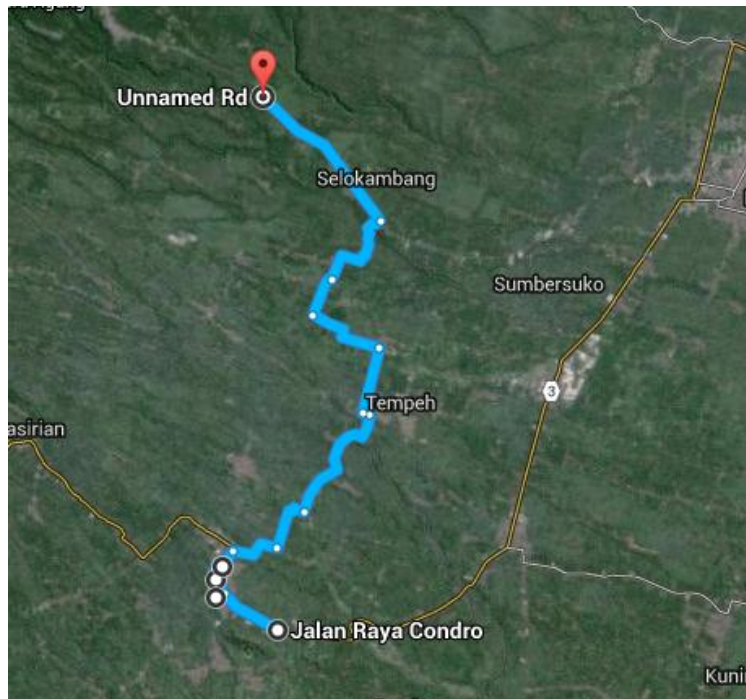
Pada kondisi eksisting, total biaya yang dikeluarkan untuk pendistribusian barang sebesar Rp 920.000,00 dengan rincian biaya transportasi sebesar Rp 250.000 dan biaya pinalti sebesar Rp 670.000,00. Rute yang dilalui adalah:

- 1) Depot – Bu Mamik – Haji Ghofar – Haji Dhofir – Haji Maskur – Haji Har – Haji Armo – Haji Leng – Pak Guruh – Bu Nani – Haji Parno – Hj En – Pak Mardai – Haji Isro – Depot.



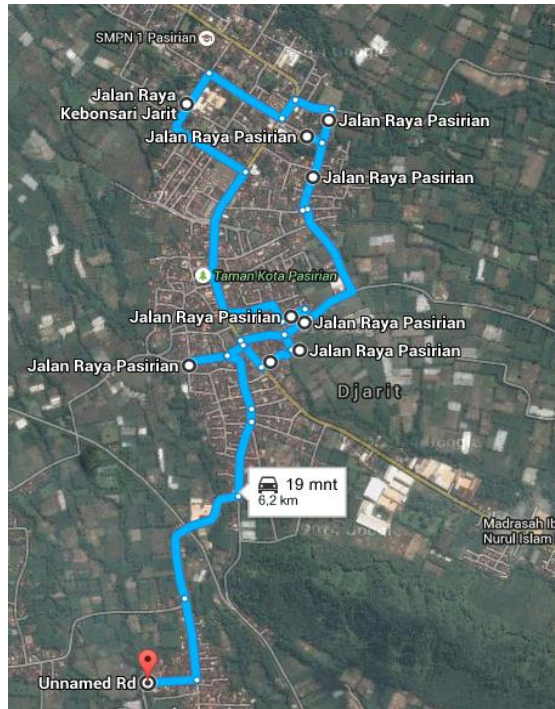
Gambar 4.4 Gambar jalur rute pertama menggunakan aplikasi Google Map

- 2) Depot – Toko Cabe Rawit – Toko Sumber Jaya – Toko Sehari – Bu Tiana – Toko Madura – Haji Miun – Pak Kholik – Pak Woko – Bu Win – Bu Dasuki – Pak Benny – Pak Ridwan – Pak Doni – Pak Sholeh – Depot.



Gambar 4.5 Gambar jalur rute ke dua menggunakan aplikasi Google Map

3) Depot – Pak Agus – Pak Suroto – Bu Lastri – Pak Feri – Tacik – Bu Nunuk – Bu Tut – Bu Ida – Bu In – Bu Sampe – Pak Fian – Bu Eko – Pak Khusen – Depot.



Gambar 4.6 Gambar jalur rute ke tiga menggunakan aplikasi Google Map

## 4.2 Pengembangan Algoritma ACO pada VRPTW

Pada penelitian ini akan dikembangkan algoritma penyelesaian untuk permasalahan VRPTW berdasarkan algoritma ACS:

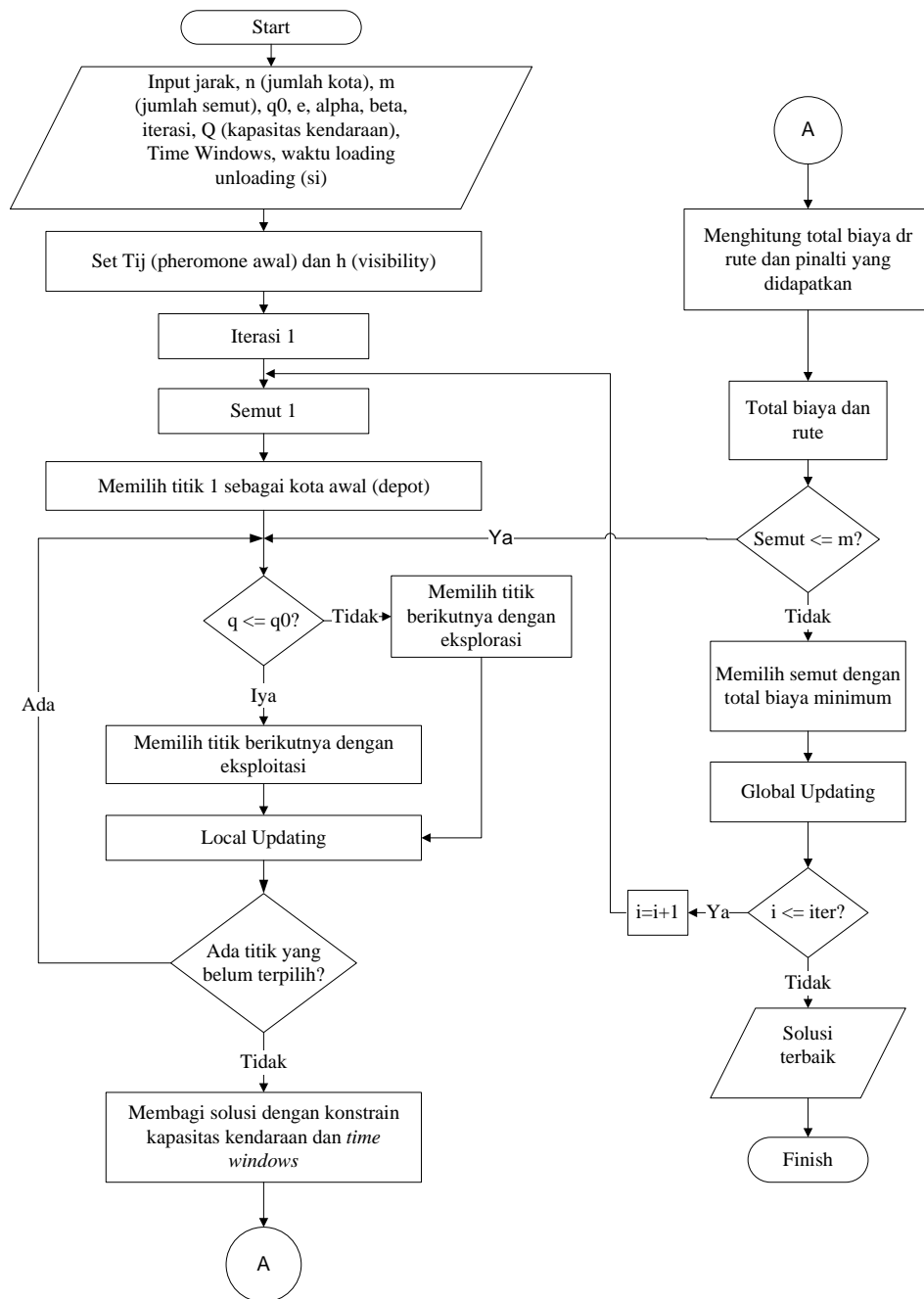
1. Menentukan parameter yang digunakan yaitu *Capacity* (Kapasitas kendaraan), jarak, *time windows*,  $d$  (*demand*),  $\tau_{ij}$ ,  $\rho$ ,  $m$  (jumlah semut),  $n$  (jumlah kota), iter (jumlah iterasi),  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $q_0$ , harga bahan bakar, dan harga penalty.
2. Menerapkan aturan *state transition*, dimana aturan tersebut untuk memutuskan titik yang akan dituju oleh semut. Terdapat dua kemungkinan dalam pemilihan titik yang akan dituju semut yaitu eksplorasi dan eksploitasi, Zhang & Thang (2009) menyatakan formula aturan *state transition* sebagai berikut:

$$J = \begin{cases} \arg \max \{ \pi_{ij} \eta_{ij}^\beta \} & \text{if } q \leq q_0 & \text{eksploitasi} \\ S, & \text{lainnya} & \text{eksplorasi} \end{cases}$$

$$S = P_{ij}^k = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\pi_{ij}^\alpha \eta_{ij}^\beta}{\sum_{j \in M_k} \pi_{ij}^\alpha \eta_{ij}^\beta} \quad j \notin M_k \\ 0, \quad \text{lainnya} \end{array} \right\}$$

3. Menerapkan aturan *local updating*. *Local updating* digunakan untuk memodifikasi jumlah *pheromone*.
4. Mengulangi langkah 1-3 sampai semua semut mendapatkan rute kunjungan untuk semua titik.
5. Membagi solusi sesuai batasan yang ditetapkan. Batasan yang digunakan adalah kapasitas kendaraan dan *time windows* (depot dan konsumen). Apabila waktu datang kendaraan melebihi waktu tutup (*latest time*) yang ditetapkan konsumen, maka akan dikenakan biaya pinalti.
6. Menghitung fungsi biaya untuk masing-masing semut.
7. Menerapkan aturan *Global Updating*.

Secara sistematis penerapan algoritma ACO untuk penjadwalan rute kendaraan dalam kasus VRPTW adalah:



Gambar 4.7 Algoritma ACO pada VRPTW

### 4.3 Uji Validasi

Sebelum melakukan pengolahan data menggunakan algoritma ACS dengan menggunakan data primer dari obyek amatan, algoritma akan diuji terlebih dahulu dengan menggunakan permasalahan sederhana untuk melakukan validasi apakah algoritma dapat menyelesaikan permasalahan dengan benar. Data yang digunakan pada perhitungan ini menggunakan data kecil yaitu terdiri dari 1 depot dan 4



konsumen yang memiliki kapasitas kendaraan sebesar 35 dan memiliki *time windows* serta biaya penalty jika melanggar waktu tutup (*latest time*). Berikut adalah set data yang digunakan untuk validasi.



Gambar 4.8 Denah lokasi depot dan konsumen pada set data kecil

Tabel 4.3 Jarak set data kecil (berasal dari Google Map)

	Depot	1	2	3	4
Depot	0	20	30	40	65
1	20	0	14	24	51
2	30	14	0	18	37
3	40	24	18	0	43
4	65	51	37	43	0

Tabel 4.4 Data *demand*, *time windows*, dan waktu *loading unloading*

Node	demand	Time windows		Waktu loading unloading
		Ei	li	
Depot	0	480	900	
1	10	480	540	5
2	25	480	600	5
3	20	510	660	5
4	10	510	700	5

Tabel 4.5 Data lain

<b>Data yang lain</b>	
<b>Harga Solar/km</b>	Rp 575,00
<b>Kecepatan Kendaraan</b>	40 km/jam
<b>Biaya Penalti</b>	Rp 1.000,00 / Rp 60.000,00

Data tersebut akan diselesaikan dengan menggunakan perhitungan manual dan menggunakan algoritma *Ant Colony System* (ACS, kemudian hasilnya akan dibandingkan. Jika hasilnya sama, maka akan diteruskan dengan uji batasan yang ada pada model matematis. Apabila hasilnya tidak ada yang melanggar batasan-batasan tersebut, maka model *software* yang telah dibuat adalah valid dan dapat digunakan untuk mengolah data primer.

#### 4.3.1 Penyelesaian dengan perhitungan data kecil

Pada subbab ini akan dilakukan perhitungan dengan menggunakan data kecil, hasil dari perhitungan ini adalah subrute yang menghasilkan biaya distribusi minimum. Berikut adalah tahapan-tahapan perhitungannya:

##### Step 1:

Rute diawali dari depot, kemudian dihitung waktu sampai ke masing-masing konsumen. Setelah itu, dilakukan pengecekan konstrain kapasitas dan *time windows*. Apabila semua memenuhi, maka dipilih konsumen yang memiliki waktu sampai yang paling kecil. Pada step 1, konsumen yang terpilih adalah konsumen 1, jadi subrute yang terbentuk adalah depot –1.

Tabel 4.6 Cara perhitungan step 1

Depot	waktu berangkat	Konsumen selanjutnya	<i>Demand</i>	Waktu sampai	Waktu pergi	Konstrain kapasitas	Konstrain <i>time windows</i>
		1	10	510	515	memenuhi	memenuhi
Depot	480	2	25	525	530	memenuhi	memenuhi
		3	20	540	545	memenuhi	memenuhi
		4	10	578	583	memenuhi	memenuhi

##### Step 2:

Pada step sebelumnya, telah terpilih konsumen 1. Kemudian dilakukan perhitungan waktu kembali dari konsumen 1 ke konsumen yang belum terpilih. Setelah dilakukan perhitungan waktu sampai, maka dilakukan pengecekan terhadap konstrain kapasitas dan *time windows*. Apabila semua memenuhi, maka dipilih konsumen yang memiliki waktu sampai yang paling kecil. Pada step 2, yang terpilih adalah konsumen 2 dan total *demand* yang dibawa adalah 35. Karena *demand* telah sama dengan kapasitas kendaraan, maka kendaraan akan kembali ke depot.

Tabel 4.7 Cara perhitungan step 2

Konsumen sebelumnya	Waktu berangkat	Konsumen selanjutnya	Demand	Waktu datang	Waktu pergi	Konstrain kapasitas	Konstrain <i>time windows</i>
		2	25	536	541	memenuhi	memenuhi
1	515	3	20	551	556	memenuhi	memenuhi
		4	10	592	597	memenuhi	memenuhi

**Step 3:**

Cara perhitungan akan kembali seperti step 1 dan step 2, Tabel 4.8 adalah hasil dari perhitungan selanjutnya.

Tabel 4.8 Cara perhitungan selanjutnya

Depot	Waktu berangkat	Konsumen selanjutnya	Kapasitas	Waktu datang	Waktu pergi	Konstrain kapasitas	Konstrain <i>time windows</i>
		3	20	540	545	memenuhi	memenuhi
depot	480	4	10	578	583	memenuhi	memenuhi

Output dari hasil perhitungan dengan data kecil adalah *best rute* dan jarak serta biaya distribusi dan biaya penalti. Dari hasil perhitungan dapat diketahui bahwa tidak ada yang melanggar konstrain *time windows*, hal ini berarti biaya penalty adalah Rp 0,00.

Tabel 4.9 adalah *best rute* dan total biaya yang dikeluarkan.

Tabel 4.9 Output perhitungan dengan data kecil

Hasil	
<b>Rute</b>	Depot – 1 – 2 – depot Depot – 3 – 4 – depot
<b>Jarak</b>	212
<b>Total biaya</b>	Rp 121.900,00

### 4.3.2 Penyelesaian dengan *Ant Colony System*

Data set yang digunakan dalam perhitungan manual akan diselesaikan dengan menggunakan algoritma ACS. Berikut adalah langkah-langkah menyelesaikan VRPTW dengan algoritma ACS.

#### Langkah 1 : Inisialisasi

Berikut merupakan parameter-parameter yang digunakan untuk inisialisasi awal algoritma ACS.

- $\alpha = 1$  (parameter pengendali intensitas feromone)
- $\beta = 3$  (parameter pengendali visibilitas)
- $\rho = 0.5$  (koefisien penguapan feromone)
- $m = 3$  (jumlah semut)
- iter=10 (jumlah iterasi)
- $q_0 = 0.9$  (pemilihan antara eksploitasi dan eksplorasi)

- Tingkat feromone awal

$$\tau_0 = \begin{bmatrix} 0.01 & 0.01 & 0.01 & 0.01 & 0.01 & 0.01 \\ 0.01 & 0.01 & 0.01 & 0.01 & 0.01 & 0.01 \\ 0.01 & 0.01 & 0.01 & 0.01 & 0.01 & 0.01 \\ 0.01 & 0.01 & 0.01 & 0.01 & 0.01 & 0.01 \\ 0.01 & 0.01 & 0.01 & 0.01 & 0.01 & 0.01 \end{bmatrix}$$

- Visibility jarak ( $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$ )

$$\eta = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.050 & 0.033 & 0.025 & 0.015 \\ 0.050 & 0.000 & 0.071 & 0.041 & 0.019 \\ 0.033 & 0.071 & 0.000 & 0.055 & 0.027 \\ 0.025 & 0.041 & 0.055 & 0.000 & 0.232 \\ 0.015 & 0.019 & 0.027 & 0.232 & 0.000 \end{bmatrix}$$

#### Langkah 2. Pembentukan rute dan fungsi tujuan

Pembentukan rute pada ACS untuk permasalahan VRPTW selalu diawali dari depot. Setiap semut akan memilih kota selanjutnya dengan aturan *state transition*, kemudian akan dilakukan *local updating*.

- Set Iterasi 1

Untuk semut 1

1. Pilih node awal secara random, node yang terpilih adalah node 4.

$$\text{Local updating: } \tau(i,j) = (1 - \rho) \cdot \tau(i,j) + \rho \tau_0$$

$$\begin{aligned}\tau(0,5) &= (1 - 0.5)(0.01) + (0.5).(0.01) \\ &= 0.01\end{aligned}$$

$$\text{Rute} = 0 - 5$$

2. Menentukan node yang akan dikunjungi berikutnya dengan menentukan nilai random  $q$ .  $q = 0.43$ ,  $q \leq q_0$  sehingga menggunakan aturan *state transition* eksploitasi dengan persamaan sebagai berikut:

$$S = \arg \max \{ \tau_{ij} \eta_{ij}^\beta \}$$

$$5 - 2 = (0.01)(0.019)^3 = 6.8921\text{E-}07$$

$$5 - 3 = (0.01)(0.027)^3 = 1.9683\text{E-}07$$

$$5 - 4 = (0.01)(0.232)^3 = 0.00012487$$

$$\text{Local updating: } \tau(i,j) = (1 - \rho) \cdot \tau(i,j) + \rho \tau_0$$

$$\begin{aligned}\tau(5,4) &= (1 - 0.5)(0.01) + (0.5).(0.01) \\ &= 0.01\end{aligned}$$

$$\text{Rute} = 0 - 5 - 4$$

3. Menentukan node yang akan dikunjungi selanjutnya dengan menentukan nilai random  $q$ .  $q = 0.91$ ,  $q \geq q_0$  sehingga menggunakan aturan *state transition* eksplorasi dengan persamaan sebagai berikut:

$$S = P_{ij}^k = \frac{\pi_{ij}^\alpha \eta_{ij}^\beta}{\sum_{k \in M_k} \pi_{ij}^\alpha \eta_{ij}^\beta}$$

$$4 - 2 = (0.01)^1(0.041)^3 = 6.8921\text{E-}07$$

$$4 - 3 = (0.01)^1(0.055)^3 = \frac{0.00003025}{3.09392\text{E-}05}$$

$$P(1) = 0.022276264$$

$$P(2) = 0.977723736$$

Dipilih bilangan random  $r = 0.01$ , kemudian dipilih konsumen 2. Langkah selanjutnya adalah dilakukan local updating.

$$\text{Local updating: } \tau(i,j) = (1 - \rho) \cdot \tau(i,j) + \rho \tau_0$$

$$\begin{aligned}\tau(4,2) &= (1 - 0.5)(0.01) + (0.5).(0.01) \\ &= 0.01\end{aligned}$$

Rute yang terpilih untuk semut 1 adalah 1 – 5 – 4 – 2 – 3 – 1. Cara ini dilakukan untuk semua semut.

Tabel 4.10 Pembentukan rute ACS pada iterasi 1

<b>K</b>	<b>Rute</b>
<b>1</b>	1 – 5 – 4 – 2 – 3 – 1
<b>2</b>	1 – 4 – 2 – 5 – 3 – 1
<b>3</b>	1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 1

#### 4. Perhitungan fungsi tujuan

Setiap rute dibangkitkan, kemudian di evaluasi berdasarkan batasan kapasitas kendaraan dan *time windows*. Tahap-tahap evaluasi rute yang terbentuk dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Perhitungan kapasitas kendaraan

Dari setiap subrute (hasil rute yang dipecah) maka akan dihitung total permintaannya. Jika jumlah permintaan sudah lebih dari kapasitas kendaraan, maka subrute dihentikan dan kembali ke depot awal dan dilanjutkan untuk memenuhi permintaan konsumen berikutnya.

- Perhitungan *time windows*

Dari setiap subrute (hasil rute yang dipecah) akan dihitung waktu sampai ke konsumen dan waktu pergi dari konsumen. Apabila kendaraan datang sebelum waktu buka, maka kendaraan akan menunggu sampai waktu buka tiba. Dan jika kendaraan datang melebihi waktu tutup konsumen, maka akan dikenakan sistem penalti. Hasil perhitungan fungsi tujuan dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Pemecahan rute berdasar kapasitas dan *time windows*

<b>k</b>	<b>Rute awal</b>	<b>Subrute</b>		<b>Jarak</b>
<b>1</b>	1 – 5 – 4 – 2 – 3 – 1	1-5-4-1	1-2-3-1	212
<b>2</b>	1 – 4 – 2 – 5 – 3 – 1	1-4-2-1	1-5-3-1	216
<b>3</b>	1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 1	1-2-3-1	1-4-5-1	212

Tabel 4.12 Perhitungan total biaya

<b>k</b>	<b>Biaya Distribusi</b>	<b>Biaya Pinalti</b>	<b>Total Biaya</b>
<b>1</b>	Rp 121.900	Rp 41.000	Rp 162.900
<b>2</b>	Rp 124.200	Rp 80.000	Rp 204.200
<b>3</b>	Rp 121.900	Rp 0	Rp 121.900

### Langkah 3: Global Updating

Setelah perhitungan fungsi tujuan, maka langkah terakhir dari algoritma ACS adalah *global updating* feromone dengan persamaan:

$$\tau_{ij} = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho / C_{best}$$

Hasil *global updating* adalah sebagai berikut :

Tabel 4.13 Hasil *global updating*

9.77E-06	1.57E-05	9.77E-06	1.65E-05	9.77E-06
9.77E-06	9.77E-06	1.57E-05	9.77E-06	9.77E-06
1.57E-05	9.77E-06	9.77E-06	9.77E-06	9.77E-06
9.77E-06	9.77E-06	9.77E-06	9.77E-06	1.57E-05
1.65E-05	9.77E-06	9.77E-06	9.77E-06	9.77E-06

### Langkah 4. Pengecekan kriteria pemberhentian

Kriteria pemberhentian yang dipakai dalam algoritma ini adalah jumlah iterasi. Jika iterasi sudah mencapai batas iterasi, maka perhitungan berhenti.

### Langkah 5. Penentuan hasil optimal

Hasil dari total biaya yang paling minimum akan disimpan untuk setiap iterasi. Ketika iterasi sudah berakhir, maka akan dipilih hasil yang paling optimal dari historis total biaya yang diperoleh. Untuk permasalahan set data ini hasil optimal dengan kriteria pemberhentian setelah 10 iterasi adalah sebagai berikut:

```
Biaya =  
      162900      204200      121900  
  
biaya_minimal =  
      121900
```

Gambar 4.9 Hasil Optimal

Subrute terbaik yang terbentuk adalah 1 – 2 – 3 -1 dan 1 – 4 – 5 – 1. Total biaya minimal adalah Rp 121.900,00 dengan total biaya pinalti 0. Jumlah kendaraan mewakili jumlah subrute. Subrute yang terbentuk ada dua, berarti



dibutuhkan dua kendaraan. Dari output tersebut, menunjukkan bahwa hasil perhitungan dengan data sederhana dan dengan algoritma ACS adalah sama. Output yang sama tersebut akan di uji ke dalam batasan-batasan yang ada pada model matematis.

### 4.3.3 Uji Hasil Algoritma pada Model Matematis

Hasil yang telah didapatkan sebelumnya akan diuji apakah hasil tersebut sudah memenuhi batasan-batasan yang ada pada model matematis VRPTW. Sebelum dilakukan pengujian, maka sebelumnya diidentifikasi terlebih dahulu variabel-variabel keputusan yang ada dalam penyelesaian masalah ini.

$i$  = konsumen

$j$  = konsumen selanjutnya

Minimasi :

$$Z = c \sum_{k \in V} \sum_{i \in n} \sum_{j \in n} d_{ij} x_{ijk} + \sum_{i \in n} \sum_{j \in n} \sum_{k \in V} p_{ijk}$$

Batasan (1) setiap konsumen dikunjungi tepat satu kali oleh suatu kendaraan :

$$\sum_{k \in V} \sum_{i \in n} \sum_{j \in n} x_{ijk} = 1$$

Jika melihat pada solusi yang dihasilkan maka dapat dilihat :

$$x_{111} + x_{121} + x_{131} + x_{141} + x_{151} = 1$$

$$0 + 1 + 0 + 0 + 0 = 1$$

$$x_{211} + x_{221} + x_{231} + x_{241} + x_{251} = 1$$

$$0 + 0 + 1 + 0 + 0 = 1$$

$$x_{112} + x_{122} + x_{132} + x_{142} + x_{152} = 1$$

$$0 + 0 + 0 + 1 + 0 = 1$$

$$x_{412} + x_{422} + x_{432} + x_{442} + x_{452} = 1$$

$$0 + 0 + 0 + 0 + 1 = 1$$

Batasan (2) total permintaan pelanggan tidak melebihi kapasitas kendaraan :

$$\sum_{i \in C} \sum_{j \in N} q_i x_{ijk} \leq Q, \forall k \in V$$

k=2, Q = 35

**Kendaraan 1**

$$q_2 \cdot x_{111} + q_2 \cdot x_{121} + q_2 \cdot x_{131} + q_2 \cdot x_{141} + q_2 \cdot x_{151} + q_3 \cdot x_{211} + q_3 \cdot x_{221} + q_3 \cdot x_{231} + q_3 \cdot x_{241} + q_3 \cdot x_{251} \leq 35$$

$$(10)(0) + (10)(1) + (10)(0) + (10)(0) + (10)(0) + (25)(0) + (25)(1) + (25)(0) + (25)(0) + (25)(0) \leq 35$$

$$35 \leq 35$$

**Kendaraan 2**

$$q_4 \cdot x_{112} + q_4 \cdot x_{122} + q_4 \cdot x_{132} + q_4 \cdot x_{142} + q_4 \cdot x_{152} + q_5 \cdot x_{412} + q_5 \cdot x_{422} + q_5 \cdot x_{432} + q_5 \cdot x_{442} + q_5 \cdot x_{452} \leq 35$$

$$(20)(0) + (20)(0) + (20)(0) + (20)(1) + (20)(0) + (10)(0) + (10)(0) + (10)(0) + (10)(0) + (10)(1) \leq 35$$

$$35 \leq 35$$

Total muatan pada kendaraan 1 dan kendaraan 2 tidak ada yang melebihi kapasitas kendaraan.

Batasan (3) Setiap rute berawal dari depot 1:

$$\sum_{j \in n} x_{1jk} = 1, \forall k \in V$$

Pada kendaraan pertama berawal dari  $x_{121}$  dan pada kendaraan kedua berawal dari  $x_{142}$

Batasan (4) Setiap kendaraan yang mengunjungi suatu pelanggan pasti akan meninggalkan pelanggan tersebut:

$$\sum_{i \in n} x_{ihk} - \sum_{j \in n} x_{hjk} = 0, \forall h \in n, \forall k \in V$$

$$(x_{111} + x_{121} + x_{131} + x_{141} + x_{151}) - (x_{211} + x_{221} + x_{231} + x_{241} + x_{251}) = 0$$

$$(0 + 1 + 0 + 0 + 0) - (0 + 0 + 1 + 0 + 0) = 0$$

$$0 = 0$$

Batasan (5) waktu pelayanan di setiap pelanggan memenuhi *time windows*:

$$a_i \leq s_{jk} \leq b_i, \forall i \in N, \forall k \in V$$

Contoh pada konsumen 2

$$a_i \leq s_{jk} \leq b_i,$$

$$480 \leq 510 \leq 540$$

Batasan (6) mendapat penalty jika melebihi waktu tutup konsumen

$$s_{jk} - b_i \geq 0$$

Contoh pada konsumen 2

$$510 - 540 \geq 0$$

$$-40 \geq 0$$

Karena tidak lebih dari nol, maka tidak dikenai penalty.

Hasil dari perhitungan dengan data kecil dan perhitungan manual dengan algoritma ACS adalah sama. Hasil yang telah diperoleh tersebut kemudian akan uji dengan model matematisnya, dan ternyata tidak melanggar batasan-batasan model matematis. Sehingga model yang telah dibuat adalah valid dan akan digunakan untuk pengolahan data yang sebenarnya..

#### 4.4 Uji Perubahan Parameter Algoritma

Parameter yang digunakan pada algoritma ACO adalah  $\alpha$  (parameter pengendali intensitas jarak semut),  $\beta$  (parameter pengendali visibilitas),  $q_0$  (parameter pembanding bilangan random yang menunjukkan hubungan antara eksploitasi dan eksplorasi) dan  $\rho$  (parameter tingkat penguapan). Uji keempat parameter ini perlu dilakukan untuk mengetahui kombinasi nilai keempat parameter yang bisa memberikan performansi yang baik. Kombinasi keempat parameter ini akan di uji menggunakan set data kecil. Skenario nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  adalah 1 dan 3, nilai  $q_0$  adalah 0.9, dan 0.5, nilai  $\rho$  adalah 0.3, 0.5 dan 0.8,

Tabel 4.14 Hasil skenario pertama

	$\alpha=1$			$\alpha=$		
	$\beta=1$			$\beta=1$		
	$q_0=0.5$			$q_0=0.9$		
	$\rho=0.3$	$\rho=0.5$	$\rho=0.8$	$\rho=0.3$	$\rho=0.5$	$\rho=0.8$
<b>Hasil</b>	<b>369.500</b>	<b>190.000</b>	<b>122.000</b>	<b>193.500</b>	<b>185.500</b>	<b>98.000</b>

Tabel 4.15 Hasil skenario kedua

	$\alpha=3$			$\alpha=3$		
	$\beta=1$			$\beta=1$		
	$q_0=0.5$			$q_0=0.9$		
	$\rho=0.3$	$\rho=0.5$	$\rho=0.8$	$\rho=0.3$	$\rho=0.5$	$\rho=0.8$
<b>Hasil</b>	<b>254.500</b>	<b>172.250</b>	<b>123.250</b>	<b>269.750</b>	<b>158.000</b>	<b>127.000</b>

Tabel 4.16 Hasil skenario ketiga

	$\alpha=1$			$\alpha=1$		
	$\beta=3$			$\beta=3$		
	$q_0=0.5$			$q_0=0.9$		
	$\rho=0.3$	$\rho=0.5$	$\rho=0.8$	$\rho=0.3$	$\rho=0.5$	$\rho=0.8$
<b>Hasil</b>	<b>317.500</b>	<b>140.500</b>	<b>122.000</b>	<b>193.500</b>	<b>92.250</b>	<b>164.500</b>

Tabel 4. 17 Hasil scenario keempat

	$\alpha=3$			$\alpha=3$		
	$\beta=3$			$\beta=3$		
	$q_0=0.5$			$q_0=0.9$		
	$\rho=0.3$	$\rho=0.5$	$\rho=0.8$	$\rho=0.3$	$\rho=0.5$	$\rho=0.8$
<b>Hasil</b>	<b>185.500</b>	<b>122.000</b>	<b>114.500</b>	<b>127.000</b>	<b>129.750</b>	<b>163.500</b>

Dari hasil uji parameter di atas, diketahui bahwa kombinasi parameter yang menghasilkan performansi baik adalah  $\alpha=1$ ,  $\beta=3$ ,  $q_0=0.9$ , dan  $\rho=0.5$ . Oleh karena itu pada saat melakukan eksperimen untuk pengujian set data akan digunakan parameter-parameter tersebut.

## 4.5 Pengolahan Set Data dari Obyek Pengamatan

Pada subbab ini akan dilakukan pengolahan set data yang dimulai dari parameter input model dan hasil pengolahan data.

### 4.5.1 Parameter Input Model

Parameter yang digunakan pada pengolahan set data dari obyek pengamatan tertera di Tabel 4.18

Tabel 4.18 Parameter input pada model

Parameter Input	Nilai
Jumlah titik (n)	41
Kapasitas Kendaraan (Capacity)	2000
Waktu <i>loading unloading</i> (si)	10 menit
Jumlah semut (m)	20
Pheromone awal (t)	0.01
Evaporasi (e)	0.5
Qo	0.9
$\alpha$ (alpha)	1
$\beta$ (betha)	3
Jumlah iterasi (iter)	100
Jarak	Terdapat di Lampiran 1
<i>Demand</i>	Di bab 4.1
<i>Time windows</i>	Di bab 4.1
Pinalti	Rp 1.000/menit
Biaya Bahan Bakar	Rp 575,00 /km
Kecepatan kendaraan	40 km/jam

### 4.5.2 Hasil Pengolahan Data

Model *software* yang telah dibuat akan diimplementasikan menggunakan set data uji dari obyek pengamatan. Output dari model *software* adalah rute dan total biaya. Output pada Tabel 4.19 adalah hasil terbaik yang diperoleh selama dilakukan pengolahan data.

Tabel 4.19 Hasil terbaik selama pengolahan data

No	Jumlah Konsumen	Jumlah Depot	Kapasitas Kendaraan	Total Biaya
1	40	1	2000	Rp 277.175

Rincian dari total biaya adalah biaya transportasi sebesar Rp 189.175 dan biaya pinalti sebesar Rp 88.000. Total jarak yang ditempuh oleh seluruh kendaraan adalah 329 km. Rute yang menghasilkan total biaya minimum adalah:

Tabel 4.20 Rute yang dihasilkan model *software*

Subrute	Hasil
1	1 – 25 – 21 – 22 – 35 – 37 – 24 - 9 - 3 – 30 – 28 – 2 – 15 – 10 – 14 – 39 – 5 – 1
2	1 – 4 – 40 - 18 - 17 – 34 - 32 - 29 – 19 – 8 – 38 – 26 – 1
3	1 – 20 – 27 – 41 – 6 – 23 - 33 - 12 – 7 – 13 – 31 – 16 - 11 - 36 - 1

Total biaya distribusi eksisting sebesar Rp 920.000 dan total biaya yang dihasilkan model *software* lebih rendah dibandingkan dengan total biaya eksisting.. Selisih antara hasil model *software* dan kondisi eksisting adalah Rp642.825.

#### 4.5.3 Uji Sensitivitas

Pada subbab ini akan dilakukan uji sensitivitas. Hal yang akan diuji adalah dari segi *demand*. Total *demand* eksisting adalah 5.825 kg. Peneliti ingin tahu apa dampaknya jika *demand* berubah-ubah.

Tabel 4.21 Hasil terbaik pada uji sensitivitas

<i>Demand</i> (kg)	Jumlah Kendaraan	Total Jarak (km)	Biaya Bahan Bakar	Biaya Penalti	Total Biaya
9.900	6	331	Rp 190.325	Rp 152.550	Rp 342.875
8.900	5	345	Rp 198.375	Rp 100.000	Rp 298.375
7.900	5	373	Rp 214.475	Rp 50.000	Rp 264.475
6.900	4	339	Rp 194.925	Rp 82.000	Rp 276.925
5.825	3	329	Rp 189.175	Rp 88.000	Rp 277.175
4.900	3	324	Rp 186.300	Rp 65.000	Rp 251.300
3.900	3	269	Rp 154.675	Rp 39.000	Rp 193.675
2.900	2	370	Rp 212.750	Rp 71.000	Rp 283.750
1.900	1	261	Rp 150.075	Rp 1.999.700	Rp 20.147.075

Uji sensitivitas untuk mengetahui pengaruh *demand* yang berbeda-beda terhadap jumlah kendaraan dan total biaya. *Demand* yang digunakan adalah antara 1.900-9.900. Hasil yang tercantum adalah hasil yang terbaik selama percobaan.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 5

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang analisis dan pembahasan tentang hasil pengolahan data. Hal yang akan dianalisis adalah analisis hasil validasi data, analisis hasil uji perubahan parameter algoritma dan analisis hasil data uji

#### 5.1 Analisis Hasil Validasi Data

Tujuan validasi adalah untuk memastikan bahwa program tersebut menghasilkan *output* yang tepat. Salah satu cara validasi adalah ketika program dihadapkan pada suatu masalah, hasil perhitungan bernilai sama dengan perhitungan manual dan memenuhi semua batasan permasalahan yang diberikan. Dari hasil uji validasi yang dilakukan, dapat diketahui bahwa hasil dari perhitungan manual dengan data sederhana dan dengan menggunakan algoritma ACS menghasilkan solusi yang sama. Dalam pengujian model matematis pun tidak terjadi pelanggaran batasan-batasan VRPTW. Solusi yang dihasilkan baik secara manual maupun dengan algoritma ACS adalah Rp 121.900 dengan total jarak 212 km dengan subrute depot-1-2-depot dan subrute depot-3-4-depot. Dari uji validasi tersebut dapat disimpulkan bahwa model *software* yang dibuat sudah valid dan dapat digunakan untuk melakukan pengujian set data dari obyek amatan.

#### 5.2 Analisis Hasil Uji Perubahan Parameter Algoritma.

Parameter yang digunakan dalam algoritma ACS adalah  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $q_0$  dan  $\rho$ .  $\alpha$  adalah parameter pengendali intensitas jarak semut (feromon) yang dipertimbangkan oleh semut dalam menentukan node selanjutnya. Semakin besar  $\alpha$  maka bobot tingkat feromon akan lebih diutamakan. Parameter  $\beta$ , adalah parameter pengendali visibilitas,  $\beta$  adalah parameter kedua yang dipertimbangkan semut dalam memilih kota selanjutnya. Semakin besar  $\beta$  maka tingkat faktor kepentingan jarak lebih diutamakan. Dari hasil perubahan parameter, diperoleh kombinasi terbaik yaitu ketika nilai  $\alpha = 1$  dan  $\beta = 3$ . Hal ini berarti pada saat pemilihan kota selanjutnya maka faktor jarak (visibility jarak) lebih diutamakan, jadi titik dengan jarak terpendek akan memiliki peluang besar untuk dipilih.



Parameter  $\rho$  menunjukkan tingkat penguapan (evaporasi) *pheromone*. Semakin besar nilai  $\rho$  maka *pheromone* yang tersisa pada lintasan akan semakin kecil. Hal ini mengakibatkan peluang titik yang memiliki tingkat *pheromone* sedikit akan kecil untuk dipilih. Hal ini akan membuat rute terpendek pada iterasi tersebut akan lebih sering dipilih.

Parameter  $q_0$  adalah parameter pembandingan antara pemilihan aturan eksploitasi atau eksplorasi dalam memilih titik selanjutnya. Eksploitasi memungkinkan semut untuk memilih rute dengan nilai *pheromone* yang lebih besar, sedangkan eksplorasi memungkinkan semut untuk memilih mengunjungi titik-titik baru. Jika nilai bilangan random  $q \leq q_0$  maka aturan yang diambil adalah eksploitasi, sedangkan jika  $q \geq q_0$  maka aturan yang diambil adalah eksplorasi. Semakin tinggi nilai  $q_0$ , maka kemungkinan pemilihan titik secara eksploitasi semakin besar dan akan memilih titik yang nilai *pheromonenya* besar. Besar nilai *pheromone* akan berbanding lurus dengan jarak terpendek.

### 5.3 Analisa Hasil Data Uji

Sebelumnya telah ditentukan kombinasi parameter yang menghasilkan performansi baik yaitu  $\alpha = 1$ ,  $\beta = 3$ ,  $q_0 = 0.9$  dan  $\rho = 0.5$ . Parameter tersebut dijadikan input ke dalam model *software* disertai dengan input data lainnya yaitu *time windows* masing masing konsumen dan depot, *demand* masing-masing konsumen, kapasitas kendaraan yaitu 2000 kg, biaya penalty yaitu Rp 60.000 per jam atau Rp 1.000,00 per menit, biaya bahan bakar sebesar Rp 575 per km, jarak antar konsumen dan antara depot-konsumen, kecepatan kendaraan yaitu 40 km/jam, jumlah semut, waktu loading unloading yaitu 10 menit, dan jumlah iterasi 10. Jumlah depot adalah 1 dan jumlah konsumen adalah 40. Output yang dihasilkan adalah total biaya (biaya transportasi dan biaya penalty).

Dari hasil model *software*, total biaya minimum untuk distribusi barang adalah Rp 277.175 dengan rincian biaya bahan bakar Rp 189.175 dan biaya penalty Rp 88.000. Total biaya hasil model *software* sangat berbeda jauh dengan total biaya eksisting, total biaya eksisting adalah Rp 920.000,00 dengan rincian biaya bahan bakar Rp 250.000,00 dan biaya pinalti Rp 670.000,00. Selisih total biaya eksisting dan model *software* adalah Rp 642.825. Hal ini berarti rute dan

total biaya yang dihasilkan pada model *software* lebih baik daripada kondisi eksisting, dan apabila diterapkan akan menurunkan biaya distribusi sebesar 69.8%. Penyebab biaya distribusi eksisting tinggi adalah pihak depot memilih rute sesuai kehendak mereka dan lebih sering mempertimbangkan kapasitas kendaraan tanpa sangat memperhatikan di batasan waktunya, sehingga biaya pinaltinya sangat besar.

Terdapat tiga subrute yang dihasilkan oleh model *software* dengan total jarak tempuh 329 km, subrute yang dihasilkan merepresentasikan jumlah kendaraan yang digunakan. Hal ini dikarenakan pada model *software*, kendaraan yang kembali ke depot akan disetting lagi ke waktu awal buka depot dan kemudian melakukan pencarian rute baru yang belum dikunjungi. Jika terdapat tiga subrute, maka jumlah kendaraan yang dibutuhkan berjumlah tiga. Jumlah kendaraan pada hasil model *software* sama dengan jumlah kendaraan eksisting, berarti pihak depot tidak perlu menambah kendaraan lagi. Subrute yang diperoleh dari model *software* adalah:

- 1 – 25 – 21 – 22 – 35 – 37 – 24 - 9 - 3 – 30 – 28 – 2 – 15 – 10 – 14 – 39  
– 5 – 1
- 1 – 4 – 40 – 18 - 17 – 34 - 32 - 29 – 19 – 8 – 38 – 26 – 1
- 1 – 20 – 27 – 41 – 6 – 23 – 33 - 12 – 7 – 13 – 31 – 16 - 11 -36-1

Sebenarnya total biaya dapat diminimumkan lagi, tetapi kendaraan yang dibutuhkan menjadi bertambah yaitu menjadi 4 buah. Apabila dengan kondisi eksisting seperti sekarang, penambahan kendaraan menjadi pilihan yang kurang tepat, karena akan terjadi penambahan biaya pembelian kendaraan yang sangat besar, padahal dengan tiga kendaraan sudah cukup dan selisih biaya distribusi antara 4 kendaraan dan 3 kendaraan tidak terlalu besar. Jika permintaan konsumen meningkat atau terdapat penambahan konsumen, maka keputusan penambahan kendaraan perlu dipertimbangkan.

Pada penelitian kali ini tidak hanya mengandalkan jarak yang terpendek, karena jarak terpendek belum tentu menghasilkan biaya terendah. Ada faktor lain yang mempengaruhi, yaitu faktor waktu. Waktu menjadi hal yang perlu diperhatikan, karena dampak terhadap biaya sangat besar. Bisa jadi jaraknya lebih

besar tapi biaya distribusinya lebih minim karena tidak ada keterlambatan sehingga tidak dapat penalty.

#### **5.4 Analisis Sensitivitas Demand**

*Demand* pada kondisi eksisting adalah 5.875 kg dan jumlah kendaraan yang digunakan adalah 3 dan membutuhkan biaya distribusi sebesar Rp 277.175. Kemudian dilakukan analisis sensitivitas pada *demand* untuk mengetahui seberapa besar pengaruh *demand* terhadap biaya distribusi dan jumlah kendaraan yang dibutuhkan. *Demand* akan sangat berpengaruh terhadap biaya distribusi jika jumlah *demand*-nya ada di 1.900 kg. Total biaya distribusi pada *demand* 1.900 kg sangat besar yaitu Rp 20.147.075. Biaya ini sangat tinggi karena biaya penalty yang dikeluarkan tinggi dan jumlah kendaraan yang digunakan hanya satu. Karena jumlah kendaraan hanya satu, maka frekuensi keterlambatan kendaraan datang ke konsumen akan sering.

Untuk *demand* antara 2.900-9.900 kg, perubahan total biaya distribusinya sangat kecil, sehingga *demand* dengan rentang tersebut tidak terlalu berpengaruh terhadap biaya distribusi yang dikeluarkan. Hal yang paling dipengaruhi terhadap perubahan *demand* adalah jumlah kendaraan yang digunakan. Pada *demand* 2.900 kg, jumlah kendaraan yang dibutuhkan adalah 2. Pada rentang *demand* 3.900kg - 5.825kg, jumlah kendaraan yang dibutuhkan adalah 3. Pada *demand* 6.900kg, jumlah kendaraan yang dibutuhkan adalah 4. Pada rentang *demand* 7.900-8.900 kg membutuhkan kendaraan sebanyak 5. Dan untuk *demand* 9.900 kg, jumlah kendaraan yang dibutuhkan adalah 6. Jumlah *demand* ini akan berbanding lurus dengan jumlah kendaraan. Kapasitas kendaraan adalah 2.000 kg, jika *demand*nya mengalami peningkatan kurang lebih kelipatan 2.000 kg, maka jumlah kendaraan juga akan meningkat.

## **BAB 6**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi tentang kesimpulan hasil penelitian dan saran yang berkaitan dengan penelitian selanjutnya.

#### **6.1 Kesimpulan**

Hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tujuan pada penelitian ini adalah mencari rute yang tepat sehingga bisa meminimumkan biaya distribusi. Biaya distribusi dipengaruhi oleh biaya bahan bakar dan biaya penalty. Semakin pendek rute dan semakin kecil biaya penalty yang didapat maka akan semakin rendah biaya distribusinya. Pada penelitian ini, hasil rute yang memiliki biaya yang minimal adalah di bawah ini.

1 – 25 – 21 – 22 – 35 – 37 – 24 – 9 - 3 – 30 – 28 – 2 – 15 – 10 – 14 – 39 –  
5 – 1

1 – 4 – 40 – 18 - 17 – 34 - 32 - 29 – 19 – 8 – 38 – 26 – 1

1 – 20 – 27 – 41 – 6 – 23 – 33 - 12 – 7 – 13 – 31 – 16 – 11 - 36 -1

2. Biaya distribusi dipengaruhi oleh biaya penalty dan biaya bahan bakar. Pada penelitian ini, total biaya distribusi yang dihasilkan adalah Rp 277.175 dengan rincian biaya bahan bakar sebesar Rp 189.175 dan biaya penalty sebesar Rp88.000. Sedangkan pada kondisi eksisting, biaya distribusi yang dikeluarkan adalah Rp 920.000 dengan rincian biaya bahan bakar Rp 250.000 dan biaya penalty sebesar Rp 670000. Berdasarkan biaya dari model dan biaya eksisting, maka output biaya dari model menurunkan biaya distribusi eksisting sebesar 69,8%.
3. Subrute yang dihasilkan, mewakili jumlah kendaraan yang digunakan untuk distribusi barang. Biaya minimal dari penelitian ini mendapatkan tiga subrute dengan jarak tempuh kendaraan sebesar 329 km, hal ini berarti kendaraan yang dibutuhkan dalam pendistribusian barang adalah tiga kendaraan.

## 6.2 Saran

Saran pada penelitian ini adalah :

1. UKM dapat menggunakan hasil rute berdasarkan algoritma *Ant Colony Optimization* agar biaya distribusi menurun.
2. Pada penelitian selanjutnya, bisa dilakukan dengan menghybrid ACS dengan algoritma lain atau strategi lain yang mampu meningkatkan kualitas hasil solusi. Kombinasi (*hybrid*) dengan algoritma lain disarankan agar dapat menghasilkan solusi awal yang lebih baik dan juga untuk membangkitkan rute lebih random, sehingga ruang pencarian solusi lebih terdiversifikasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Panjaitan, D. V, 2013. *Posisi Indonesia dalam ASEAN Economic Community*.  
[Online] Available at [Agrimedia.mb.ipb.ac.id](http://Agrimedia.mb.ipb.ac.id) [Accessed 10 Mei 2014]
- Republik Indonesia, 2008. *Undang-Undang Republik Indonesai No. 20 Tahun 2008 tentang Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah*. Lembaran Negara RI tahun 2004. Jakarta : Sekretariat Negara.
- Badan Pusat Statistik, 2014. *Jumlah Industri Pengolahan Besar dan Sedang, Jawa dan Luar Jawa, 2001-2013*. Jakarta : Badan Pusat Statistik
- Badan Pusat Statistik, 2014. *Jumlah Perusahaan Industri Mikro dan Kecil Menurut Provinsi, 2013-2014*. Jakarta : Badan Pusat Statistik
- BPS Provinsi Jawa Timur, 2014. *Produk Domestik Regional Bruto Atas Dasar Harga Konstan 2000 2009-2013*. Surabaya : Badan Pusat Statistik Jawa Timur
- Maskur, Fatkhul. 2013. *Kamus Ketanagakerjaan : Apa itu Tingkat pengangguran Terbuka*. [Online]. Available at: <http://finansial.bisnis.com> [Accessed 22 April 2015].
- Bank Indonesia. 2013. *Bank Indonesia*. [Online] Available at: <http://www.bi.go.id> [Accessed 22 April 2015].
- Santosa, B., & Willy, P. (2011). *Metoda Metaheuristik Konsep dan implementasi*. Surabaya: Guna Widya.
- Tan, X., Luo, X., Chen, W., & ZHANG, J. (2005). "Ant Colony System for Optimizing Vehicle Routing Problem with *Time windows*, *Proceedings of the 2005 International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation*, SUN Yat-sen University, China, hal 209-214
- Agustina,P. (2008). IMPLEMENTATION OF ALGORITHM ANT COLONY SYSTEM (ACS) FOR OPEN VEHICLE ROUTING PROBLEM (OVRP) TO DETERMINE DISTRIBUTION ROUTE OF NEWSPAPER (CASE STUDY : HARIAN SURYA ), Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Bell, J.E., McMullen, P.R.. (2004). *Ant Colony Optimization Techniques for The Vehicle Routing Problem*. Advanced Engineering Informatics, 1. PP 41-48
- Toth, P. dan Vigo, D.(2002). *The Vehicle Routing Problem*. SIAM. Philadelpia.

- Braysy, O., and Gendreau, M.(2001).*Genetic Algorithms for the Vehicle Routing Problem with Time windows*, Arpakannus, 1. pp.33-38.
- Kallehauge B, Larsen J, Madsen OBG, Solomon MM. (2002). *Vehicle routing with time windows*. Di dalam Desaulniers G *et al.*, editor. *Column Generation*. New York: Springer. hlm 67–98.
- Liu, Qi and Chen. (2006). *Optimization of Vehicle Routing Problem Based on Ant colony System*.D.S. Huang, K.Li, and G.W. Irwin (Eds.): Computational Intelligence.
- Zhang, X., Tang, L. (2009). *A new hybrid ant colony optimization algorithm for the vehicle routing problem*. Pattern Recognition Letters 30. PP 848-855

## LAMPIRAN

### LAMPIRAN 1 : Kode MATLAB

**Function** [bestroute,biaya\_minimal,Biaya,totalpinalti,TotalJarak,time]=  
ACS(n\_ants,iter,qo,solar,Capacity)

```
filename='jarak.xlsx';
distance=xlsread(filename);
filename='demand.xlsx';
d=xlsread(filename);
filename='si.xlsx';
si=xlsread(filename);
filename='li.xlsx';
li=xlsread(filename);
filename='ei.xlsx';
ei=xlsread(filename);
time=cputime;

distance=round(distance);

m = n_ants; %jumlah semut
n = length(distance); %jumlah kota
e = 0.5; %evaporation coefficient
alpha=1; %pangkat untuk ants' sight
beta=3; %pangkat untuk trace's effect

%menghitung visibility
for i=1:n
    for j=1:n
        if distance(i,j)==0
            h(i,j)=0;
        else
            h(i,j) = 1/distance(i,j); %inverse distance
        end
    end
end

V=40*ones(n); %kecepatan kendaraan
si=si; %waktu loading unloading
```



```

% menghitung waktu tempuh (dalam menit)
for i=1:n
    for j=1:n
        if distance(i,j)==0
            T(i,j)=0;
        else
            T(i,j)=ceil((distance(i,j)/V(i,j)).*60);
        end
    end
end
t=0.01*ones(n); %pheromone awal
app=[]; %rute awal

for l=1:iter
    for i=1:m
        app(i,1)=1; %semua semut mulai dari kota 1
    end
    for i=1:m %untuk semua semut
        mh = h; % matriks invers jarak
        urut =2:n;
        for j=2:n %simpul berikutnya
            random=ceil(rand*length(urut));
            c=urut(random);
            urut(random)=[];
            app(i,j)=c;
            t(i,c)=((1-e)*t(i,c))+(e*t(i,c));
            mh(:,c)=0;
        for k=1:n;
            q=rand;
            if q <= q0 %eksploitasi
                s=max(((t(c,:).^alpha).*(mh(c,:).^beta)));
                app(i,j+1)=k; %penempatan semut i di simpul berikutnya
                t(c,k)=((1-e)*t(c,k))+(e*t(c,k)); %local updating
                break
            else
                %eksplorasi
                temp=(t(c,:).^alpha).*(mh(c,:).^beta);
                s=(sum(temp));
                p=(1/s).*temp;
                s=s+p(k);
            end
        end
    end
end

```

```

        r=rand;
        s=0;
        if r<s
            app(i,j+1)=k; %penempatan semut i di simpul berikutnya
            t(c,k)=(((1-e)*t(c,k))+(e*t(c,k))); %local updating
            break
        end
    end
end
end
end
app(i,n+1)=1;
end

```

*%KONSTRAIN TIME WINDOWS DAN KAPASITAS*

```

subroute=[];
at=app; %rute yang sudah ada
[a,b]=size(at);
look = [];
for hh=1:a
    lop=1;
    travel=0;
    carry(hh,lop)=0; %jumla barang yang dibawa
    next=2;
    zz2(hh,lop)=0; %jarak yang ditempuh selama perjalananan dalam 1 subroute
    travel=ei(1,1); %waktu pergi dari node sebelumnya
    penalti(hh,lop)=0; %penalti yang akan didapat

    for cc=1:b-1 %jumlah node
        look(1,:)=at(hh,:);
        if sum(size(look))~=0
            nc=length(look);
            subroute{hh,lop}(1)=1; %subroute di awali dengan node 1
            Q=Capacity; %kapasitas kendaraan
            Ti{hh,lop}(next)=travel + T(look(1,cc),look(1,cc+1)); %waktu datang ke
                node selanjutnya

```

### % KONSTRAIN KAPASITAS

```
if carry(hh,lop)+d(look(1,cc+1))<=Q %d = demand
    carry(hh,lop)= carry(hh,lop)+d(look(1,cc+1));
    subrute{hh,lop}(next)=look(1,cc+1);
    zz2(hh,lop)=zz2(hh,lop)+distance(subrute{hh,lop}(next-
1),subrute{hh,lop}(next));
else
    subrute{hh,lop}(next)=1;
    zz2(hh,lop)=zz2(hh,lop)+distance(subrute{hh,lop}(next-
1),subrute{hh,lop}(next));
    Ti{hh,lop}(next)=travel+T(look(1,cc),look(1,cc+1));
    lop=lop+1;
    subrute{hh,lop}(1)=1;
    travel=0;
    zz2(hh,lop)=0;
    carry(hh,lop)=d(look(1,cc));
    next=2;
    travel=ei(1,1);
    Ti{hh,lop}(next)=travel+ T(look(1,1),look(1,cc+1));
    subrute{hh,lop}(next) = look(1,cc+1);
    zz2(hh,lop)=zz2(hh,lop)+distance(subrute{hh,lop}(next-
1),subrute{hh,lop}(next));
    carry(hh,lop)=d(look(1,cc+1));
end
```

### % KONSTRAIN TIME WINDOWS

```
    if Ti{hh,lop}(next)< ei(look(1,cc+1)) %ei(waktu buka konsumen)
        start=ei(look(1,cc+1));
    else
        start=Ti{hh,lop}(next);
    end

if Ti{hh,lop}(next)>li(look(1,cc+1)) %li adalah waktu tutup konsumen
    start= Ti{hh,lop}(next);
    penalti(hh,lop)= (abs(Ti{hh,lop}(next)-li(look(1,cc+1))))*1000;
end
```

```

    if cc==b-1
        subrute{hh,lop}(next)=1;
        Ti{hh,lop}(next)=travel+T(look(1,cc),look(1,cc+1));
        lop=lop+1;
        travel=0;
        zz2(hh,lop)=0;
    end
    travel=start+si(1,look(1,cc+1));
    next=next+1;
end
end
end

```

```

%menghitung total jarak yang ditempuh

```

```

yy2=transpose(zz2);
TotalJarak=sum(yy2);

```

```

%menghitung total pinalti

```

```

aa=transpose(penalti);
totalpinalti=sum(aa);

```

```

%menghitung biaya

```

```

s=solar;
Biaya= TotalJarak.*s+totalpinalti;
[biaya_minimal,minIndex]=min(Biaya);
bestroute = subrute(minIndex,:);

```

```

%Global updating

```

```

tempT = t;
tNew = zeros(n);
sizeRoute = length(bestroute);
sizeSubRoute = 0;
for num = 1:sizeRoute
    sizeSubRoute = length(bestroute{ num });
    for num2 = 1:sizeSubRoute-1
        x = bestroute{ 1,num}(num2);
        y = bestroute{ 1,num}(num2+1);
        tNew(x,y) = ((1-e)*t(x,y))+(e/biaya_minimal);
    end
end
end

```

```
tempT = (1-e)*tempT;  
tNew(tNew==0)=tempT(1,1);  
t = tNew;  
end  
time=cputime-time;
```

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Kurnia Iswardani, dilahirkan di Probolinggo, 26 April 1993, anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal, mulai dari TK Kartini , SDN Sukoharjo 1, SMP 5 Probolinggo, SMA Negeri 2 Lumajang, hingga S1 Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Di Jurusan Teknik Industri, penulis aktif sebagai pengurus MSI UI yaitu sebagai Staf Departemen Kaderisasi MSI UI TI ITS 2012/2013 dan Kopidiv PSDI MSI UI TI ITS 2013/2014. Selain itu, penulis sangat tertarik dengan hal yang berkaitan dengan bisnis terutama tentang keuangan dan marketing, dan penulis juga merintis bisnis selama kuliah, yaitu bisnis minuman coklat “Mystic Ice”. penulis juga aktif di beberapa komunitas bisnis, diantaranya Inkubator, UMKM Bergerak dan TDA Surabaya. Beberapa lomba karya ilmiah yang pernah diikuti adalah PMW 2013 dan PKMK 2012.

Hobi yang dimiliki penulis adalah traveling, jalan-jalan ke pantai, membaca novel, kreativitas DIY, browsing serta kuliner. Penulis tertarik melakukan penelitian di bidang marketing dan keuangan. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* [kurnia.iswardani@gmail.com](mailto:kurnia.iswardani@gmail.com)