



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERANCANGAN ALGORITMA *ANT COLONY*
OPTIMIZATION (ACO) UNTUK PENYELESAIAN *VEHICLE*
ROUTING PROBLEM (VRP)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**PAULUS BANGUN MARTUA
070627911**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

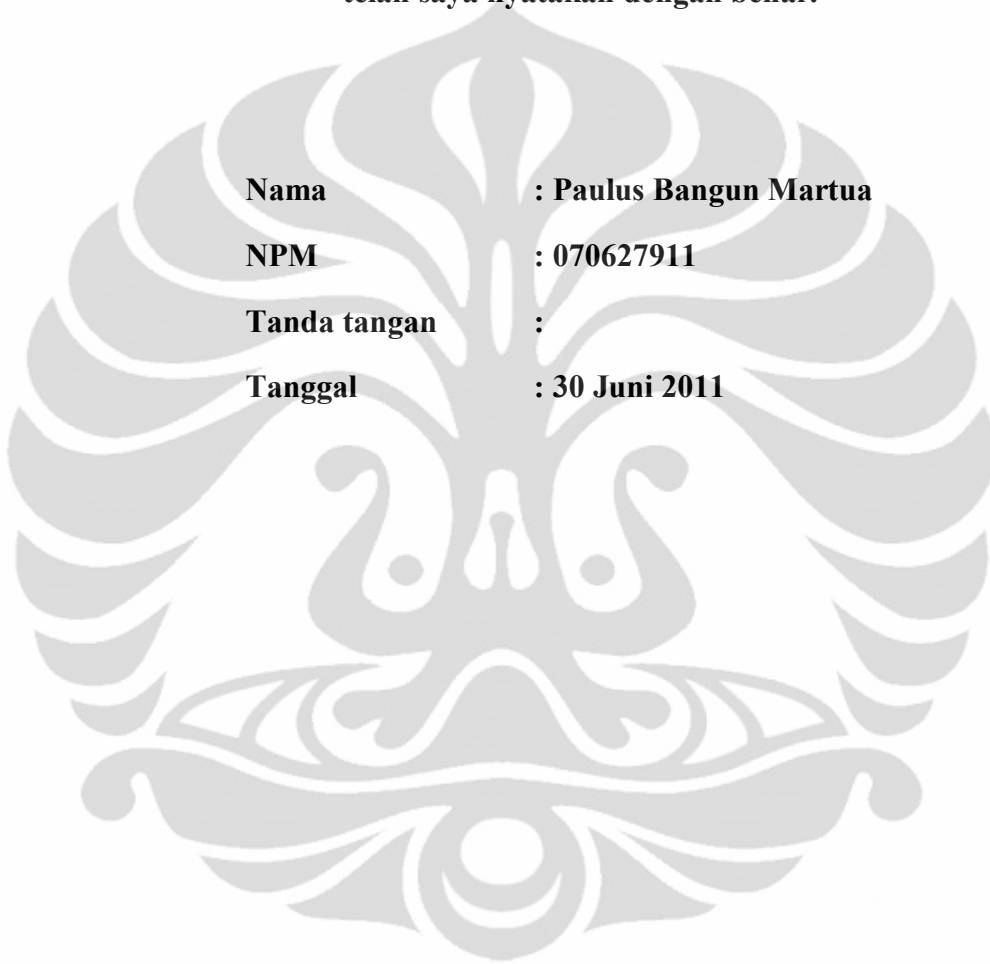
**Skripsi ini adalah hasil karya saya
sendiri, dan semua sumber baik
yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Paulus Bangun Martua

NPM : 070627911

Tanda tangan :

Tanggal : 30 Juni 2011



HALAMAN PENGESAHAN

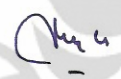
Skripsi ini diajukan oleh :

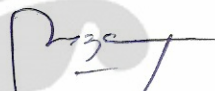
Nama : Paulus Bangun Martua
NPM : 0706274911
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Perancangan Algoritma *Ant Colony Optimization*
(ACO) untuk Penyelesaian *Vehicle Routing Problem* (VRP)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana S1 pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Armand Omar Moeis, ST., M.Sc. ()

Penguji : Akhmad Hidayatno, ST., M.Bt. ()

Penguji : Ir. Amar Rachman, MEIM ()

Penguji : Ir. Yadrifil, M.Sc. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus, karena hanya hikmat dan berkatnya saja yang membuat penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Perancangan Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) untuk Penyelesaian *Vehicle Routing Problem* (VRP)”. Penulisan skripsi ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Industri di Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penyelesaian skripsi ini sangat dibantu oleh orang-orang di sekitar penulis. Untuk semuanya itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Komarudin ST, M.Eng yang untuk semua ilmu optimasi yang sangat berharga bagi penulis selama skripsi ini. Untuk wawasan yang sangat luar biasa yang membuka pemikiran penulis. Untuk semua kesabarannya dalam penyusunan program algoritma ACO dan penyelesaian permasalahan VRP. Untuk semua perhatiannya kepada penulis saat penyusunan skripsi ini. Semoga Pak Komar sukses studinya dan selalu sukses di masa depan Pak.
- (2) Akhmad Hidayatno ST, M.Bt, untuk semua ilmunya selama di Lab SEMS selama pengerjaan skripsi ini. Untuk semua kebaikannya kepada semua Research Assistant selama pengerjaan skripsi ini.
- (3) Armand Omar Moeis ST, M.Sc, untuk semua saran-saran yang membangun bagi penulis untuk penyelesaian skripsi ini.
- (4) Lerman Naibaho, Pasti Aritonang, Kumar Simanjuntak, Rinova Ria Susanti, Eva Rosalina, dan keponakanku sayang Janet Regina Hasian, untuk semua perhatian, dukungan yang sangat luar biasa dan terus menyertai penulis dengan kasih sayang.
- (5) Gina Adryani, untuk semua kebersamaan, perhatian dan kesetiannya untuk selalu saling menghibur dan menemani penulis selama pengerjaan skripsi ini dan selama penulis belajar di Teknik Industri UI juga untuk semua saran dan pertolongannya dalam penyusunan skripsi ini.
- (6) Aziiz Sutrisno, untuk semua bantuan dan saran-saran yang sangat berharga selama pengerjaan skripsi oleh penulis.

- (7) Teman-teman Research Assistant SEMS, Gersianto Bagusputra, Tarida Lucyana, Daril Benaya, Gersen Samuel, Maolana Hakim, Ariel Wardhana, Christian Tulus, Oscar Sukoco, Rangga Widyatama dan Berry Phan, untuk semua kesenangan dan kegembiraan yang selalu menghiasi Lab SEMS setiap harinya.
- (8) Teman-teman TI 2007, untuk semua kebersamaan yang sangat luar biasa dan suka duka selama 4 tahun penulis berada di Teknik. Untuk semua perjuangan dalam kegiatan akademis maupun non-akademis. Untuk semua pengalaman hidup yang sangat berharga bagi penulis ke depannya.
- (9) Kudahitam, untuk persahabatan yang lebih dari sekedar tim futsal biasa selama 4 tahun di Teknik. Untuk semua perjuangan bersama di lapangan futsal di semua kejuaraan yang diikuti, terutama untuk Juara 3 EPC 2011 yang akan selalu menjadi kenangan manis di akhir masa kuliah.
- (10) Tim Futsal TI UI, tempat pelepas penat penulis terhadap perkuliahan. Untuk semua ilmu sportifitas yang sangat berharga bagi kehidupan penulis. Untuk kebersamaan yang sangat luar biasa di dalam dan di luar lapangan. Untuk pencapaian yang luar biasa di akhir waktu penulis bermain futsal di kampus dengan menjadi Juara 3 TC 2011.
- (11) Pak Mursyid, Mas Latif, Mas Iwan, Bu Har, Mba Willy, Mas Dodi, Mba Anna dan semua keluarga Departemen Teknik Industri UI yang telah sangat membantu penulis selama pengerjaan skripsi ini.
- (12) Seluruh teman-teman penulis di Fakultas Teknik, untuk kebersamaan dalam seluruh kegiatan kepanitiaan dan organisasi selama 4 tahun di Teknik.

Sebagai penutup, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu secara langsung dan tidak langsung dalam proses pembuatan skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat untuk pengembangan ilmu selanjutnya.

Depok, Juni 2011

Penulis

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

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Paulus Bangun Martua

NPM : 0706274911

Program Studi : Teknik Industri

Departemen : Teknik Industri

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Perancangan Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) untuk Penyelesaian *Vehicle Routing Problem* (VRP)”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 30 Juni 2011

Yang Menyatakan

(Paulus Bangun Martua)

ABSTRAK

Nama : Paulus Bangun Martua
Program Studi : Teknik Industri
Judul : Perancangan Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) untuk Penyelesaian *Vehicle Routing Problem* (VRP).

Ant Colony Optimization (ACO) adalah salah satu algoritma approximate untuk penyelesaian permasalahan NP-hard dan salah satu metode *state-of-the-art* dalam penyelesaian masalah diskrit. *Vehicle Routing Problem* (VRP), salah satu permasalahan diskrit, dalam penelitian ini akan diselesaikan menggunakan algoritma ACO. Permasalahan VRP yang akan diselesaikan adalah 6 hasil penelitian mahasiswa Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia. Hasil dari penyelesaian VRP menggunakan ACO menunjukkan bahwa fungsi tujuan jarak dari solusi dengan algoritma ACO lebih baik dari pendekatan yang digunakan pada penelitian sebelumnya.

Kata kunci:

Ant Colony Optimization, Vehicle Routing Problem, Optimasi

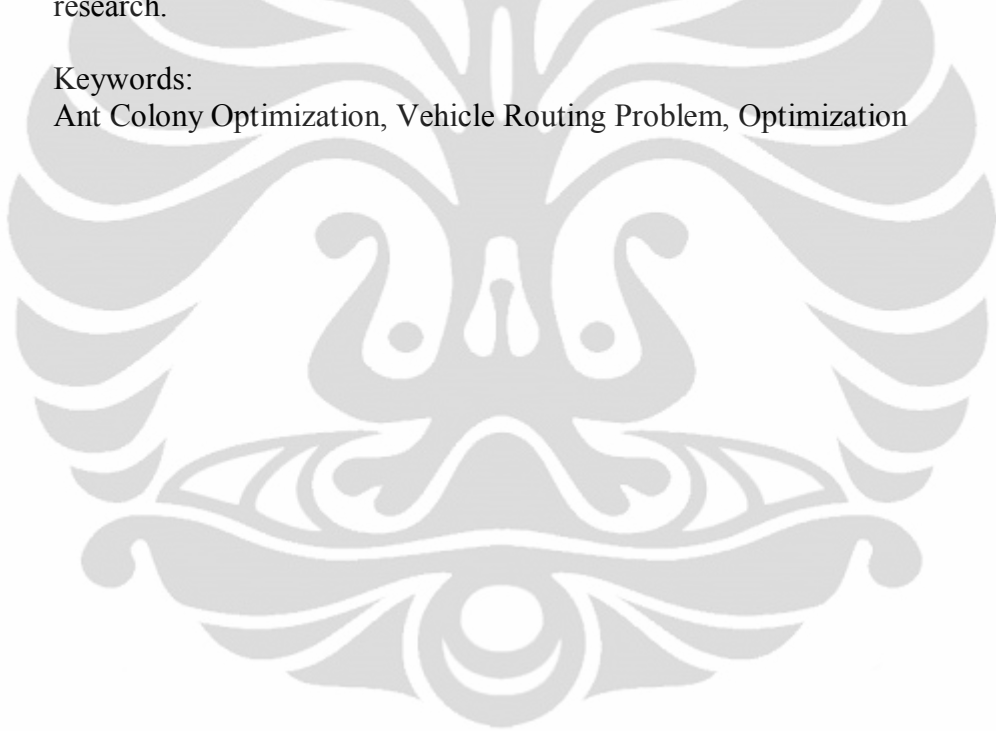
ABSTRACT

Nama : Paulus Bangun Martua
Program Studi : Teknik Industri
Judul : Perancangan Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) untuk Penyelesaian *Vehicle Routing Problem* (VRP).

Ant Colony Optimization (ACO) is one of approximate algorithm for solving NP-hard problem and state-of-the-art method for solving discrete problem. Vehicle Routing Problem (VRP), one of discrete problem, in this research will be solved using ACO algorithm. VRP problem that will be solved are the result of 6 student research that held by Industrial Engineering and Department, University of Indonesia. The result of solving VRP using ACO show that objective function of solution distance with ACO algorithm is better than previous approach in those research.

Keywords:

Ant Colony Optimization, Vehicle Routing Problem, Optimization



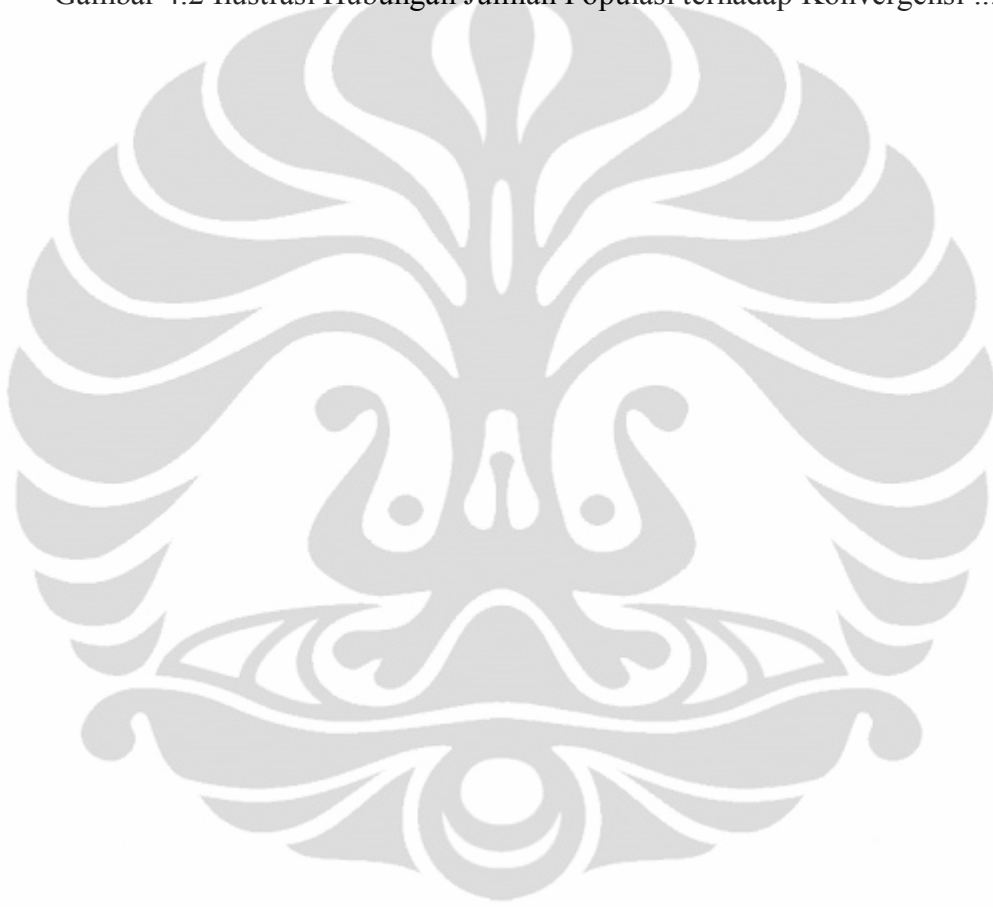
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Permasalahan	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah	4
1.3 Perumusan Permasalahan	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup Permasalahan	4
1.6 Metodologi Penelitian	6
1.7 Sistematika Penulisan	7
BAB 2 DASAR TEORI	9
2.1 Combinatorial Optimization	9
2.2 Ant Colony Optimization	10
2.2.1 Kelas ACO dilihat dari sudut pandang	11
2.2.2 Inspirasi ACO	11
2.2.3 Probabilitas Pemilihan Jalur pada ACO	12
2.2.4 Perbedaan semut sebenarnya dan semut artificial	13
2.2.5 Cara Kerja ACO	14
2.2.6 Algoritma ACO	15
2.2.7 ACO untuk penyelesaian VRP	16
2.3 Vehicle Routing Problem	17
2.3.1 Definisi dan Karakteristik	17
2.3.2 Vehicle Routing Problem with Time Windows	21
BAB 3 PENGUMPULAN DATA	24
3.1 Permasalahan Pertama, VRP pada kasus perusahaan agribisnis	24
3.1.1 Data yang dibutuhkan	25
3.2 Permasalahan Kedua, VRP pada kasus perusahaan otomotif	32
3.2.1 Data yang dibutuhkan	32
3.3 Permasalahan Ketiga, VRP pada Perusahaan Distributor Nitrogen	40
3.3.1 Data yang dibutuhkan	42
3.4 Permasalahan Keempat, VRP pada Kasus Industri Pengemasan	50
3.4.1 Data yang dibutuhkan	50
3.5 Permasalahan Kelima, VRP pada Kasus Distribusi Air	58
3.5.1 Data yang dibutuhkan	58
3.6 Permasalahan Keenam, VRP pada Distribusi Gas Nitrogen Cair	68
3.6.1 Data yang dibutuhkan	68

BAB 4 PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS	76
4.1 Algoritma ACO	76
4.2 Verifikasi dan Validasi Program	78
4.3 Pengolahan Data	79
4.3.1 Konfigurasi Parameter	79
4.4 Solusi Permasalahan VRP Pertama	80
4.4.1 Konfigurasi Parameter	80
4.4.2 Hasil Solusi ACO	81
4.5 Solusi Permasalahan VRP Kedua	84
4.5.1 Konfigurasi Parameter	84
4.5.2 Hasil Solusi ACO	85
4.6 Solusi Permasalahan VRP Ketiga	88
4.6.1 Konfigurasi Parameter	88
4.6.2 Hasil Solusi ACO	89
4.7 Solusi Permasalahan VRP Keempat	92
4.7.1 Konfigurasi Parameter	92
4.7.2 Hasil Solusi ACO	92
4.8 Solusi Permasalahan VRP Kelima	94
4.8.1 Konfigurasi Parameter	94
4.8.2 Hasil Solusi ACO	95
4.9 Solusi Permasalahan VRP Keenam	99
4.9.1 Konfigurasi Parameter	99
4.9.2 Hasil Solusi ACO	99
4.10 Analisis	102
4.10.1 Analisis Metode	102
4.10.2 Analisis Program	105
4.10.3 Analisis Hasil Optimasi	105
BAB 5 KESIMPULAN	107
DAFTAR PUSTAKA	108
LAMPIRAN	109

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah.....	5
Gambar 1.2 Diagram Alir Metode Penelitian	8
Gambar 2.1 Pergerakan awal semut pada dua jalur.....	12
Gambar 2.2 Pergerakan semut kembali ke sarang.....	12
Gambar 2.3 Cara kerja ACO	14
Gambar 2.4 Permasalahan Dasar Kelas-Kelas VRP dan Keterkaitannya	21
Gambar 4.1 Algoritma ACO	77
Gambar 4.2 Ilustrasi Hubungan Jumlah Populasi terhadap Konvergensi	104



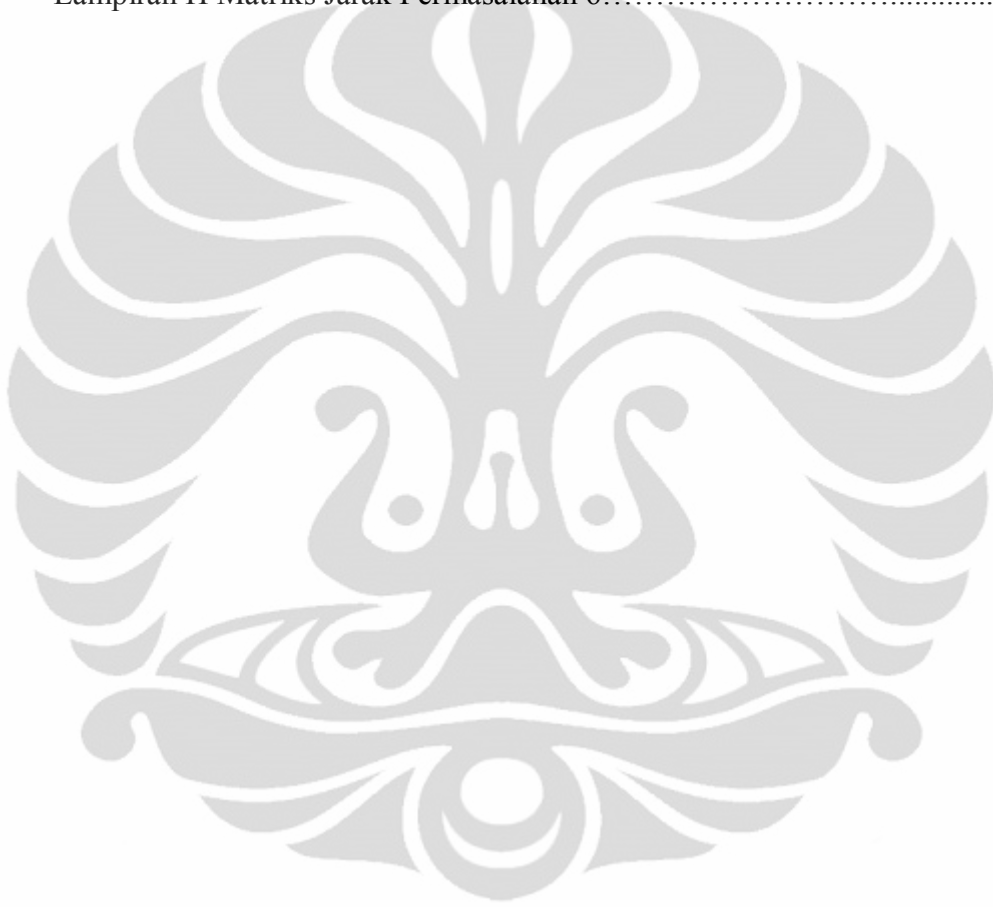
DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Daftar Nama dan Kode Konsumen	26
Tabel 3.2 Kapasitas per Krat Setiap Jenis Sayuran	28
Tabel 3.3 Permintaan PT. Saung Mirna 5 Januari – 11 Januari 2009	29
Tabel 3.4 Rute Perencanaan Perusahaan Permasalahan Pertama.....	30
Tabel 3.5 Solusi <i>Tabu Search</i> Permasalahan Pertama.....	31
Tabel 3.6 Perbandingan Perencanaan Perusahaan dengan Solusi <i>Tabu Search</i> ...	31
Tabel 3.7 Pembagian Jam Kerja Perusahaan Permasalahan Kedua	33
Tabel 3.8 Biaya Sewa Truk Permasalahan Kedua.....	34
Tabel 3.9 Volume per <i>Cycle</i> Pemasok Permasalahan Kedua	36
Tabel 3.10 Rute Perencanaan Perusahaan Permasalahan Kedua	36
Tabel 3.11 Solusi <i>Differential Evolution</i> Permasalahan Kedua	38
Tabel 3.12 Utilitas Perencanaan Perusahaan dan Solusi <i>Differential Evolution</i> ...	39
Tabel 3.13 Rincian Biaya Perencanaan Perusahaan dan Solusi <i>Differential Evolution</i>	40
Tabel 3.14 Perbandingan Perencanaan Perusahaan dengan Solusi DE	40
Tabel 3.15 Daftar Nama Pelanggan <i>Outlet</i> Perusahaan Gas.....	43
Tabel 3.16 Daftar Pelanggan Industri dan Rumah Sakit Perusahaan Gas	44
Tabel 3.17 Spesifikasi Kendaraan Perusahaan Gas	45
Tabel 3.18 Permintaan Pelanggan Outlet.....	46
Tabel 3.19 Permintaan Pelanggan Industri	46
Tabel 3.20 Perencanaan Perusahaan Untuk Pelanggan <i>Outlet</i>	47
Tabel 3.21 Solusi <i>Differential Evolution</i> Untuk Pelanggan <i>Outlet</i>	48
Tabel 3.22 Perencanaan Perusahaan Untuk Pelanggan Industri dan Rumah Sakit	48
Tabel 3.23 Solusi <i>Differential Evolution</i> Untuk Pelanggan Industri dan Rumah Sakit	49
Tabel 3.24 Perbandingan untuk Pelanggan <i>Outlet</i>	49
Tabel 3.25 Perbandingan untuk Pelanggan Industri dan Rumah Sakit	49
Tabel 3.26 Zona Kecepatan Permasalahan Keempat	52
Tabel 3.27 Kecepatan Zona Asal ke Zona Tujuan	52
Tabel 3.28 Spesifikasi Kendaraan PT. SM	53
Tabel 3.29 Volume Kardus PT. SM	54
Tabel 3.30 Permintaan Konsumen PT. SM.....	54
Tabel 3.31 Rute Perencanaan Perusahaan Permasalahan Keempat	56
Tabel 3.32 Solusi <i>Savings</i> Permasalahan Keempat	57
Tabel 3.33 Perbandingan Perencanaan Perusahaan dengan Solusi <i>Savings</i>	58
Tabel 3.34 <i>Time Windows</i> , Lokasi dan Zona Kecepatan Konsumen PSA	60
Tabel 3.35 Zona Kecepatan Permasalahan Kelima	61
Tabel 3.36 Pengiriman Permasalahan Kelima	63
Tabel 3.37 Solusi <i>Tabu Search</i> Permasalahan Kelima	65
Tabel 3.38 Jarak Total Solusi <i>Tabu Search</i> Permasalahan Kelima	67
Tabel 3.39 Perbandingan Perencanaan perusahaan dan Solusi <i>Tabu Search</i>	67
Tabel 3.40 Nama dan Koordinat XY Tujuan	69
Tabel 3.41 <i>Time Windows</i> Permasalahan 6.....	69
Tabel 3.42 Spesifikasi Kendaraan Permasalahan Keenam	70
Tabel 3.43 Konsumen yang Dapat Dilewati Tangker Besar.....	71

Tabel 3.44 Pembagian Zona Kecepatan.....	71
Tabel 3.45 Kecepatan Antar Zona.....	72
Tabel 3.46 Pola Pengiriman Permasalahan Keenam	73
Tabel 3.47 Pengiriman Permasalahan Keenam.....	73
Tabel 3.48 Hasil Solusi Tabu Search Permasalahan Keenam.....	75
Tabel 4.1 Konfigurasi Parameter untuk Verifikasi.....	78
Tabel 4.2 Konfigurasi Parameter ACO.....	80
Tabel 4.3 Konfigurasi Parameter Permasalahan Pertama.....	80
Tabel 4.4 Solusi ACO Permasalahan VRP Pertama.....	81
Tabel 4.5 Data Statistik Solusi ACO Permasalahan Pertama	83
Tabel 4.6 Perbandingan Solusi ACO dengan Solusi TS pada Permasalahan Pertama.....	84
Tabel 4.7 Konfigurasi Parameter Permasalahan Kedua	84
Tabel 4.8 Solusi ACO Permasalahan VRP Kedua	85
Tabel 4.9 Data Statistik Solusi ACO Permasalahan Kedua.....	87
Tabel 4.10 Perbandingan Solusi ACO dengan Solusi DE pada Permasalahan Kedua	88
Tabel 4.11 Konfigurasi Parameter Pelanggan <i>Outlet</i> Permasalahan Ketiga.....	88
Tabel 4.12 Konfigurasi Parameter Pelanggan <i>Outlet</i> Permasalahan Ketiga.....	89
Tabel 4.13 Solusi ACO Permasalahan VRP Ketiga Pelanggan Outlet	89
Tabel 4.14 Solusi ACO Permasalahan VRP Ketiga Pelanggan Industri dan RS ..	90
Tabel 4.15 Data Statistik Solusi ACO Pelanggan Outlet.....	91
Tabel 4.16 Data Statistik Solusi ACO Pelanggan Industri dan Rumah Sakit.....	91
Tabel 4.17 Perbandingan Solusi ACO dengan Solusi DE Pelanggan Outlet.....	91
Tabel 4.18 Perbandingan Solusi ACO dengan Solusi DE Pelanggan Industri dan RS	92
Tabel 4.19 Konfigurasi Parameter Pelanggan <i>Outlet</i> Permasalahan Keempat	92
Tabel 4.20 Solusi ACO untuk Permasalahan Keempat	93
Tabel 4.21 Data Statistik Solusi ACO Permasalahan Keempat	94
Tabel 4.22 Perbandingan Solusi ACO dengan Solusi <i>Savings</i>	94
Tabel 4.23 Konfigurasi Parameter Permasalahan Kelima	95
Tabel 4.24 Solusi ACO pada 7 Pola Pengiriman	96
Tabel 4.25 Data Statistik Solusi ACO Permasalahan Kelima.....	98
Tabel 4.26 Solusi ACO Permasalahan Kelima	98
Tabel 4.27 Perbandingan Solusi ACO dengan Solusi <i>Tabu Search</i>	99
Tabel 4.28 Konfigurasi Parameter Permasalahan Keenam.....	99
Tabel 4.29 Solusi ACO Permasalahan Keenam.....	100
Tabel 4.30 Data Statistik Solusi ACO Permasalahan Keenam	101
Tabel 4.31 Perbandingan Solusi ACO dengan Solusi <i>Tabu Search</i>	101
Tabel 4.32 Peningkatan Solusi Jarak ACO Keseluruhan Permasalahan	106
Tabel 4.33 Peningkatan Solusi Utilitas Kendaraan ACO Keseluruhan Permasalahan.....	106

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Matriks Jarak Permasalahan 1.....	109
Lampiran B Matriks Jarak Permasalahan 2.....	117
Lampiran C Matriks Waktu Permasalahan 2.....	118
Lampiran D Matriks Jarak Permasalahan 3 Outlet.....	119
Lampiran E Matriks Jarak Permasalahan 3 Industri dan RS.....	125
Lampiran F Matriks Jarak Permasalahan 4.....	127
Lampiran G Matriks Jarak Permasalahan 5.....	128
Lampiran H Matriks Jarak Permasalahan 6.....	131



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Permasalahan

Industri yang terus berkembang mendorong penyedia produk atau jasa untuk terus meningkatkan kemampuan layanan dengan menjaga kualitas dan menyediakan produk atau jasa secepat mungkin dan mudah diakses kepada seluruh penggunanya. Dalam industri manufaktur, penyedia produk berusaha untuk menyediakan produk mereka di area-area pelanggan yang menjadi target penjualan. Penyediaan produk di area-area ini akan tercapai jika didukung dengan jaringan distribusi yang luas dari perusahaan penyedia produk tersebut.

Untuk mencapai tujuan perusahaan yaitu memberikan produk dengan kualitas terbaik kepada pelanggan dalam waktu yang tepat, seluruh entitas kegiatan dalam sebuah perusahaan harus terkoordinasi dengan baik. Sistem manajemen *supply chain* dengan seluruh entitas di dalamnya diupayakan seoptimal mungkin untuk mencapai tujuan perusahaan ini. Tujuan manajemen *supply chain* adalah untuk mengintegrasikan waktu produksi, penyimpanan dan pengantaran produk atau jasa kepada pelanggan yang tepat (Ballou, 2004).

Pengantaran produk dengan tepat akan tercapai jika didukung dengan sistem distribusi dan logistik yang optimal. Sistem distribusi dan logistik yang optimal akan memberikan kontribusi biaya yang optimum yang membuat biaya pengadaan suatu produk akan menurun dan harga produk lebih bersaing sehingga daya saing perusahaan penyedia produk di pasar akan terus meningkat. Biaya transportasi pengantaran produk itu sendiri memberikan kontribusi besar terhadap biaya distribusi suatu produk yaitu $\frac{1}{3}$ sampai $\frac{2}{3}$ dari total biaya distribusi (Ballou, 2004).

Permasalahan optimasi dalam dunia industri sangat penting untuk peningkatan keberhasilan bisnis dan perkembangan yang berkelanjutan. Contoh dari masalah optimasi adalah *vehicle routing problem* (VRP), *traveling salesman problem* (TSP), penjadwalan kereta, optimasi bentuk, desain jaringan telekomunikasi dan optimasi susunan komponen suatu protein (Blum, 2005). Permasalahan optimasi seperti VRP, TSP dan susunan komponen suatu protein

termasuk dalam kelas *combinatorial optimization* (CO). CO adalah masalah optimasi yang bertujuan untuk meminimalkan nilai suatu biaya. *Vehicle Routing Problem* (VRP) adalah permasalahan CO yang bertujuan untuk menentukan rute yang paling efisien dalam suatu kegiatan distribusi dengan jumlah kendaraan yang ditentukan. VRP berkonsentrasi pada perpindahan item-item antara depot dan pelanggan dengan menggunakan kendaraan-kendaraan yang telah ditentukan (Rizzoli, 2007). Contoh dari VRP adalah distribusi surat, rute bus sekolah, pengumpulan sampah, distribusi bahan bakar, pengambilan dan pengiriman parcel dan lain-lain (Rizzoli, 2007).

Batasan-batasan dalam penyelesaian VRP antara lain adalah kapasitas kendaraan, waktu pengantaran dan persebaran depot dan pelanggan. Solusi dari penyelesaian masalah VRP adalah kombinasi rute terbaik yang melayani seluruh permintaan pelanggan. Tujuan dari penyelesaian VRP adalah untuk meminimumkan biaya transportasi secara keseluruhan, meminimumkan jumlah kendaraan yang digunakan untuk melayani seluruh pelanggan, menyeimbangkan rute dan meminimumkan penalti (Toth & Vigo, 2002).

VRP adalah permasalahan optimasi kombinasi yang secara umum termasuk dalam masalah *nonpolynomial hard* (NP-hard). Dengan kurangnya kualitas solusi dari metode-metode yang mendapatkan solusi pasti, peneliti-peneliti mulai mengembangkan *metaheuristics*, metode *heuristics* yang dapat diaplikasikan ke berbagai kelas masalah (Rizzoli, 2007). Kelebihan *metaheuristics* dibanding algoritma optimasi tradisional lainnya adalah kemampuan untuk menghasilkan solusi mendekati optimal (*near-optimum*) dalam waktu singkat. Dilihat dari perspektif *Operation Research* (OR), metode-metode penyelesaian diklasifikasikan menjadi dua kelas yaitu *heuristics* dan *metaheuristics* (Blum, 2005). Metode *metaheuristics* antara lain adalah *iterated local search*, *simulated annealing*, *tabu search*, *genetic algorithm* dan *ant colony optimization*. Untuk solusi penyelesaian VRP, metode-metode *metaheuristics* telah diaplikasikan dalam dunia penelitian seperti *simulated annealing*, *tabu search*, *granular tabu search*, *genetic algorithms*, *guided local tabu search*, *variable neighborhood search*, *greedy randomized adaptive search procedure* dan *ant colony optimization*.

Algoritma *ant colony optimization* (ACO) pertama yang diperkenalkan oleh Marco Dorigo dan timnya pada tahun 1990-an terinspirasi dari karakter semut dalam mencari makan yang bergerak dalam periode waktu tertentu untuk memindahkan makanan dari sumber makanan menuju sarang (Blum, 2005). Algoritma ACO bertujuan untuk mendapatkan solusi terbaik yang didasari dari pencarian rute terbaik saat semut memindahkan makanan dari sumber makanan menuju sarang. Optimasi dengan menggunakan algoritma ACO telah digunakan dalam masalah penjadwalan, desain produk dan distribusi jaringan air (Blum, 2005). Algoritma ACO adalah salah satu metode dengan pengembangan tertinggi (*state-of-the-art*) saat ini untuk penyelesaian permasalahan diskrit seperti *sequential ordering problem*, *resource constraint project scheduling problem*, *open shop scheduling problem* dan VRP (Blum, 2005). Algoritma ACO cocok untuk permasalahan masalah NP-hard *combinatorial optimization* seperti VRP (Mullen, 2009). Selain itu fleksibilitas dari optimasi dengan metode ACO menjadi alasan untuk mengaplikasikan metode ini ke banyak permasalahan VRP dengan batasan-batasan yang berbeda-beda (Rizzoli, 2007).

Pada penelitian-penelitian sebelumnya mengenai VRP oleh mahasiswa-mahasiswa Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia antara tahun 2005-2009, didapat 6 hasil penelitian yang digunakan sebagai literatur untuk set masalah penelitian ini. VRP dari penelitian-penelitian tersebut memiliki keterbatasan-keterbatasan masing-masing yang berbeda seperti kapasitas, *time windows*, *delivery and pickup service* dan lain-lain. Beberapa pendekatan yang telah dipakai untuk penyelesaian VRP pada penelitian-penelitian tersebut antara lain *tabu search*, *differential evolution* dan *savings*. Algoritma ACO yang didapat dari penelitian ini digunakan untuk menyelesaikan set masalah VRP pada penelitian-penelitian tersebut. Solusi algoritma ACO dari set masalah VRP itu akan dibandingkan dengan solusi dari pendekatan yang telah digunakan sebelumnya untuk melihat kualitas solusi ACO dibandingkan pendekatan lain.

1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

Diagram keterkaitan masalah (DKM) diberikan untuk menyederhanakan penjelasan alasan penulisan skripsi ini yang telah dijelaskan sebelumnya pada bagian latar belakang permasalahan. Diagram keterkaitan masalah ditampilkan pada Gambar 1.1.

1.3 Perumusan Permasalahan

Permasalahan utama dalam penelitian yang dilakukan oleh penulis ini adalah perlunya perancangan algoritma ACO untuk penyelesaian masalah VRP pada penelitian-penelitian yang telah ada.

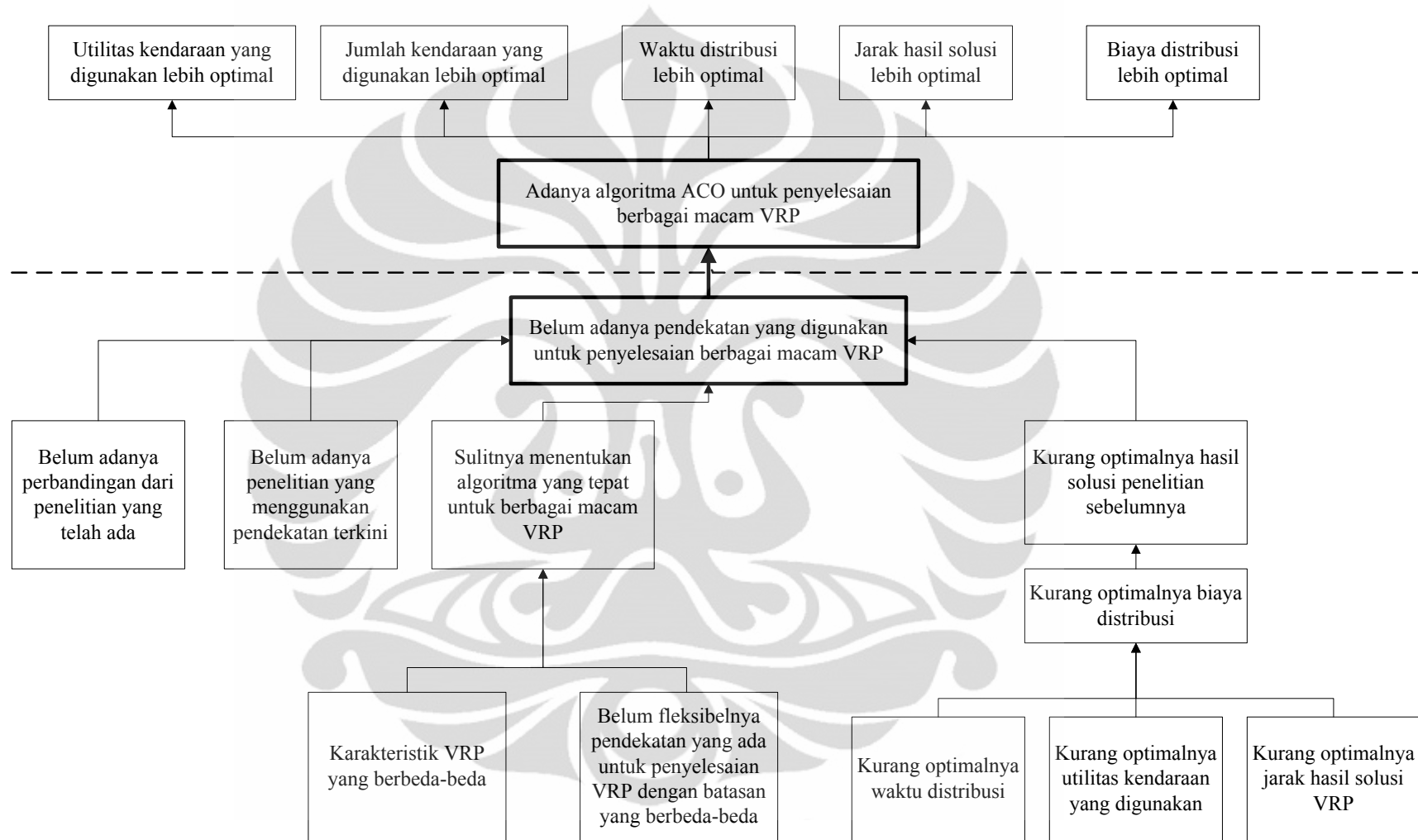
1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan akhir dari penelitian ini adalah menghasilkan algoritma ACO yang digunakan untuk penyelesaian VRP. Hasil solusi algoritma ACO akan dibandingkan dengan hasil solusi dengan pendekatan yang telah dipakai pada penelitian sebelumnya.

1.5 Ruang Lingkup Permasalahan

Ruang lingkup dalam penelitian bertujuan agar masalah yang diteliti lebih dapat terarah dan terfokus sehingga penelitian dapat dilakukan sesuai dengan apa yang direncanakan yaitu sebagai berikut.

1. Data yang digunakan adalah 6 hasil penelitian mahasiswa Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia mengenai penyelesaian VRP.
2. VRP yang akan diselesaikan adalah CVRP-TW (*Capacitated Vehicle Routing Problem*), *Vehicle Routing and Scheduling* dan VRPPD (*Vehicle Routing Problem Pick-up and Delivery*).
3. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB.
4. Algoritma yang digunakan untuk mendapatkan solusi terbaik adalah algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO).



Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah

1.6 Metodologi Penelitian

Langkah-langkah penelitian digambarkan melalui diagram alir metodologi penelitian pada Gambar 1.2 dan dijelaskan sebagai berikut:

1. Pendefinisian topik penelitian dan masalah.

Pada tahap ini topik penelitian ditentukan dan didefinisikan apa yang ingin dicapai oleh penelitian ini secara garis besar. Masalah didefinisikan sesuai topik yang akan dipakai. Dalam penelitian ini, definisi masalah adalah belum adanya pendekatan lain selain pendekatan yang telah dipakai sebelumnya untuk optimasi rute distribusi terbaik.

2. Studi literatur.

Studi literatur didapat dari berbagai sumber seperti buku, jurnal dan informasi-informasi lain. Ruang lingkup studi literatur adalah mengenai pendekatan *Ant Colony Optimization* dan *Vehicle Routing Problem*.

3. Perumusan masalah.

Pada tahap ini, untuk memfokuskan penelitian, masalah dirumuskan yaitu optimasi VRP dengan pendekatan *Ant Colony* untuk mendapatkan rute distribusi terbaik.

4. Pengumpulan data.

Pada tahap ini dilakukan pendefinisian data-data yang dibutuhkan untuk mendapat solusi VRP pada perusahaan agribisnis ini. Pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data primer dan sekunder. Data primer didapatkan dengan pengukuran jarak dari depot ke semua titik kirim dan antar titik kirim, sedangkan data sekunder diperoleh dari wawancara dan pengumpulan dokumen perusahaan.

5. Pengolahan data.

Tahap pengolahan data adalah perancangan solusi rute distribusi terbaik dari data-data yang telah didapatkan sebelumnya dalam proses pengumpulan data. Pencarian solusi rute distribusi terbaik menggunakan algoritma *Ant Colony* dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB..

6. Analisis solusi.

Tahap analisis solusi dilakukan untuk melihat solusi rute distribusi yang didapat dengan menggunakan pendekatan *Ant Colony* dan perbandingan hasilnya dengan menggunakan pendekatan yang telah dipakai sebelumnya.

7. Kesimpulan.

Tahap kesimpulan dilakukan untuk menyatakan hasil tahapan analisis dan penelitian secara keseluruhan.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini mengikuti aturan standar baku penulisan tugas akhir mahasiswa. Tugas akhir ini terbagi menjadi lima bab yang menjelaskan awal penelitian sampai tujuan akhir penelitian.

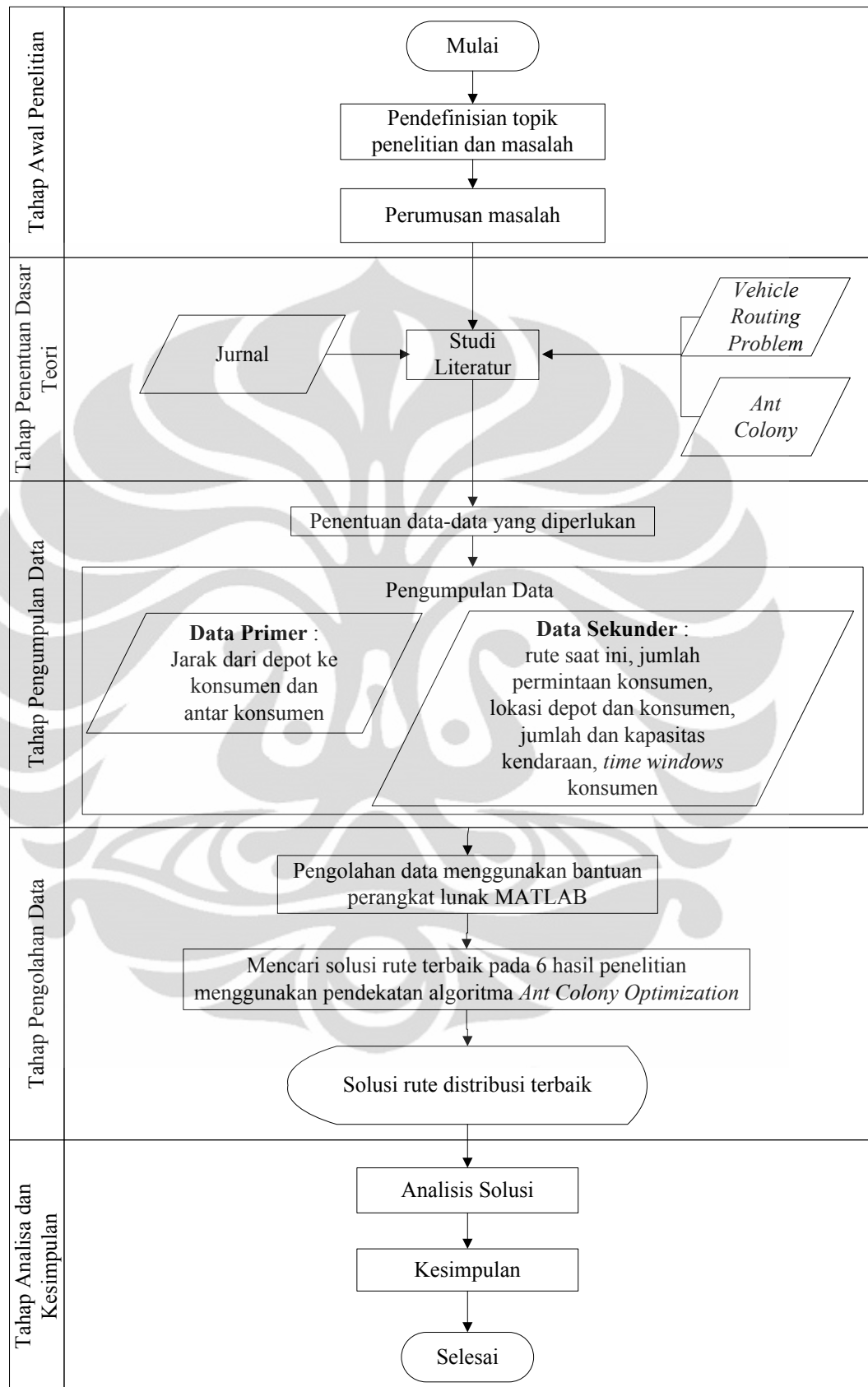
Bab pertama merupakan bab pendahuluan penelitian sebagai pengantar untuk menjelaskan penelitian secara garis besar. Dalam bab ini terdapat penjelasan mengenai latar belakang masalah, keterkaitan antar masalah, perumusan masalah, tujuan dan ruang lingkup penelitian, metodologi penelitian, serta sistematika penulisan.

Bab kedua berisi tentang dasar teori yang digunakan dalam penelitian yaitu mengenai ACO dan VRP.

Bab ketiga menjelaskan data-data yang dibutuhkan yaitu 6 hasil penelitian sebelumnya mengenai penyelesaian VRP, solusi VRP dengan pendekatan yang dipakai sebelumnya dan hasil solusi pendekatan sebelumnya dibandingkan dengan perencanaan perusahaan.

Bab keempat berisi penjelasan dalam pengolahan data untuk mendapatkan algoritma ACO, penyelesaian permasalahan VRP menggunakan algoritma ACO, hasil solusi ACO dibandingkan dengan pendekatan yang dipakai sebelumnya, parameter-parameter yang digunakan dan analisis algoritma ACO terhadap kualitas hasil solusi.

Bab kelima menjelaskan kesimpulan dan saran dari pembahasan yang telah dilakukan dari bab-bab sebelumnya.



Gambar 1.2 Diagram Alir Metode Penelitian

BAB II DASAR TEORI

Dasar teori dalam penelitian ini akan dibahas di bab ini. Dasar teori yang akan dijelaskan mengenai optimasi dan masalah *combinatorial optimization* dalam dunia optimasi, metaheuristik secara umum, *Ant Colony Optimization* (ACO) yang merupakan salah satu metode metaheuristik dan *Vehicle Routing Problem* yang pada penelitian ini akan menjadi perhatian untuk diselesaikan dengan algoritma ACO.

2.1 Combinatorial Optimization

Masalah optimasi sangat penting dalam dunia industri maupun dunia akademis. Contoh dari masalah-masalah optimasi adalah penjadwalan rute kereta yang bertujuan untuk menentukan jadwal kedatangan kereta yang efisien dengan jumlah kereta yang telah ditetapkan, penjadwalan waktu, optimasi bentuk, dan desain jaringan telekomunikasi. Aplikasi optimasi dalam dunia industri sebagai contoh adalah *traveling salesman problem* (TSP). TSP memodelkan situasi mengenai seorang *salesman* yang berkeliling ke beberapa kota dimana setiap kota harus dikunjungi satu kali. Tujuan dari *salesman* adalah mengunjungi semua tujuan tersebut dengan jarak minimum. Aplikasi khusus optimasi dalam dunia akademis adalah memprediksi struktur protein yang merupakan masalah penting dalam ilmu *computational biology*, *molecular biology*, biokimia dan fisika. TSP dan permasalahan struktur protein yang tepat adalah bagian dari salah satu kelas penting dalam masalah-masalah optimasi yaitu *combinatorial optimization* (CO). Masalah CO (P) adalah masalah optimasi dimana diberikan sekumpulan objek S (biasa disebut area pencarian) dan fungsi tujuan $f: S \rightarrow \mathbb{R}^+$ yang memberikan nilai positif ke seluruh objek $s \in S$.

$$\dots\dots\dots (2.1)$$

Tujuan dari masalah CO adalah meminimumkan nilai *cost* dari suatu objek. Objek dapat berupa bilangan integer, permutasi dari sekumpulan item, struktur dari sebuah grafik dan lain-lain. Masalah CO dapat dimodelkan sebagai

masalah optimasi diskrit dimana area pencarian didefinisikan dalam sekumpulan variable X_i ($i = 1, \dots, n$) dengan daerah asal diskrit.

Untuk menyelesaikan permasalahan CO, banyak algoritma yang telah dikembangkan. Algoritma-algoritma ini dapat diklasifikasikan menjadi algoritma *complete* atau *approximate*. Algoritma *complete* menjamin solusi optimal dalam waktu tertentu tetapi tidak dapat menghasilkan solusi yang baik, khususnya untuk penyelesaian dengan masalah CO NP-hard (*no polynomial-hard*). Hal ini terjadi karena untuk mendapatkan solusi optimal pada permasalahan CO NP-hard menggunakan algoritma *complete*, waktu perhitungan yang dibutuhkan sangat tinggi yang menyulitkan pencarian solusi.

Dengan sulitnya pencarian solusi dengan menggunakan algoritma *complete* untuk permasalahan NP-hard dalam waktu singkat, algoritma *approximate* mulai dikembangkan. Walaupun algoritma *approximate* tidak dapat menjamin solusi optimal, algoritma ini terus dikembangkan dengan tujuan mendapatkan solusi baik yang mendekati optimal (*near-optimum*) dalam waktu yang lebih singkat.

2.2 Ant Colony Optimization

Ant Colony Optimization (ACO) adalah satu dari algoritma-algoritma *approximate*. ACO terinspirasi dari koloni semut dalam dunia nyata. Secara khusus, ACO terinspirasi dari karakter semut saat bergerak dan berkomunikasi secara koloni saat mengumpulkan makanan dari sumber makanan menuju sarang. Komunikasi antar semut dalam koloni semut melalui komunikasi tidak langsung yaitu melalui *pheromone*, yang dilepaskan setiap semut ketika bergerak. Karakteristik koloni semut dalam dunia nyata ini dikembangkan menjadi semut *artificial* dalam dunia penelitian untuk mengembangkan algoritma ACO yang bertujuan menyelesaikan permasalahan diskrit. Algoritma *ant* yang pertama adalah *Ant System* yang dikembangkan oleh Marco Dorigo pada tahun 1996. Algoritma ACO berkembang dengan berbagai peningkatan yang dibuat dengan modifikasi algoritma ACO yaitu *max-min ant system*, *ant colony system* (ACS), *rank-based ant system* (RAS), *elitist AS* (EAS) dan *hyper-cube framework* (HCF)

2.2.1 Kelas ACO dilihat dari sudut pandang

Algoritma ACO termasuk dalam kelas yang berbeda tergantung dari sudut pandangnya. Dilihat dari sudut pandang *artificial intelligence* (AI), algoritma ACO adalah salah satu dari algoritma *swarm intelligence* yang sukses. Tujuan dari *swarm intelligence* adalah untuk mendesain *intelligent multi-agent systems* dengan mengambil inspirasi dari karakter serangga berkoloni seperti semut, rayap, lebah, tawon dan hewan yang berkoloni lainnya seperti kumpulan burung. Contoh lain dari algoritma *swarm intelligent* selain ACO adalah *clustering* dan *data mining* yang terinspirasi dari karakter semut dalam membangun sarang.

Dilihat dari sudut pandang *operations research* (OR), algoritma ACO termasuk dalam kelas metaheuristik. Metaheuristik pada awalnya dikenal dengan heuristik modern. Contoh lain dari metaheuristik selain ACO adalah *evolutionary computation*, *iterated local search*, *simulated annealing*, *genetic algorithm* dan *tabu search*.

2.2.2 Inspirasi ACO

Algoritma ACO diperkenalkan pertama kali oleh Marco Dorigo pada tahun 1990-an. Pengembangan algoritma ini diinspirasi dari pengamatan terhadap koloni semut. Semut adalah serangga yang hidup secara berkoloni yang mengutamakan tujuan keberlangsungan koloni daripada keberlangsungan individu semut. Karakter semut yang diamati sebagai inspirasi ACO adalah karakter semut dalam mengumpulkan makanan yaitu bagaimana semut mencari rute terpendek antara sumber makanan dan sarang.

Saat mencari makanan, pada awalnya semut mencari area sekitarnya dalam gerakan acak. Saat berpindah, semut melepaskan *pheromone* pada jalur yang dilaluinya. Semut dapat mencium *pheromone*. Saat memilih jalur, semut memilih jalur berdasarkan probabilitas konsentrasi *pheromone* yang lebih besar. Saat semut sampai ke sumber makanan dan mengumpulkan makanan menuju sarang, *pheromone* dilepaskan kembali di jalur kembali semut tersebut. Konsentrasi *pheromone* yang dilepaskan ditentukan berdasarkan kuantitas dan kualitas makanan yang diambil. Jalur *pheromone* antara sumber makanan dan sarang ini akan mengarahkan semut lain untuk menuju sumber makanan.

Komunikasi secara tidak langsung antara semut lewat jalur *pheromone* ini disebut *stimergy*.

2.2.3 Probabilitas Pemilihan Jalur pada ACO

Sebagai penyelesaian algoritma untuk permasalahan diskrit, semut *artificial* digunakan untuk pengembangan penelitian. Ilustrasi mengenai probabilitas semut *artificial* dalam memilih jalur antara sumber makanan dan sarang dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Pergerakan awal semut pada dua jalur

Pada pergerakan awal semut dari sarang menuju sumber makanan, probabilitas pemilihan kedua jalur sama besar yang diilustrasikan dengan 3 dari 6 semut (50%) melewati jalur 1 (jalur yang lebih panjang) dan jalur 2.



Gambar 2.2 Pergerakan semut kembali ke sarang

Pada Gambar 2.2 dapat dilihat bahwa semut yang melewati jalur yang lebih pendek sampai di sumber makanan lebih dahulu. Semut yang sampai dahulu di sumber makanan kembali ke sarang dan melepaskan *pheromone* (ditandai dengan garis merah putus-putus) di jalur yang lebih pendek. Pada proses berikutnya, setelah semua semut sampai ke sumber makanan, probabilitas pemilihan jalur kembali yang lebih pendek akan lebih besar karena pada jalur itu konsentrasi *pheromone* lebih besar hasil evaporasi *pheromone* oleh semut yang

kembali lebih dahulu. Pada suatu waktu, pemilihan jalur yang pendek oleh semut akan konvergen. Probabilitas pemilihan antara dua jalur semut ini dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$P_{ij} = \frac{\tau_{ij}^\alpha \cdot \eta_{ij}^\beta}{\sum_{k \in N_i} \tau_{ik}^\alpha \cdot \eta_{ik}^\beta} \quad (2.2)$$

dengan nilai $i = 1, 2$.

Apabila $\tau_1 > \tau_2$, probabilitas pemilihan jalur 1 akan lebih besar dan sebaliknya. Saat kembali menuju sarang dan melepaskan *pheromone* nilai *artificial pheromone* akan diperbarui dengan persamaan sebagai berikut.

$$\tau_{ij} \leftarrow \tau_{ij} + \frac{Q}{l} \quad (2.3)$$

Dimana nilai Q adalah parameter konstan dan l adalah panjang jalur. Dengan demikian dapat dikatakan nilai *artificial pheromone* ditentukan oleh panjang jalur yang dipilih. Semakin pendek jalur, semakin besar jumlah *pheromone* yang ditambahkan.

Sedangkan evaporasi *pheromone* saat semut *artificial* bergerak dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} \quad (2.4)$$

Dengan $i = 1, 2$. Parameter $\rho \in (0, 1]$ adalah parameter yang mengatur jumlah evaporasi *pheromone*.

2.2.4 Perbedaan semut sebenarnya dan semut artificial

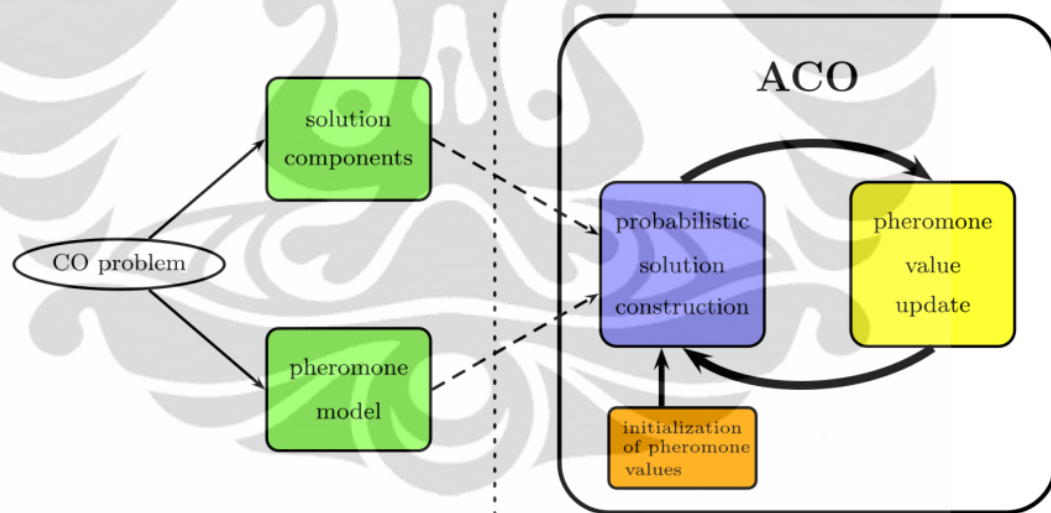
Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pada pengembangan algoritma ACO, semut yang digunakan adalah semut *artificial*, yang berbeda dengan semut sebenarnya. Perbedaan antara semut sebenarnya dan semut *artificial* adalah sebagai berikut.

1. Saat semut sebenarnya bergerak dalam lingkungan mereka dalam cara yang tidak sinkron, semut *artificial* bergerak secara sinkron. Pada setiap pergerakannya, semut *artificial* bergerak sesuai jalur yang ada.

2. Saat semut sebenarnya melepaskan *pheromone* dimanapun semut itu bergerak, semut *artificial* hanya akan melepas *pheromone* pada saat kembali menuju sarang dari sumber makanan.
3. Semut *artificial* mengevaluasi solusi berdasarkan kualitas makanan yang digunakan untuk menentukan evaporasi *pheromone* saat kembali menuju sarang. Semut sebenarnya mengevaluasi solusi secara implisit. Secara implisit yang dimaksud adalah jalur yang lebih pendek akan diselesaikan lebih dahulu dibandingkan jalur yang lebih panjang. Dengan demikian, jalur yang lebih pendek akan bertambah konsentrasi *pheromone*-nya lebih cepat.

2.2.5 Cara Kerja ACO

Cara kerja ACO untuk mendapatkan solusi dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Cara kerja ACO

Dari Gambar 2.3 dapat dilihat bahwa untuk menyelesaikan masalah CO (*Combinatorial Optimization*), pertama kali harus didefinisikan komponen solusi yang akan digunakan untuk menyusun solusi untuk permasalahan CO. Kedua, nilai *pheromone* T pada awal perhitungan harus didefinisikan. Nilai set *pheromone* ini disebut *pheromone model*. Nilai awal *pheromone* untuk pemilihan solusi yang ada pada awalnya sama besar untuk semua kemungkinan solusi.

Pheromone model ini digunakan untuk menentukan probabilitas solusi berdasarkan komponen solusi yang ada.

Pheromone update bertujuan untuk melakukan pencarian solusi dengan kualitas tinggi di dalam area pencarian dengan mengubah konsentrasi *pheromone* yang ada pada jalur apabila mendapatkan kualitas solusi yang baik. Proses *update* komponen solusi ini menjadi komponen penting dalam algoritma ACO karena secara implisit dapat diasumsikan solusi yang baik terdiri dari komponen solusi yang baik.

2.2.6 Algoritma ACO

Dalam mempelajari bagaimana komponen solusi yang baik dapat memberikan solusi yang lebih baik, algoritma ACO dirancang berdasarkan cara kerja ACO yang telah dijelaskan di atas.

Secara umum algoritma ACO terbagi menjadi 3 proses yaitu sebagai berikut.

1. *Ant Based Solution Construction*

Proses ini adalah konstruksi solusi dengan pemilihan probabilitas solusi yang ada seperti yang dijelaskan oleh persamaan berikut.

$$\dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana (*visibility*) adalah bobot fungsi yang dapat dipilih dan dapat diberikan pada setiap step heuristik yang ada ke setiap komponen solusi yang layak. Nilai yang diberikan pada bobot fungsi ini biasa disebut informasi heuristik. Parameter α dan β adalah parameter positif yang menentukan hubungan antara informasi *pheromone* dan informasi heuristik. Selain itu, parameter lain yang mempengaruhi kualitas solusi adalah jumlah semut dalam populasi (m).

2. *Pheromone Update*

Pheromone update terdiri dari dua bagian. Pertama, evaporasi *pheromone*, yang secara seragam mengurangi semua nilai *pheromone* pada saat dilakukan. Evaporasi *pheromone* ini ditentukan oleh tingkat evaporasi ρ . Kedua, satu atau lebih solusi dari iterasi saat ini atau iterasi sebelumnya digunakan untuk

meningkatkan nilai *pheromone* pada jalur dalam komponen solusi yang termasuk dalam solusi ini.

Aturan *pheromone* update ditunjukkan melalui persamaan sebagai berikut.

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho \cdot \Delta_{ij} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana $i = 1, \dots, n$

Pada penelitian ini, nilai *pheromone* update semut *artificial* yang bergerak dari titik i ke titik j diatur oleh persamaan sebagai berikut.

$$\tau_{ij} = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho \cdot \Delta_{ij} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana

τ_{ij} = nilai *pheromone* dari jalur i ke j

Δ_{ij} = *quality function*, yang didapat dari $1/\text{kualitas solusi terbaik}$.

Proses *pheromone update* ini berlangsung terus menerus dan menjadi proses penting yang mempengaruhi kualitas solusi ACO. Karena pemilihan solusi ACO berasal dari *pheromone model*, proses ini menentukan pemilihan solusi terbaik dari komponen solusi.

Pada beberapa pengembangan algoritma ACO seperti ACS, EAS, HCF dan *max-min ant system*, modifikasi terhadap algoritma ACO pada umumnya adalah pada proses *pheromone update* yaitu pada proses evaporasi *pheromone*.

3. *Daemon Actions*

Daemon actions adalah proses yang dapat dipilih dalam pembentukan algoritma ACO yang dilakukan untuk mempercepat konvergensi pemilihan jalur pada ACO. Contoh dari *daemon actions* adalah melakukan pemberian extra *pheromone* pada komponen solusi yang menjadi solusi terbaik saat ini.

2.2.7 ACO untuk penyelesaian VRP

Penelitian ini bertujuan untuk merancang algoritma ACO untuk penyelesaian VRP. Proses yang digunakan pada algoritma ACO pada penelitian

ini adalah *ant based solution construction* dan *pheromone update*. Sedangkan proses *daimon action* tidak dipakai pada penelitian ini.

Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah α dan β adalah yang menentukan hubungan antara informasi *pheromone* dan informasi heuristik. Jumlah populasi semut m , yang menentukan jumlah semut dalam pencarian solusi. Nilai τ yaitu bobot fungsi atau biasa disebut informasi heuristik pada penelitian ini besarnya adalah $1/\text{nilai jarak}$. Nilai jarak adalah salah satu informasi heuristik pada penelitian ini. Penjelasan lebih lanjut mengenai perancangan algoritma ACO dan penyelesaian VRP dijelaskan pada bab 4.

2.3 Vehicle Routing Problem

2.3.1 Definisi dan Karakteristik

Vehicle Routing Problem (VRP), atau dapat juga disebut dengan *Vehicle Sceduling Problem*, berhubungan dengan distribusi produk atau barang jadi antara depot dengan konsumen. VRP pertama kali diperkenalkan oleh Dantzig dan Ramser pada tahun 1959. VRP ini memegang peranan penting pada manajemen distribusi dan telah menjadi salah satu permasalahan dalam optimasi kombinasi yang dipelajari secara luas. Model dan algoritmanya dapat digunakan secara efektif tidak hanya untuk pengiriman dan pengambilan barang, tetapi juga dapat diaplikasikan untuk masalah sistem transportasi sehari-hari, misalnya untuk perencanaan rute bis sekolah, pengumpulan sampah, pembersihan jalan, rute untuk penjual keliling, dan lainnya.

Secara sederhana, VRP merupakan permasalahan yang meliputi konstruksi rute-rute dari sejumlah kendaraan yang dimulai dari suatu depot utama menuju ke lokasi sejumlah konsumen dengan jumlah permintaan tertentu. Tujuannya adalah untuk meminimumkan biaya total tanpa melebihi kapasitas kendaraan. VRP merupakan manajemen distribusi barang yang memperhatikan pelayanan, periode waktu tertentu, sekelompok konsumen dengan sejumlah kendaraan yang berlokasi pada satu atau lebih depot yang dijalankan oleh sekelompok pengendara dengan menggunakan *road network* yang sesuai. VRP dapat didefinisikan sebagai suatu pencarian solusi yang meliputi penentuan sejumlah rute, dimana masing-masing rute dilalui oleh satu kendaraan yang berawal dan berakhir di depot asalnya,

sehingga kebutuhan/permintaan semua pelanggan terpenuhi dengan tetap memenuhi kendala operasional yang ada, juga dengan meminimalisasi biaya transportasi global (Toth & Vigo, 2002).

Menurut Toth dan Vigo, karakteristik utama VRP berdasarkan komponen-komponennya adalah sebagai berikut.

1. Jaringan jalan, biasanya direpresentasikan dalam sebuah *graph* (diagram) yang terdiri dari *arc* (lengkung atau bagian-bagian jalan) dan *vertex* (titik lokasi konsumen dan depot). Tiap lengkung diasosiasikan dengan biaya (jarak) dan waktu perjalanan (tergantung jenis kendaraan, kondisi/karakteristik jalan, dan periode pelintasan).
2. Konsumen, ditandai dengan *vertex* (titik) dan biasanya memiliki hal-hal seperti berikut.
 - Jumlah permintaan barang (untuk dikirim ataupun diambil), jenis barang dapat berbeda-beda.
 - Periode pelayanan tertentu (*time windows*), dimana di luar rentang waktu tersebut konsumen tidak dapat menerima pengiriman maupun pengambilan.
 - Waktu yang dibutuhkan untuk menurunkan atau memuat barang (*loading/unloading time*) pada lokasi konsumen, biasanya tergantung dari jenis kendaraan.
 - Pengelompokan (*subset*) kendaraan yang tersedia untuk melayani konsumen (sehubungan dengan keterbatasan akses atau persyaratan pemuatan dan penurunan barang).
 - Prioritas atau pinalti sehubungan dengan kemampuan kendaraan untuk melayani permintaan.
3. 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.
4. Kendaraan / armada angkut, memiliki
 - Depot asal, dan kemungkinan untuk mengakhiri rutenya di depot lain.
 - Kapasitas (berat, volume atau jumlah palet yang dapat diangkut)

- Kemungkinan untuk dipisah menjadi beberapa kompartemen untuk mengangkut barang dengan jenis yang berbeda-beda.
 - Alat yang tersedia untuk operasi (pemuatan atau penurunan barang).
 - Pengelompokan (*subset*) lintasan/lengkung dari diagram jaringan jalan.
 - Biaya yang berhubungan dengan penggunaan kendaraan tersebut (unit per jarak, unit per waktu, unit per rute, dan lainnya).
5. Pengemudi, memiliki kendala seperti jam kerja harian, jumlah dan jam istirahat, durasi maksimum perjalanan, serta lembur yang biasanya juga dikenakan pada kendaraan yang digunakan.

Dalam membuat konstruksi rute, terdapat beberapa kendala yang harus dipenuhi, seperti jenis barang yang diangkut, kualitas dari pelayanan, juga karakteristik konsumen dan kendaraan. Beberapa kendala operasional yang sering ditemui misalnya sebagai berikut:

- Pada tiap rute, besar muatan yang diangkut oleh kendaraan tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan tersebut.
- Konsumen yang dilayani dalam sebuah rute dapat hanya merupakan pengiriman atau pengambilan, atau mungkin keduanya.
- Konsumen mungkin hanya dapat dilayani dalam rentang waktu tertentu (*time windows*) dan jam kerja dari pengemudi kendaraan yang melayaninya.
- Kendala prioritas juga mungkin akan timbul ketika suatu konsumen harus dilayani sebelum konsumen lain. Kendala seperti ini biasanya terdapat pada kasus *pickup and delivery* (pengambilan dan pengiriman dalam satu rute) atau *VRP with backhauls* dimana pengambilan baru dapat dilakukan setelah semua pengiriman selesai dikarenakan kesulitan dalam mengatur peletakan muatan.

Menurut Toth dan Vigo, terdapat empat tujuan umum dalam VRP, yaitu:

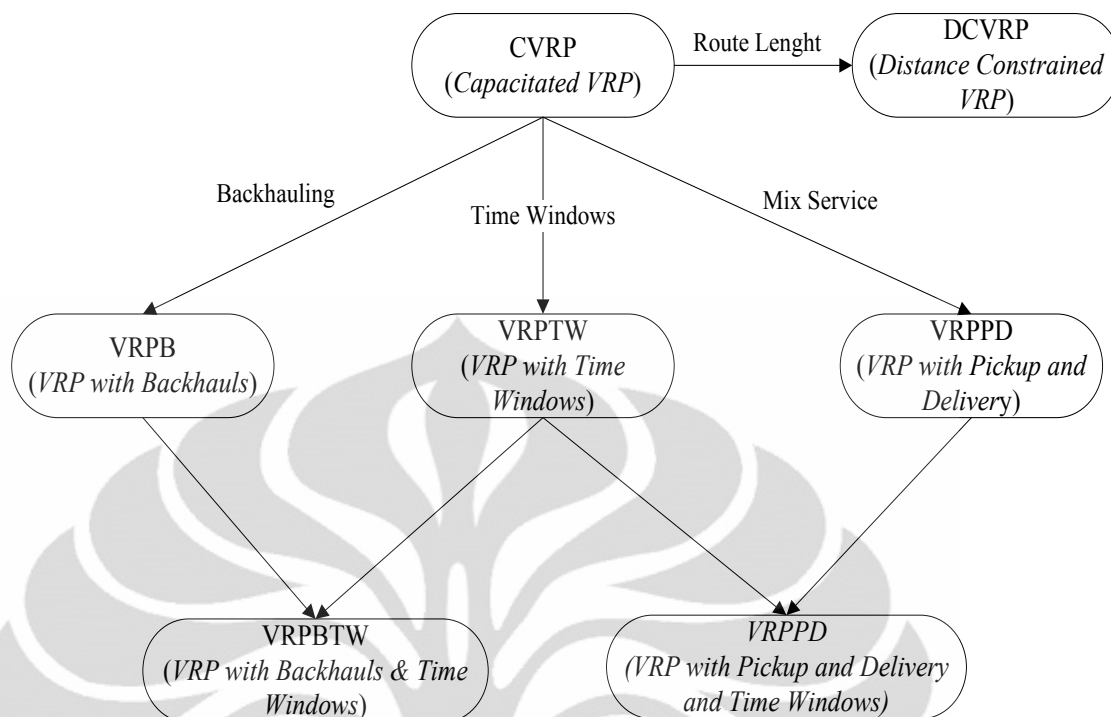
- Meminimumkan biaya transportasi global, terkait dengan jarak dan biaya tetap yang berhubungan dengan kendaraan.
- Meminimumkan jumlah kendaraan yang dibutuhkan untuk melayani semua konsumen.

- Menyeimbangkan rute-rute dalam hal waktu perjalanan dan muatan kendaraan.
- Meminimumkan penalti akibat pelayanan yang kurang memuaskan terhadap konsumen, seperti ketidaksanggupan melayani konsumen secara penuh ataupun keterlambatan pengiriman.

Menurut Toth dan Vigo, ditemukan beberapa kelas atau variasi permasalahan utama dalam VRP, yaitu:

- *Capacitated VRP (CVRP)*, merupakan kelas VRP yang paling sederhana dan yang paling banyak dipelajari dimana kendala yang ada hanya berupa kapasitas kendaraan yang terbatas.
- *Distance Constrained VRP (DCVRP)*, merupakan VRP dengan kendala batasan panjang rute.
- *VRP with time windows (VRPTW)*, yaitu kasus VRP dimana setiap konsumen memiliki batasan rentang waktu pelayanan.
- *VRP with Pick up and Delivery (VRPPD)*, merupakan VRP dengan pelayanan campuran, yaitu pengiriman dan pengambilan barang dalam satu rute.
- *VRP with Backhauls (VRPB)*, dimana pengambilan baru dapat dilakukan setelah semua pengiriman selesai.

Gambar 2.4 menunjukkan hubungan antara kelas-kelas VRP tersebut.



Gambar 2.4 Permasalahan Dasar Kelas-Kelas VRP dan Keterkaitannya
(Sumber: Toth & Vigo, 2002)

2.3.2 Vehicle Routing Problem with Time Windows

Vehicle routing problem with time windows (VRPTW) merupakan perluasan dari VRP yang paling sering ditemukan dalam pengambilan keputusan mengenai distribusi barang. Setiap kendaraan yang bertugas pada VRP jenis ini hanya dapat keluar dari depot pada jam kerja depot dan melayani konsumen pada jangka waktu tertentu yang ditentukan oleh pihak konsumen. Tiap kendaraan juga harus kembali lagi ke depot sebelum jam kerja depot berakhir. (Braysy dan Gendreau, 2002). Pada sejumlah kasus VRPTW, terdapat *time windows* yang bersifat lunak (*soft*). Pada kasus semacam ini, penalti keterlambatan ikut dimasukkan ke dalam fungsi tujuan (Taillard et al, 1998)

Tujuan dari VRPTW adalah menentukan sejumlah rute untuk melayani seluruh konsumen dengan biaya terkecil (dalam hal ini yang dimaksud dengan biaya adalah jarak tempuh) tanpa melanggar batasan kapasitas dan waktu tempuh kendaraan serta batasan waktu yang diberikan oleh pihak pelanggan. Jumlah rute yang ditentukan tidak boleh melebihi jumlah kendaraan yang ada.

Universitas Indonesia

2.3.2.1 Model matematis

Mengacu pada definisi dan karakteristik VRPPD, maka secara matematis diketahui bahwa tujuan dari perhitungan algoritma VRPPD adalah meminimalisir jarak tempuh sebuah rute kendaraan dengan batasan semua permintaan pelanggan terpenuhi, setiap pelanggan hanya dikunjungi oleh satu kendaraan, dan dengan kapasitas yang terbatas.

Misalnya terdapat k kendaraan pada depot 0, dan V adalah variabel pelanggan yang harus dikunjungi dimana $n=|V|$ adalah jumlah pelanggan. Setiap pelanggan mempunyai tingkat permintaan pengantaran (*delivery demand* = d_j) dan tingkat permintaan pengambilan (*pick up demand* = p_j) masing-masing, di mana $j = 1, 2, \dots, n$. $V_0 = V \cup \{0\}$ adalah variabel pelanggan plus depot (pelanggan 0); c_{ij} adalah jarak antara i dan j ; dan kapasitas tiap kendaraan adalah Q . Variabel keputusan adalah $x_{ijk} = 1$, jika rentang (i, j) merupakan rute kendaraan k , jika tidak maka sama dengan 0. y_{ij} adalah permintaan pengambilan (*demand pick up*) pada pelanggan i dan ditransportasikan dalam rentang (i, j) ; sementara z_{ij} adalah permintaan pengantaran (*demand delivery*) pada pelanggan i dan ditransportasikan dalam rentang (i, j) .

Untuk itu, permasalahan VRPPD dapat dituliskan dalam formula matematis sebagai berikut:

$$\min \sum_{k=1}^k \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{ij} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$s.t. \sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^k x_{ijk} = 1, j = 1, 2, \dots, n \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ijk} - \sum_{i=0}^n x_{jik} = 0, j = 0, 1, \dots, n; k = 0, 1, \dots, k \dots\dots\dots (2.10)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0,jk} \leq 1, k = 1, 2, \dots, k \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\sum_{i=0}^n y_{ji} + \sum_{i=0}^n y_{ij} = p_j, \forall j \neq 0 \dots\dots\dots (2.12)$$

$$\sum_{i=0}^n z_{ji} - \sum_{i=0}^n z_{ji} = d_j, \forall j \neq 0 \dots\dots\dots (2.13)$$

$$y_{ij} + z_{ij} \leq Q \sum_{k=1}^k x_{ijk}, i, j = 0, 1, \dots, n \quad \dots \dots \dots (2.14)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n d_{ij} x_{ijk} \leq L_k = 0, 1, 2, \dots, k \quad \dots \dots \dots (2.15)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\}, y_{ij} \geq 0, z_{ij} \geq 0, i, j = 0, 1, \dots, n; k = 0, 1, \dots, k \quad \dots \dots (2.16)$$

Penjelasan terhadap model matematis di atas adalah sebagai berikut: pada (2.8), merupakan fungsi tujuan yaitu untuk meminimalisasi jarak tempuh total. Persamaan (2.9) sampai (2.16) merupakan batasan-batasan yang harus diperhatikan. Batasan (2.9) memastikan bahwa setiap pelanggan hanya akan dikunjungi oleh satu kendaraan, batasan (2.10) menjamin bahwa kendaraan yang sama akan tiba dan berangkat dari pelanggan yang ia layani, sementara batasan (2.11) memastikan semua kendaraan digunakan.

Batasan (2.12) dan (2.13) adalah rumusan untuk menghitung permintaan pengambilan dan pengantaran, batasan (2.14) menjelaskan bahwa permintaan pengambilan dan pengantaran hanya akan dipindahkan menggunakan rentang yang ada pada solusi, sementara batasan (2.15) adalah batas jarak maksimum. Dan, yang terakhir, batasan (2.16) adalah variabel keputusan.

BAB 3

PENGUMPULAN DATA

Bab ini akan menjelaskan data-data yang digunakan dalam penelitian ini. Data-data yang digunakan adalah data penelitian-penelitian mahasiswa Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia mengenai studi kasus penyelesaian VRP antara tahun 2005 sampai 2009. Data penelitian yang dijelaskan adalah data-data yang dibutuhkan untuk penyelesaian VRP, karakteristik VRP setiap penelitian, hasil penelitian, kualitas solusi dari pendekatan yang digunakan dalam penelitian tersebut dan perbandingan kualitas solusi penelitian tersebut dibandingkan dengan perencanaan perusahaan.

3.1 Permasalahan Pertama, VRP pada kasus perusahaan agribisnis

Permasalahan VRP pertama yang akan diselesaikan menggunakan algoritma ACO adalah penelitian Arief Rakhmat Cahyadi pada tahun 2009 dengan judul “Optimasi Rute Distribusi Produk dengan Penerapan *Vehicle Routing Problem* Algoritma *Tabu Search* (Studi Kasus: Distribusi Harian di Suatu Perusahaan Agribisnis)” mengenai penyelesaian VRP dengan menggunakan pendekatan *Tabu Search* pada sebuah perusahaan agribisnis yaitu PT. Saung Mirwan yang terletak di Bogor, Jawa Barat. Produk dari PT. Saung Mirwan adalah sayuran yang berasal dari lahan perkebunan yang ada di perusahaan itu sendiri dan juga dari mitra tani yang menjalin kerjasama dengan pihak perusahaan. Pelanggan PT Saung Mirwan tersebar di wilayah Jabodetabek, Jawa Tengah dan Yogyakarta (Cahyadi, 2009).

VRP pada perusahaan agribisnis ini adalah VRP dengan keterbatasan kapasitas dan time windows atau biasa disebut CVRP-TW (*Capacitated Vehicle Routing Problem – Time Windows*) dalam klasifikasi VRP. Batasan waktu dalam penelitian ini adalah kegiatan distribusi PT. Saung Mirna pada tanggal 5 Januari 2009 – 11 Januari 2009.

3.1.1 Data yang dibutuhkan

Data yang dibutuhkan untuk penelitian ini adalah informasi lokasi antar pelanggan dalam bentuk matriks jarak, *time windows*, *service time*, kapasitas kendaraan, kecepatan kendaraan, biaya, permintaan perusahaan dalam batasan waktu penelitian, rute perencanaan distribusi oleh perusahaan, solusi *tabu search* pada VRP ini dan perbandingan kualitas solusi *tabu search* dengan perencanaan perusahaan.

3.1.1.1 Matriks Jarak

Jumlah tujuan kedatangan pada penelitian VRP ini adalah 72 tujuan dengan jumlah konsumen yang dilayani sebanyak 78 konsumen. Jumlah kedatangan yang lebih sedikit dibandingkan jumlah konsumen disebabkan beberapa konsumen memiliki lokasi yang sama seperti konsumen-konsumen dengan kode MDB, MDBC, MDMK, MDR, dan MDSD yang kemudian dilambangkan dengan kode MDLJ (Mc Donald Luar Jawa). Kelima konsumen tersebut memiliki lokasi titik kirim yang sama, yaitu di bandara Soekarno-Hatta. Selain itu, konsumen dengan kode nama PY, PYB dan PYS juga memiliki titik lokasi kirim yang sama yang selanjutnya dilambangkan dengan kode PY. Setiap konsumen memiliki kode nama yang digunakan untuk memudahkan pengidentifikasian konsumen. Tabel 3.1 memberikan daftar nama konsumen dan kode konsumen keseluruhan.

Data jarak antar konsumen yang digunakan dalam penelitian menggunakan bantuan peta digital yaitu *Google Maps* dengan alat bantu *distance measurement tool*. Jarak antara dua titik tujuan ditentukan dengan pertimbangan jarak terdekat dan kondisi atau karakteristik jalan (tingkat kemacetan). Selanjutnya, jarak tempuh dari titik A ke titik B diasumsikan sama dengan jarak tempuh dari titik B ke titik A (Cahyadi, 2009). Matriks jarak secara lengkap ditampilkan pada Lampiran 1.

Tabel 3.1 Daftar Nama dan Kode Konsumen

No.	Nama Konsumen	Kode	No.	Nama Konsumen	Kode
1	Market City	CMS	40	Mc. Donald Makasar	MDMK
2	Carrefour Ambassador	CRA	41	Mc. Donald Palembang	MDR
3	Carrefour Bumi Serpong D	CRB	42	Mc. Donald Samarinda	MDSB
4	Carrefour Cikokol	CRC	43	Matahari Cibubur	MPB
5	Carrefour Cikokol	CRE	44	Matahari Cilandak	MPC
6	Carrefour Mt Haryono	CRH	45	Matahari Ekalokasari	MPE
7	Carrefour Lebak Bulus	CRL	46	Matahari Serpong	MPG
8	Carrefour Tm Plm	CRN	47	Matahari Metropolis	MPH
9	Carrefour Puri	CRP	48	Matahari Dc	MPI
10	Carrefour Squer	CRQ	49	Matahari Karawaci	MPK
11	Diamond Artha Gading	DMA	50	Matahari Klp Gading	MPL
12	Diamond Fatmawati	DMF	51	Matahari Hpy Pejaten	MPM
13	Domino Pizza Kl Gading	DOG	52	Matahari Daan Mogot	MPN
14	Domino Pizza	DOK	53	Matahari Depok	MPO
15	Domino Pizza PI	DOP	54	Matahari Hpy Glodog	MPQ
16	Farmers market Kpl Gdg	FMG	55	Matahari Hyper Cikarang	MPR
17	Farmers market Serpong	FMS	56	Matahari Fatmwt Karawaci	MPS
18	Grand Lucky	GNL	57	Matahari Hypermart- Puri	MPU
19	PT. Burger King -Cilandak	GRC	58	Matahari Belanova	MPV
20	PT. Burger King -Grand	GRG	59	Matahari Hyper Jacc	MPX
21	PT. Burger King - Senayan	GRK	60	Puspa Cattering	PCS
22	PT. Burger King- Klp Gading	GRL	61	Purantara	PRN
23	PT. Burger King -Thamrin	GRM	62	Papaya Fresh G	PY
24	PT. Burger King -PI	GRP	63	Papaya Bali	PYB
25	PT. Burger King- Semanggi	GRS	64	Papaya Surabaya	PYS
26	Hari2 Bekasi	HHB	65	Sari Pizza City Walk	PZC
27	Hari2 Cyber Park	HHC	66	Sari Pizza Grand	PZG
28	Hari2 Dhi	HHD	67	Sari Pizza -Kemang	PZK
29	Hari2 Fatmawati	HHF	68	Sari Pizza Kemang	PZM
30	Hari2 Kalideres	HHK	69	Sari Pizza -Marzano	PZO
31	Hari2 Lokasari	HHL	70	Sari Pizza Senayan Citty	PZS
32	Hari2 Roximas	HHR	71	Ranch Market Drmawangsa	RCD
33	PT. Jaddi Pastrisindo	JPG	72	Ranch Market Pejaten	RCJ
34	Klenger Burger	KB	73	Ranch Market 99	RCM
35	Koko Sp Market	KS	74	Ranch Market PI	RCP
36	Mos Burger Plaza	MBP	75	PT. San Miguel	SMP
37	Mc. Donald Jakarta	MD	76	PT. Lion Superindo	SPI
38	Mc. Donald Batam	MDB	77	Sari Kuring	SRK
39	Mc. Donald Batam Formosa	MDBC	78	PT. Trias Tanjung R	TTR

(Sumber: Cahyadi, 2009)

3.1.1.2 *Time Windows, Service Time, Kapasitas Kendaraan, Kecepatan Kendaraan dan Biaya*

Depot pada penelitian ini terletak di daerah Bogor, Jawa Barat. Pada awalnya, sayuran hasil produksi perusahaan ini sebelumnya diproses dari lahan perkebunan dan dikemas untuk siap diangkut ke dalam kendaraan. Proses penaikan muatan (*loading*) sayuran dilakukan antara pukul 02.00-04.00. Kendaraan berangkat dari depot untuk mendistribusikan sayuran pada pukul 04.00 setiap hari dalam batasan waktu penelitian.

Time windows atau waktu yang ditetapkan oleh konsumen untuk dapat menerima pengiriman produk yaitu antara pukul 05.00-09.00. *Service time* atau waktu untuk melakukan pelayanan penerimaan kiriman yaitu penurunan muatan (*unloading*) dan penyelesaian administrasi membutuhkan waktu selama 10 menit dimana kegiatan *unloading* dan penyelesaian administrasi masing-masing membutuhkan waktu 5 menit.

Kendaraan yang digunakan adalah mobil box dengan pendingin sebanyak 6 buah kendaraan dengan jumlah kapasitas yang sama setiap kendaraannya yaitu 75 krat. Krat digunakan sebagai satuan muatan kendaraan tersebut karena sayuran yang dikirim menggunakan krat sebagai wadah. Data kecepatan yang digunakan adalah data kecepatan rata-rata setiap kendaraan yang diasumsikan sama di seluruh wilayah yaitu dengan kecepatan rata-rata setiap kendaraan adalah 45 km/jam (Cahyadi, 2009).

Biaya pengiriman yang digunakan pada penelitian tersebut adalah biaya bahan bakar, biaya pemeliharaan, biaya roda atau ban dan biaya pengemudi atau supir yaitu sebagai berikut.

- Biaya bahan bakar, yaitu Rp. 675,-/km
- Biaya pemeliharaan, yaitu 388.88 /km
- Biaya ban, yaitu Rp. 176/km
- Biaya supir dan pendamping = Rp. 75.000,- per pengantaran

3.1.1.3 Permintaan

Jumlah permintaan pelanggan PT. Saung Mirna setiap hari fluktuatif. Satuan yang biasa digunakan untuk jumlah permintaan pelanggan adalah satuan berat (kg). Konversi dari satuan kg ke satuan krat dilakukan supaya seluruh muatan di dalam kendaraan dalam satuan krat. Kapasitas setiap sayur dalam satuan kilogram yang dapat dimuat dalam 1 krat berbeda-beda. Tabel 3.2 menunjukkan kapasitas setiap sayur dalam satuan kilogram untuk setiap krat.

Tabel 3.2 Kapasitas per Krat Setiap Jenis Sayuran

No.	Nama Produk	ID Produk	kg/krat	No.	Nama Produk	ID Produk	kg/krat
1	ANGGUR HIJAU	AGH	15	35	LETUCE HEAD	LTD	5
2	ANGGUR MERAH	AGM	15	36	LETTUCE ROMANCE	LTM	6
3	ASPARAGUS	ASG	10	37	NASUBHI	NAS	10
4	BAWANG BOMBAY	BBY	15	38	ENDIVE	NDV	5
5	BUNCIS MINI	BCM	10	39	OKRA	OKA	8
6	BUNCIS TAIWAN	BCT	15	40	PAKCOY BABY	PCB	5
7	BIT	BIT	10	41	PAKCOY HIJAU	PCH	5
8	BROCOLLY	BRC	6	42	PAKCOY PUTIH	PCP	6
9	BROCOLLY BS	BRCS	6	43	PEAR XIANGLI	PEX	5
10	BASIL URA	BSL	3	44	APEL GRANNY SMI	PLS	5
11	BAWANG PUTIH	BWP	12	45	PAPRIKA HIJAU	PPH	8
12	BAWANG MERAH	BWR	12	46	PAPRIKA KUNING	PPK	8
13	CABE MERAH	CBR	10	47	PAPRIKA ORANGE	PPO	8
14	CAYSIN	CYS	5	48	PAPRIKA MERAH	PPR	8
15	DAUN BAWANG LEE	DBL	7	49	PETERSELY	PRL	5
16	DAUN BAWANG	DBW	7	50	PISANG AMBON	PSA	5
17	DAIKON LARGE	DKN	15	51	RADICHIO	RDC	5
18	EDAMAME	EDA	15	52	SELEDRI STIK	SDT	5
19	EDAMAME FROZEN	EDF	15	53	SALAD GARDEN	SLG	5
20	HORINSO	HRN	5	54	SELEDRI	SLI	7
21	JAGUNG ACAR	JGC	10	55	SELADA MERAH	SLR	7
22	JAMUR CAMPIGNON	JMC	10	56	SELADA KERITING	SLT	5
23	JERUK LEMON	JRL	10	57	SHISITO	SST	7
24	JERUK SUNKIST	JRS	10	58	SAWI PUTIH	SWP	10
25	KOL BULAT PUTIH	KBP	8	59	TOMAT CHERRY	TMC	15
26	KEMBANG KOL	KKL	6	60	TOMAT RIANTO	TMT	15
27	KAILAN BABY	KLB	5	61	TOMAT TW	TMW	15
28	KAILAN	KLN	5	62	TIMUN JEPANG	TNJ	15
29	KOL MERAH	KLR	8	63	TIMUN MINI	TNM	15
30	KOL PUTIH BABY	KPB	7	64	TIMUN SAYUR	TNS	15
31	SNOW PEA	KPI	8	65	TERONG SAYUR	TRS	15
32	SUGAR SNAP	KPW	8	66	WORTEL	WRL	15
33	KOL MERAH BABY	KRB	7	67	ZUKINI BABY	ZKB	15
34	KENTANG BESAR	KTS	5	68	ZUKINI HIJAU	ZKN	15

(Sumber: Cahyadi 2009)

Distribusi ke pelanggan PT Saung Mirna yang berdasarkan permintaan tanggal 5 Januari 2009 – 11 Januari 2009 dapat dilihat di Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Permintaan PT. Saung Mirna 5 Januari – 11 Januari 2009

Senin, 5/1/2009																														
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14																
Konsumen	CRL	DOP	GRC	GRG	GRK	GRL	GRM	GRP	GRS	JPG	MBP	MD	PRN	PZK																
Jumlah Krat	10	5	6	2	12	12	1	12	2	13	7	69	17	5																
Selasa, 6/1/2009																														
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
Konsumen	CRH	CRL	DMA	DMF	DOG	FMG	FMS	GRC	GRG	GRM	GRS	JPG	MD	MDLJ	MPB	MPC	MPE	MPG	MPH	MPK	MPL	MPN	MPR	MPS	PZC	PZK	PZO	PZS	SMP	
Jumlah Krat	18	14	6	8	6	16	4	4	10	4	5	16	30	18	16	9	12	8	12	17	5	16	30	5	6	6	5	8	21	
Rabu, 7/1/2009																														
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
Konsumen	CRB	CRH	CRL	DMA	DMF	FMG	FMS	GNL	GRC	GRG	GRL	GRM	GRS	JPG	MBP	MD	MPE	MPK	MPL	MPO	MPQ	MPR	MPS	PRN	PY	PZK	PZM	RCJ	SPI	
Jumlah Krat	4	5	28	7	7	22	12	7	1	2	3	3	1	31	4	28	3	23	5	7	15	16	7	12	9	4	1	3	65	
Kamis, 8/1/2009																														
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27			
Konsumen	CRA	CRB	CRH	CRL	CRP	DMA	DMF	DOK	FMG	FMS	GRC	GRG	GRL	GRM	GRP	GRS	JPG	MBP	MD	MPC	MPE	MPK	MPL	MPS	PRN	PZK	RCM			
Jumlah Krat	11	7	13	21	11	7	9	1	8	14	5	2	4	4	4	2	19	12	54	11	18	21	10	8	2	2	4			
Jumat, 9/1/2009																														
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Konsumen	CRB	CRH	CRL	CRN	CRQ	DMA	DMF	DOP	FMG	GRC	GRG	GRK	GRM	GRP	GRS	HHB	HHC	HHD	HHF	HHK	HHL	HHR	JPG	KS	MBP	MD	MDLJ	MPC	MPE	MPH
Jumlah Krat	3	15	25	12	2	10	8	8	16	4	12	6	7	12	9	8	7	7	11	9	22	13	33	5	4	16	13	10	12	4
No.	31	32	33	34	35	36	37	38																						
Konsumen	MPI	MPK	MPL	MPN	MPO	MPS	PZM	SRK																						
Jumlah Krat	23	18	6	6	6	4	1	4																						
Sabtu, 10/1/2009																														
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Konsumen	CRA	CRB	CRE	CRH	CRL	DMA	DMF	DOK	FMG	FMS	GNL	GRC	GRG	GRL	GRM	GRP	GRS	JPG	MBP	MD	MPB	MPC	MPE	MPK	MPL	PZC	PZG	RCD	RCJ	SPI
Jumlah Krat	13	11	17	12	36	11	13	8	19	12	8	4	8	5	10	8	5	31	5	8	12	8	6	14	7	8	8	7	3	24
Minggu, 11/1/2009																														
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21									
Konsumen	CRE	CRL	DMA	DMF	FMG	FMS	GNL	GRC	GRL	GRM	GRS	MBP	MD	MPC	MPE	MPK	MPL	MPN	MPS	MPV	SPI									
Jumlah Krat	15	14	11	11	21	10	2	4	12	5	3	6	4	9	16	12	18	14	12	10	53									

(Sumber: Cahyadi 2009)

3.1.1.4 Solusi Tabu Search

Pada penelitian sebelumnya oleh Arief Rakhmat Cahyadi, permasalahan VRP pada PT. Saung Mirna diselesaikan menggunakan pendekatan *Tabu Search*. Pendekatan *tabu search* ternyata memberikan jarak dan utilitas solusi yang lebih baik dibandingkan perencanaan perusahaan. Utilitas adalah persentase muatan perjalanan terhadap kapasitas setiap kendaraan yang digunakan. Tabel 3.4 menjelaskan perencanaan perusahaan selama batasan waktu penelitian.

Tabel 3.4 Rute Perencanaan Perusahaan Permasalahan Pertama

Rute	Senin, 5 Januari 2009										Jarak	Total	Utilitas	Average
1	O	GRS	GRG	GRM	MD	O					153.0000	483.9400	98.67%	76.89%
2	O	GRC	CRL	DOP	GRP	GRK	MBP	PZK	O		134.7400		76.00%	
3	O	JPG	GRL	PRN	O						196.2000		56.00%	
Selasa, 6 Januari 2009														
1	O	MPN	MPH	MPK	FMS	MPG	MPS	O			200.4000	1037.8100	82.67%	74.44%
2	O	MPE	MPB	CRH	PZS	PZO	O				135.7100		78.67%	
3	O	MD	GRM	GRG	GRS	GRC	MPC	O			157.1200		82.67%	
4	O	CRL	DMF	PZK	PZC	SMP	O				150.8600		73.33%	
5	O	MDLJ	DMA	FMG	DOG	JPG	MPL	O			220.7600		89.33%	
6	O	MPR	O								172.9600		40.00%	
Rabu, 7 Januari 2009														
1	O	MPE	CRB	MPS	FMS	MPK	PRN	O			208.1300	919.7000	81.33%	89.33%
2	O	MD	MPQ	PZM	GRM	GRG	GRS	MBP	MPR	O	234.1400		93.33%	
3	O	MPO	CRL	GRC	DMF	PY	GNL	PZK	RCJ	O	144.8500		88.00%	
4	O	MPL	JPG	FMG	GRL	DMA	O				162.8700		90.67%	
5	O	CRH	SPI	O							169.7100		93.33%	
Kamis, 8 Januari 2009														
1	O	RCM	CRP	PRN	MPK	FMS	MPS	CRB	O		222.0508	810.1467	89.33%	75.73%
2	O	MPE	CRH	CRA	MBP	O					136.4037		72.00%	
3	O	MD	GRM	GRG	GRS	GRP	DOK	O			164.1036		89.33%	
4	O	CRL	MPC	GRC	DMF	PZK	O				124.7131		64.00%	
5	O	MPL	JPG	FMG	GRL	DMA	O				162.8756		64.00%	
Jumat, 9 Januari 2009														
1	O	HHD	CRN	MPN	HHK	MPH	MPK	MPS	CRB	O	208.1966	1032.0644	84.00%	86.89%
2	O	MPE	CRH	PZM	SRK	HHL	HHR	O			153.6382		89.33%	
3	O	MD	GRM	GRG	GRS	GRK	MBP	DOP	GRP	O	160.9039		98.67%	
4	O	MPO	CRL	GRC	MPC	DMF	KS	HHF	O		138.6660		92.00%	
5	O	JPG	FMG	DMA	MDLJ	O					196.2470		96.00%	
6	O	MPL	CRQ	HHC	HHB	MPI	O				174.4127		61.33%	
Sabtu, 10 Januari 2009														
1	O	MPE	MPK	FMS	CRB	O					190.1261	944.8591	57.33%	75.78%
2	O	CRH	CRA	PZC	GNL	MBP	DOK	O			135.8296		72.00%	
3	O	MD	GRM	PZG	GRG	GRS	GRP	O			160.0514		62.67%	
4	O	CRL	MPC	GRC	DMF	RCD	RCJ	O			129.5649		94.67%	
5	O	MPL	JPG	FMG	GRL	DMA	O				162.8756		97.33%	
6	O	MPB	CRE	SPI	O						166.4115		70.67%	
Minggu, 11 Januari 2009														
1	O	MPE	MPV	MPN	MPK	FMS	MPS	O			203.1929	719.1376	98.67%	87.33%
2	O	MD	GRM	GRS	MBP	SPI	O				217.3409		94.67%	
3	O	CRE	CRL	GRC	MPC	DMF	GNL	O			139.7269		73.33%	
4	O	MPL	FMG	GRL	DMA	O					158.8770		82.67%	
											5947.6578		80.91%	

(Sumber: Cahyadi 2009)

Hasil pendekatan *tabu search* dan perbandingan kualitas *tabu search* yang lebih baik dibandingkan perencanaan perusahaan dapat dilihat pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6.

Tabel 3.5 Solusi *Tabu Search* Permasalahan Pertama

Rute	Senin, 5 Januari 2009											Jarak	Total	Utilitas	Average	
1	O	GRS	GRK	MBP	DOP	GRP	PZK	O				136.8202	469.4402	57.33%	76.89%	
2	O	JPG	GRL	GRG	GRM	PRN	CRL	GRC	O			190.9200		81.33%		
3	O	MD	O									141.7000		92.00%		
	Selasa, 6 Januari 2009															
1	O	PZK	PZS	PZO	PZC	GRM	GRG	GRS	CRH	MPL	O	157.8961	854.0931	89.33%	89.33%	
2	O	MPS	MPG	CRL	GRC	MPC	DMF	SMP	O			170.7839		92.00%		
3	O	MPB	MPR	MPE	O							179.7592		77.33%		
4	O	FMG	JPG	MD	DOG	DMA	O					141.3337		98.67%		
5	O	MPN	MDLJ	MPH	FMS	MPK	O					204.3202		89.33%		
	Rabu, 7 Januari 2009															
1	O	PZK	MBP	PRN	FMS	MPK	MPS	CRB	DMF	GRC	O	208.1770	893.4611	98.67%	89.33%	
2	O	FMG	MPQ	GRM	PZM	GRG	GNL	GRS	RCJ	O		153.3727		72.00%		
3	O	MD	JPG	GRL	DMA	MPE	O					148.7982		96.00%		
4	O	MPO	CRL	PY	CRH	MPL	MPR	O				221.8702		93.33%		
5	O	SPI	O									161.2430		86.67%		
	Kamis, 8 Januari 2009															
1	O	CRB	MPS	FMS	PRN	MPK	CRP	RCM	GRP	O		213.8465	662.4370	94.67%	94.67%	
2	O	MD	JPG	O								141.7051		97.33%		
3	O	CRL	MPC	GRC	DMF	DOK	PZK	MPE	O			129.9752		89.33%		
4	O	CRA	MBP	GRS	GRG	GRM	DMA	GRL	FMG	MPL	CRH	O	176.9103		97.33%	
	Jumat, 9 Januari 2009															
1	O	MD	JPG	FMG	DMA	O						142.4161	973.9722	100.00%	86.89%	
2	O	CRB	MPS	MPH	MPK	MDLJ	HHK	DOP	GRP	O		205.2243		94.67%		
3	O	HHR	HHH	CRN	MPN	CRH	MPL	O				186.3494		78.67%		
4	O	MPE	MPO	HHF	KS	MPC	GRC	CRL	O			140.0643		97.33%		
5	O	DMF	GRK	MBP	GRS	GRG	GRM	PZM	SRK	HHL	O	151.4033		97.33%		
6	O	HHB	MPI	CRQ	HHC	O						148.5149		53.33%		
	Sabtu, 10 Januari 2009															
1	O	FMG	JPG	MD	GRL	DMA	O					142.4161	783.2786	98.67%	90.93%	
2	O	CRB	FMS	MPK	GRM	PZG	GRG	PZC	O			188.8218		94.67%		
3	O	MPB	DMF	GRP	RCD	MBP	GNL	GRS	CRA	O		135.8063		94.67%		
4	O	CRE	MPL	CRH	SPI	O						186.5483		80.00%		
5	O	MPE	MPC	GRC	CRL	DOK	RCJ	O				129.6861		86.67%		
	Minggu, 11 Januari 2009															
1	O	MPE	MPV	DMF	GRC	MPC	CRL	O				123.8370	662.4292	85.33%	87.33%	
2	O	MBP	GNL	GRS	GRM	MPN	FMS	MPK	MPS	O		208.5322		85.33%		
3	O	MPL	FMG	GRL	MD	DMA	O					164.8920		88.00%		
4	O	SPI	CRE	O								165.1680		90.67%		
												5299.1114		87.91%		

(Sumber: Cahyadi 2009)

Tabel 3.6 Perbandingan Perencanaan Perusahaan dengan Solusi *Tabu Search*

	Perencanaan Perusahaan	Solusi <i>Tabu Search</i>	Selisih (%)
Jarak (km)	5947.6578	5299.1114	10.90%
Utilitas (%)	80.91%	87.91%	7.00%
Biaya (Rp)	9,999,381.96	8,970,262.18	10.29%

(Sumber: Cahyadi, 2009, telah diolah)

3.2 Permasalahan Kedua, VRP pada kasus perusahaan otomotif

Permasalahan VRP kedua yang akan diselesaikan oleh algoritma ACO adalah penelitian Najuwa Mustafa pada tahun 2009 dengan judul “Optimasi Rute Pengadaan Komponen pada Industri Manufaktur Otomotif dengan Sistem *Milkrun* Menggunakan Metode Algoritma *Differential Evolution*”. Penelitian dilakukan di salah satu perusahaan otomotif terbesar di Indonesia pada bulan Maret 2009 dengan menggunakan data historis dari bagian *assembly plant* perusahaan tersebut.

Sistem pengiriman untuk pengadaan komponen pada perusahaan selama ini secara garis besar masih terbagi menjadi dua, yaitu pengiriman komponen secara *direct supply* dan *milkrun*. Berbeda dengan sistem *direct supply* yang pengiriman komponennya dikirimkan secara langsung oleh pemasok ke perusahaan, pada sistem *milkrun*, komponen yang diinginkan dijemput oleh perusahaan ke pemasok-pemasok yang bersangkutan. Pemasok yang dipilih adalah pemasok dengan volume (m^3) pengirimannya relatif kecil dan berlokasi pada suatu area tertentu. Penerapan konsep ini dapat mengurangi biaya transportasi yang dikeluarkan dan menurunkan frekuensi kedatangan truk pemasok ke perusahaan yang saat penelitian dilakukan mencapai 300 kali kedatangan sehingga penggunaan tempat parkir di perusahaan dapat dikurangi. Dalam melakukan penjemputan/ pengambilan komponen, perusahaan menggunakan jasa transportasi yang disebut sebagai *Logistic Partner* (Mustafa, 2009).

VRP pada perusahaan otomotif ini adalah *Vehicle Routing and Scheduling* yang merupakan perluasan dari VRP dengan keterbatasan kapasitas dan *time windows*.

3.2.1 Data yang dibutuhkan

Data yang dibutuhkan untuk penelitian ini adalah jarak antar pelanggan dalam bentuk matriks jarak, waktu antar lokasi dalam bentuk matriks waktu, kapasitas kendaraan, *time windows*, *service time*, kapasitas kendaraan, biaya, permintaan perusahaan dalam batasan waktu penelitian, rute perencanaan distribusi oleh perusahaan, solusi *differential evolution* (DE) pada VRP ini dan perbandingan kualitas solusi *differential evolution* dengan perencanaan perusahaan.

3.2.1.1 Matriks Jarak dan Matriks Waktu

Jumlah tujuan kedatangan pada penelitian VRP ini adalah 30 pemasok yang terletak di Cibitung, Cikarang dan Karawang. Pengambilan data jarak dilakukan dengan menggunakan bantuan peta digital, yaitu dengan alat bantu *distance measurement tool* pada Google Map dan data sekunder yang diperoleh dari sumber. Jarak dari titik A ke B diasumsikan sama dengan jarak titik B ke A (Mustafa, 2009). Hubungan antar lokasi dalam bentuk matriks jarak dapat dilihat di Lampiran 2. Waktu perjalanan antar lokasi dapat dilihat di Lampiran 3.

3.2.1.2 Time Windows, Service Time, Kapasitas Kendaraan dan Biaya

Waktu operasional perusahaan otomotif ini dibagi menjadi dua *shift* yaitu *shift* pagi dan malam. Waktu kerja di luar pembagian waktu dua *shift* tersebut termasuk waktu lembur. Jam kerja pemasok mengikuti jam kerja perusahaan. *Time windows* dalam VRP ini adalah jam kerja pemasok setiap harinya. Tabel 3.7 memberikan penjelasan pembagian waktu kedua *shift* tersebut.

Tabel 3.7 Pembagian Jam Kerja Perusahaan Permasalahan Kedua

Shift Kerja	Waktu Kerja (Jam)
Shift Pagi	07.00-16.00
Shift Sore	20.30-05.30
Total Jam Kerja	2 x 9 jam

(Sumber: Mustafa, 2009)

Proses *material handling* barang di gudang pemasok adalah menurunkan kotak kosong yang dibawa dari pabrik perakitan (assy 1) dan menaikkan kotak berisi komponen ke atas truk untuk dibawa kembali ke pabrik. Jumlah kotak kosong yang diturunkan dan jumlah kotak berisi komponen yang dinaikkan ke dalam truk berjumlah sama yang disebabkan pola permintaan per *cycle* yang merata. Dengan begitu luas dan volume ruang yang dibutuhkan setiap pemasok sebelum dan sesudah proses *loading* dan *unloading* di gudang pemasok sama (Mustafa, 2009).

Service time dalam pengiriman adalah saat melakukan kegiatan *loading* dan *unloading*. Waktu untuk melakukan kegiatan *loading* dan *unloading* ditetapkan dengan menggunakan perhitungan waktu penggunaan forklift untuk mengambil dan meletakkan *skid* yang berisi kotak komponen dikalikan dengan jumlah *skid* yang harus dipindahkan dan ditambahkan dengan 15 menit sebagai waktu *allowance*. Persamaan untuk menghitung waktu *loading* dan *unloading* adalah sebagai berikut:

$$\dots\dots\dots (3.1)$$

t = waktu *loading* atau *unloading* yang diperlukan

n = jumlah *skid* yang harus dipindahkan

Kendaraan yang digunakan adalah truk dengan dimensi 6.5 x 2.45 x 2.35 m dengan kapasitas total 24 m³. Kapasitas muatan kendaraan dinyatakan dalam satuan m³ dan dikonversikan dalam *skid* karena pengiriman produk dilakukan dengan menggunakan wadah berupa *skid*. *Skid* memiliki ukuran dimensi yang sama yaitu 1x1x1 m. Dengan dimensi *skid* 1 m³, kapasitas total truk adalah 24 *skid*.

Biaya pada penelitian ini adalah biaya sewa kendaraan yang diklasifikasikan menjadi biaya sewa per perjalanan dan biaya sewa per bulan (kontrak). Tabel 3.8 menjelaskan rincian biaya sewa per perjalanan. Berikut adalah tingkat harga yang dikenakan untuk penyewaan truk.

Tabel 3.8 Biaya Sewa Truk Permasalahan Kedua

Jarak Tempuh	Biaya Sewa Truk
≤ 50 km	Rp. 350.000
50-100 km	Rp. 500.000
100 km ≥	Rp. 600.000

(Sumber: Mustafa, 2009)

Biaya sewa per bulan adalah Rp. 10.000.000/ bulan. Namun saat penelitian ini dilakukan, perusahaan menerapkan sistem sewa truk kepada *logistic partners* berdasarkan sewa per perjalanan.

3.2.1.3 Permintaan

Data permintaan yang dianalisa berdasarkan pada permintaan *component part list* (CPL) bulan Maret 2009 untuk pabrik perakitan 1 (assy 1). Dari data tersebut dapat diperoleh jumlah kebutuhan per hari setiap jenis komponen untuk setiap pemasok per *cycle*. Jumlah komponen per kanban untuk setiap komponen berbeda-beda. Sejumlah komponen per kanbannya dimuat dalam satu kotak, dengan kata lain satu kanban adalah satu kotak komponen. Setiap jenis komponen memiliki spesifikasi yang berbeda-beda sehingga jenis dan ukuran kotak yang digunakan untuk memuat komponen juga berbeda-beda. Meskipun begitu, pemasok harus menyesuaikan pola pengiriman dengan skid yang telah disediakan oleh pabrik perakitan, yaitu penyusunan kotak dengan volume maksimum 1 m^3 .

Setiap supplier memiliki volume pengiriman setiap hari yang berbeda dan memiliki *cycle issue* yang berbeda. Tabel 3.9 memberikan volume per *cycle* keseluruhan pemasok dalam satuan (m^3) untuk setiap hari dalam bulan Maret 2009.

3.2.1.4 Solusi Differential Evolution

Algoritma *differential evolution* digunakan untuk menyelesaikan permasalahan VRP pada pengadaan komponen dengan sistem *milkrun*. Jarak dan utilitas hasil solusi dengan algoritma *differential evolution* ternyata lebih baik dibandingkan dengan perencanaan perusahaan. Tabel 3.10 menjelaskan tentang perencanaan perusahaan pada bulan Maret 2009. Tabel 3.11 menjelaskan solusi *differential evolution* terhadap permasalahan VRP pada penelitian tersebut dalam bentuk jarak dan utilitas. Tabel 3.12 menjelaskan utilitas rata-rata rute perencanaan perusahaan dan solusi *differential evolution*. Tabel 3.13 menjelaskan rincian biaya perencanaan perusahaan dan solusi *differential evolution*. Tabel 3.14 menjelaskan peningkatan kualitas solusi *differential evolution* terhadap perencanaan perusahaan dalam bentuk jarak, utilitas dan biaya.

Tabel 3.9 Volume per Cycle Pemasok Permasalahan Kedua

No.	SUPPLIER NAME	vol/hari	cycle issue	vol/cycle	No.	SUPPLIER NAME	vol/hari	cycle issue	vol/cycle
1	ICH	122.349	18	6.797166667	16	ASNO	105.798	6	17.633
2	SII	41.753	12	3.479416667	17	NITTO	0.069	2	0.0345
3	P. TOYO	6.444	4	1.611	18	AISIN	12.871	14	0.919357
4	NTC	79.946	12	6.662166667	19	NMCH	8.37	10	0.837
5	CHI	24.073	12	2.006083333	20	TSCM	50.3515	12	4.195958
6	DELA	18.052	12	1.504333333	21	SANOH	6.27262	8	0.784078
7	EXCEL	21.527	12	1.793916667	22	STEP	0.046	6	0.007667
8	JVC	7.761	4	1.94025	23	MTM	3.177	4	0.79425
9	SUGITY	119.112	6	19.852	24	SHW	16.966	14	1.211857
10	TTI	0.046	1	0.046	25	3M	2.799	4	0.69975
11	SEIWA	0.175	2	0.0875	26	CHM	0.232	2	0.116
12	SGS	2.335	2	1.1675	27	ADK	1.708	2	0.854
13	ALL TRY	1.633	2	0.8165	28	ATI	40.113	6	6.6855
14	ARM	0.29	2	0.145	29	KBI	84.643	6	14.10717
15	AISAN	2.101	2	1.0505	30	MINDA	0.35	1	0.35

(Sumber: Mustafa, 2009)

Tabel 3.10 Rute Perencanaan Perusahaan Permasalahan Kedua

Cycle	Rute (Kelompok 1)	Jarak (km)	Waktu (menit)	Volume	Utilisasi
1	0 SHW MTM 0	120.5	241	2.006107143	8.36%
2	0 SHW 0	119	238	1.211857143	5.05%
3	0 SHW STEP 3M 0	127	254	1.91927381	8.00%
4	0 SHW MTM 0	120.5	241	2.006107143	8.36%
5	0 SHW STEP 0	121	242	1.21952381	5.08%
6	0 SHW CHM 0	121	242	1.327857143	5.53%
7	0 SHW STEP 3M 0	127	254	1.91927381	8.00%
8	0 SHW MTM 0	120.5	231	2.006107143	8.36%
9	0 SHW 0	119	238	1.211857143	5.05%
10	0 SHW STEP 3M 0	127	80	1.91927381	8.00%
11	0 SHW MTM 0	120.5	231	2.006107143	8.36%
12	0 SHW STEP 0	121	147	1.21952381	5.08%
13	0 SHW CHM 0	121	37	1.327857143	5.53%
14	0 SHW STEP 3M 0	127	80	1.91927381	8.00%
		1712	2756	23.22	6.91%

Cycle	Rute (Kelompok 2)	Jarak (km)	Waktu (min)	Volume	Utilisasi
1	0 CHI DCI EXCEL NTC SII 0	104	221	15.44591667	64.36%
2	0 CHI DCI EXCEL NTC SII JVC 0	108	242	17.3816667	72.44%
3	0 CHI DCI EXCEL NTC SII SGS 0	109	241	16.61341667	69.22%
4	0 CHI DCI EXCEL NTC SII 0	104	221	15.44591667	64.36%
5	0 CHI DCI EXCEL NTC SII JVC 0	108	242	17.3816667	72.44%

6	0 CHI DCI EXCEL NTC SHI 0	104	221	15.44591667	64.36%
7	0 CHI DCI EXCEL NTC SHI 0	104	221	15.44591667	64.36%
8	0 CHI DCI EXCEL NTC SHI JVC 0	108	242	17.3816667	72.44%
9	0 CHI DCI EXCEL NTC SHI SGS 0	109	241	16.61341667	69.22%
10	0 CHI DCI EXCEL NTC SHI 0	104	221	15.44591667	64.36%
11	0 CHI DCI EXCEL NTC SHI JVC 0	108	242	17.3816667	72.44%
12	0 CHI DCI EXCEL NTC SHI 0	104	221	15.44591667	64.36%
		1274	2776	195.447	67.86%

Cycle	Rute (Kelompok 3)	Jarak (km)	Waktu (min)	Volume	Utilisasi
1	0 ICH 0	94	178	6.79716667	28.32%
2	0 ICH P.TOYO 0	94	182	8.40816667	35.03%
3	0 ICH 0	94	178	6.79716667	28.32%
4	0 ICH 0	94	178	6.79716667	28.32%
5	0 ICH 0	94	178	6.79716667	28.32%
6	0 ICH P.TOYO 0	94	182	8.40816667	35.03%
7	0 ICH 0	94	178	6.79716667	28.32%
8	0 ICH SEIWA 0	96	184	6.88466667	28.69%
9	0 ICH 0	94	178	6.79716667	28.32%
10	0 ICH 0	94	178	6.79716667	28.32%
11	0 ICH P.TOYO 0	94	182	8.40816667	35.03%
12	0 ICH 0	94	178	6.79716667	28.32%
13	0 ICH 0	94	178	6.79716667	28.32%
14	0 ICH 0	94	178	6.79716667	28.32%
15	0 ICH P.TOYO 0	94	182	8.40816667	35.03%
16	0 ICH 0	94	178	6.79716667	28.32%
17	0 ICH SEIWA 0	96	184	6.88466667	28.69%
18	0 ICH 0	94	178	6.79716667	28.32%
		1696	3232	128.968	28.32%

Cycle	Rute (Kelompok 4)	Jarak (km)	Waktu (min)	Volume	Utilisasi
1	0 NMCH ARM 0	123	237	0.982	4.09%
2	0 ALLTRY AISIN SNH TSCM 0	130.6	265	6.715892976	27.98%
3	0 ASNO AISIN NITTO SNH TSCM 0	124.6	253	23.56689298	98.20%
4	0 NMCH AISIN TSCM 0	119.5	237	5.952315476	24.80%
5	0 NMCH AISIN 0	112.5	227	1.756357143	7.32%
6	0 ASNO SNH TSCM 0	129.2	254	22.61303583	94.22%
7	0 NMCH AISAN AISIN TSCM 0	119.7	240	7.002815476	29.18%
8	0 AISIN 0	112	224	0.919357143	3.83%
9	0 ASNO NMCH AISIN SNH TSCM 0	130.7	261	24.36939298	101.54%
10	0 NMCH ARM 0	123	237	0.982	4.09%
11	0 ALLTRY AISIN SNH TSCM 0	130.6	265	6.715892976	27.98%
12	0 ASNO AISIN NITTO SNH TSCM 0	124.6	253	23.56689298	98.20%
13	0 NMCH AISIN TSCM 0	119.5	237	5.952315476	24.80%
14	0 NMCH AISIN 0	112.5	227	1.756357143	7.32%
15	0 ASNO SNH TSCM 0	129.2	254	22.61303583	94.22%
16	0 NMCH AISAN AISIN TSCM 0	119.7	240	7.002815476	29.18%
17	0 AISIN 0	112	224	0.919357143	3.83%
18	0 ASNO NMCH AISIN SNH TSCM 0	130.7	261	24.36939298	101.54%
		2203.6	4396	187.75612	43.46%

Cycle	Rute (Kelompok 5)	Jarak (km)	Waktu (min)	Volume	Utilisasi
1	0 ADK ATI KBI 0	159.4	276	21.64666667	90.19%
2	0 ATI KBI 0	137.6	224	20.79266667	86.64%
3	0 ADK ATI KBI MINDA 0	164.1	288	21.99666667	91.65%
4	0 ATI KBI 0	137.6	224	20.79266667	86.64%
5	0 ATI KBI 0	137.6	224	20.79266667	86.64%
6	0 ATI KBI 0	137.6	224	20.79266667	86.64%
		873.9	1460	126.814	88.07%

Cycle	Rute SGIY	Jarak (km)	Waktu (min)	Volume	Utilisasi
1	SGIY 0	45	88	19.852	82.72%
2	SGIY 0	45	88	19.852	82.72%
3	SGIY 0	45	88	19.852	82.72%
4	SGIY 0	45	88	19.852	82.72%
5	SGIY 0	45	88	19.852	82.72%
6	SGIY 0	45	88	19.852	82.72%
		270	528	119.112	82.72%

Cycle	Rute TTI	Jarak (km)	Waktu (min)	Volume	Utilisasi
	TTI 0	48	90	0.046	0.19%

(Sumber: Mustafa, 2009)

Tabel 3.11 Solusi *Differential Evolution* Permasalahan Kedua

Cycle	Rute (Kelompok 1)	Jarak (km)	Waktu (min)	Volume	Utilisasi
1	0 JVC SGIY AISAN 0	126	261	22.84	95.18%
2	0 JVC SGIY 0	94	194	21.79	90.80%
3	0 SGIY 0	90	176	19.85	82.72%
4	0 JVC SGIY AISAN 0	126	261	22.84	95.18%
5	0 JVC SGIY 0	94	194	21.79	90.80%
6	0 SGIY 0	90	176	19.85	82.72%
		620	1262	128.96	89.57%

Cycle	Rute (Kelompok 2)	Jarak (km)	Waktu (min)	Volume	Utilisasi
1	0 ASNO NITTO 0	115	231	17.67	73.61%
2	0 ASNO 0	113	224	17.63	73.47%
3	0 ASNO 0	113	224	17.63	73.47%
4	0 ASNO NITTO 0	115	231	17.67	73.61%
5	0 ASNO 0	113	224	17.63	73.47%
6	0 ASNO 0	113	224	17.63	73.47%
		682	1358	105.86	73.52%

Cycle	Rute (Kelompok 3)	Jarak (km)	Waktu (min)	Volume	Utilisasi
1	0 ATI ARM ALLTRY MINDA KBI SNH 0	227	392	22.89	95.37%
2	0 ATI KBI SNH 0	158	276	21.58	89.90%
3	0 SNH 0	118	236	0.78	3.27%
4	0 ATI KBI SNH 0	158	276	21.58	89.90%
5	0 ATI ARM ALLTRY KBI SNH 0	222	380	22.54	93.91%
6	0 ATI KBI SNH 0	158	276	21.58	89.90%
7	0 SNH 0	118	236	0.78	3.27%
8	0 ATI KBI SNH 0	158	276	21.58	89.90%
		1316	2348	133.31	69.43%

Cycle	Rute (Kelompok 4)	Jarak (km)	Waktu (min)	Volume	Utilisasi
1	0 SII NTC MTM STEP AISIN TTI NMCH SEIWA TSCM SHW 0	253	501	18.24	76.00%
2	0 AISIN SHW 0	131	262	2.13	8.88%
3	0 SII NTC AISIN NMCH TSCM SHW 0	150	298	17.31	72.11%
4	0 SII NTC MTM STEP AISIN NMCH TSCM SHW 0	162	322	18.11	75.45%
5	0 SII NTC AISIN TSCM SHW 0	149	295	16.47	68.62%
6	0 SII NTC AISIN NMCH TSCM SHW 0	150	298	17.31	72.11%
7	0 SII NTC STEP AISIN NMCH TSCM SHW 0	159	315	17.31	72.14%
8	0 SII NTC MTM STEP AISIN NMCH SEIWA TSCM SHW 0	207	411	18.20	75.81%
9	0 AISIN SHW 0	131	262	2.13	8.88%
10	0 SII NTC AISIN NMCH TSCM SHW 0	150	298	17.31	72.11%
11	0 SII NTC MTM STEP AISIN NMCH TSCM SHW 0	162	322	18.11	75.45%
12	0 SII NTC AISIN TSCM SHW 0	149	295	16.47	68.62%
13	0 SII NTC AISIN NMCH TSCM SHW 0	150	298	17.31	72.11%
14	0 SII NTC STEP AISIN NMCH TSCM SHW 0	159	315	17.31	72.14%
		2259	4492	213.72	63.60%

Cycle	Rute (Kelompok 5)	Jarak (km)	Waktu (min)	Volume	Utilisasi
1	0 ICH DELA CHI EXEL 0	102	210	12.10	50.42%
2	0 ICH DELA SGS CHI EXEL CHM 3M ADK P.TOYO 0	154	321	16.55	68.96%
3	0 ICH 0	94	178	6.80	28.32%
4	0 ICH DELA CHI EXEL 0	102	210	12.10	50.42%
5	0 ICH DELA CHI EXEL 0	102	210	12.10	50.42%
6	0 ICH 0	94	178	6.80	28.32%
7	0 ICH DELA CHI EXCEL 3M P.TOYO 0	141	284	14.41	60.05%
8	0 ICH DELA CHI EXEL 0	102	210	12.10	50.42%
9	0 ICH 0	94	178	6.80	28.32%
10	0 ICH DELA CHI EXEL 0	102	210	12.10	50.42%
11	0 ICH DELA SGS CHI EXEL CHM 3M ADK P.TOYO 0	154	321	16.55	68.96%
12	0 ICH 0	94	178	6.80	28.32%
13	0 ICH DELA CHI EXEL 0	102	210	12.10	50.42%
14	0 ICH DELA CHI EXEL 0	102	210	12.10	50.42%
15	0 ICH 0	94	178	6.80	28.32%
16	0 ICH DELA CHI EXCEL 3M P.TOYO 0	141	284	14.41	60.05%
17	0 ICH DELA CHI EXEL 0	102	210	12.10	50.42%
18	0 ICH 0	94	178	6.80	28.32%
		1970	3958	199.52	46.18%

(Sumber: Mustafa, 2009)

Tabel 3.12 Utilitas Perencanaan Perusahaan dan Solusi *Differential Evolution*

Kelompok Rute	Utilitas Kendaraan	
	Rute Perusahaan	Solusi DE
1	6.91%	89.57%
2	67.86%	73.52%
3	28.32%	69.43%
4	43.46%	63.60%
5	88.07%	46.18%
6	82.72%	
7	0.19%	
	45.58%	68.46%

(Sumber: Mustafa, 2009)

Tabel 3.13 Rincian Biaya Perencanaan Perusahaan dan Solusi *Differential Evolution*

Kelompok Rute	Biaya per Hari (Rp)	
	Rute Perusahaan	Solusi DE
1	8,400,000	3,200,000
2	7,200,000	3,600,000
3	9,000,000	5,200,000
4	10,800,000	8,800,000
5	3,600,000	10,200,000
6	2,100,000	
7	350,000	
	41,450,000	31,000,000

(Sumber: Mustafa, 2009)

Tabel 3.14 Perbandingan Perencanaan Perusahaan dengan Solusi DE

	Perencanaan Perusahaan	Solusi DE	Selisih (%)
Jarak (km)	8077.5000	6847.0000	15.23%
Waktu (menit)	15238	13418	11.94%
Utilitas (%)	45.58%	68.46%	22.88%
Biaya (Rp)	41,450,000	31,000,000	25.21%

(Sumber: Mustafa, 2009, telah diolah)

3.3 Permasalahan Ketiga, VRP pada Perusahaan Distributor Nitrogen

Permasalahan VRP ketiga yang akan diselesaikan menggunakan algoritma ACO adalah penelitian Kresentia Isabella Anandita pada tahun 2009 dengan judul “Penentuan Rute yang Optimal pada Distribusi Produk Gas Silinder Menggunakan Algoritma *Differential Evolution*” yaitu mengenai penyelesaian VRP pada distribusi gas sebuah perusahaan produsen gas nasional.

Perusahaan gas ini memiliki fasilitas produksi yang tersebar di Bali, Jawa Timur, Jawa Tengah, Jawa Barat, Kalimantan Timur dan Kalimantan Selatan, Sulawesi dan Sumatera, serta didukung oleh jaringan distribusi lebih dari 60 *filling station* di kota-kota di Indonesia dengan lebih dari 60 truk tangki dan 15 pabrik gas industri yang tersebar di seluruh Indonesia (Anandita, 2009).

Bisnis perusahaan mencakup kegiatan produksi dan memasok gas industri seperti Oksigen, Nitrogen, Karbondioksida, Argon, Asetilen, dan gas-gas lainnya serta jasa terkait untuk hampir semua industri, seperti industri pengerjaan logam, penambangan, metalurgi, industri kimia dan petrokimia, industri otomotif dan transportasi, industri elektronik dan elektrik, industri kesehatan dan farmasi, industri makanan dan minuman, pengolahan air minum, pengolahan air limbah, agribisnis dan lain sebagainya.

Penelitian ini dilakukan di salah satu *filling station* perusahaan gas. *Filling station* merupakan salah satu unit usaha perusahaan yang bertanggung jawab untuk melakukan pengisian gas ke dalam kemasan tabung. Di samping itu, *filling station* ini pula yang melakukan proses pendistribusian produk gas tabung tersebut. Pendistribusian produk gas tabung mencakup proses pengiriman gas tabung ke pelanggan serta pengambilan tabung kosong dari pelanggan (*delivery and pick-up service*) (Anandita, 2009).

Penjadwalan distribusi dilakukan berdasarkan pesanan harian. Setiap melakukan pengiriman, pengemudi selalu ditemani oleh seorang kernet. Sesampainya di lokasi pelanggan, pengemudi dan kernet bersama-sama melakukan proses *loading* (menaikkan tabung kosong) dan melakukan *unloading* (menurunkan tabung isi). Pengemudi akan mengambil semua tabung kosong yang terdapat di lokasi pelanggan sesuai yang terdapat pada permintaan, namun pada lokasi terakhir, apabila kapasitas tidak mencukupi, maka pengemudi hanya akan mengambil sampai batas kapasitas kendaraan dan sisanya akan diambil pada kunjungan berikutnya.

VRP pada perusahaan gas ini adalah VRP dengan keterbatasan kapasitas dan *time windows* juga disertai *delivery* dan *pick-up service* atau biasa disebut VRPPD (*VRP with Delivery and Pick-Up Service*) dalam klasifikasi VRP. Batasan waktu dalam penelitian ini adalah kegiatan distribusi perusahaan gas tersebut pada tanggal 20 April 2009 – 24 April 2009.

3.3.1 Data yang dibutuhkan

Data yang dibutuhkan untuk penelitian ini adalah informasi lokasi antar pelanggan dalam bentuk matriks jarak, kapasitas kendaraan, *time windows*, *service time*, biaya, permintaan perusahaan dalam batasan waktu penelitian, rute perencanaan distribusi oleh perusahaan, solusi *differential evolution* pada VRP ini dan perbandingan kualitas solusi *differential evolution* dengan perencanaan perusahaan.

3.3.1.1 Matriks Jarak

Tujuan distribusi perusahaan gas ini dibagi menjadi dua, yaitu distribusi ke pelanggan *outlet* dan pelanggan industri dan rumah sakit. Pelanggan *outlet* merupakan pelanggan yang terdiri dari *outlet-outlet* restoran, hotel, dan kafe. Lokasi pelanggan *outlet* tersebar di seluruh wilayah Jabodetabek, baik di pusat-pusat perbelanjaan, di gedung perkantoran, maupun berupa *outlet* restoran, hotel, dan kafe, yang berdiri sendiri di jalan raya. Jumlah pelanggan *outlet* perusahaan gas sampai saat ini berjumlah 500, namun yang paling sering dilakukan pengiriman berjumlah 227 pelanggan yang tersebar di 70 lokasi di wilayah Jabodetabek. Pada penelitian ini jumlah pelanggan *outlet* yang dilayani dibatasi menjadi 46 tujuan (Kresentia, 2009). Tabel 3.15 menjelaskan daftar pelanggan *outlet* yang dilayani pada penelitian ini.

Pelanggan industri dan rumah sakit adalah perusahaan dan rumah sakit yang memerlukan berbagai jenis gas khusus dalam jumlah banyak untuk melakukan aktivitas produksinya. Oleh karena itu, permintaan yang berasal dari pelanggan industri dan rumah sakit ini berjumlah besar dan jenis gas yang diminta lebih bermacam-macam. Lokasi pelanggan industri dan rumah sakit tersebar di wilayah Jabotabek, namun pengiriman produk yang berasal dari depot ini berkisar pada area Jakarta, Tangerang, dan Bekasi. Tabel 3.16 menjelaskan daftar pelanggan industri dan rumah sakit.

Tabel 3.15 Daftar Nama Pelanggan *Outlet* Perusahaan Gas

No	Nama Pelanggan	Lokasi Pelanggan			
			23	AC-PUM	PUM
			24	BB-PUM	
1	A-CIT	CIT	25	DD-PUM	
2	BB-CIT		26	DK-PUM	
3	DD-CIT		27	HAN-PUM	
4	HB-CIT		28	HB-PUM	
5	PH-CIT		29	A-PUM	
6	POP-CIT		30	PH-PUM	
7	SIZ-CIT		31	POP-PUM	
8	W-CIT		32	W-PUM	
9	A-MTA	MTA	33	DD-RXM	RXM
10	BB-MTA		34	HB-RXM	
11	DD-MTA		35	MC-RXM	
12	FC-MTA		36	PH-RXM	
13	HC-MTA		37	W-RXM	
14	HB-MTA		38	PH-GG	GG
15	MC-MTA		39	MC-GG	
16	PH-MTA		ASEN	40	A-ASEN
17	POP-MTA			41	DD-ASEN
18	RIMC-MTA			42	HB-ASEN
19	SACI-MTA	43		MC-ASEN	
20	SIZ-MTA	44		PH-ASEN	
21	SKY-MTA	45		POP-ASEN	
22	W-MTA	46		W-ASEN	

(Sumber: Anandita, 2009)

Pengukuran jarak menggunakan bantuan peta digital yaitu *Google Maps* dengan alat bantu *distance measurement tool*. Dibandingkan dengan hasil pengukuran *odometer* kendaraan setiap melakukan pengiriman yang dicatat oleh pengemudi dalam Laporan Harian Kegiatan Kendaraan Distribusi (LHKKD), jarak yang dihasilkan dari *Google Maps* ini relatif akurat. Pemilihan jarak dilakukan dengan pertimbangan jarak terdekat dan juga kondisi atau karakteristik jalan (tingkat kemacetan). Jarak tempuh dari titik A ke titik B diasumsikan sama dengan jarak tempuh dari titik B ke titik A. Di samping itu, penelitian ini juga memperhitungkan toleransi tingkat kemacetan yang dapat diperkirakan pada waktu-waktu tertentu, yaitu dengan mengkonversi waktu kemacetan ke dalam jarak, sehingga pada matriks jarak, jarak yang digunakan adalah jarak sebenarnya ditambah dengan jarak dengan toleransi tingkat kemacetan. Hal ini dilakukan untuk memberi pendekatan yang lebih riil pada keadaan sebenarnya. Matriks jarak lengkap untuk pelanggan outlet dan pelanggan industri dan rumah sakit dapat dilihat di Lampiran 4.

Tabel 3.16 Daftar Pelanggan Industri dan Rumah Sakit Perusahaan Gas

No	Nama Pelanggan	Area	No	Nama Pelanggan	Area	No	Nama Pelanggan	Area
1	PMG	Tangerang	18	MAN	Tangerang	35	WBE	Tangerang
2	PLMB	Tangerang	19	GMW	Tangerang	36	RGMED	Jakarta
3	ALG	Tangerang	20	PRI	Tangerang	37	DRC	Bekasi
4	MMS	Jakarta	21	ERBT	Tangerang	38	ADKL	Tangerang
5	SLD	Tangerang	22	LCI	Tangerang	39	BBDKI	Jakarta
6	RSHT	Tangerang	23	UDSB	Jakarta	40	NUML	Tangerang
7	RSSA	Tangerang	24	SS	Jakarta	41	PBD	Jakarta
8	RST	Tangerang	25	INC	Jakarta	42	SINDO	Tangerang
9	RHO	Tangerang	26	DNCS	Tangerang	43	DAR	Jakarta
10	ROM	Tangerang	27	HW	Tangerang	44	MONA	Tangerang
11	REH	Tangerang	28	SPP	Jakarta	45	SPC	Tangerang
12	SM	Tangerang	29	MPC	Tangerang	46	SGCI	Bekasi
13	MLC	Jakarta	30	URMI	Tangerang	47	SBJ	Tangerang
14	GSG	Jakarta	31	INTC	Jakarta	48	DHPM	Tangerang
15	HGC	Jakarta	32	TRIS	Jakarta	49	BPT	Tangerang
16	BUT	Tangerang	33	RSBA	Tangerang	50	YK	Tangerang
17	MIT	Tangerang	34	ZT	Tangerang			

(Sumber: Anandita, 2009)

3.3.1.2 *Time Windows*, *Service Time*, Kecepatan Kendaraan, Kapasitas Kendaraan dan Biaya

Time windows untuk pelanggan *outlet* adalah pukul 09:00 – 22:00 dan untuk pelanggan industri adalah pukul 09:00 – 17:00 yang didapat dari hasil wawancara dengan pihak perusahaan pada saat penelitian. *Service time* ini dapat dibagi menjadi waktu penurunan barang (*unloading*), waktu pemuatan barang yaitu tabung kosong (*loading*), dan waktu untuk pengurusan administrasi. Dari hasil wawancara pihak perusahaan, diketahui bahwa waktu rata-rata *service time* adalah 30 menit.

Data kecepatan adalah kecepatan rata-rata kendaraan dalam melakukan pengantaran barang. Dari hasil wawancara dengan pengemudi truk dan mobil *pick-up*, diperoleh kecepatan rata-rata yaitu sebesar 50 km/jam.

Perusahaan memiliki 3 jenis kendaraan untuk melakukan pengiriman, yaitu kendaraan berjenis mobil *pick-up*, truk engkel, dan truk *double*. Kendaraan berjenis mobil *pick-up* dialokasikan untuk melakukan pengiriman ke *outlet-outlet* restoran,

hotel, dan kafe karena lokasi *outlet* restoran yang umumnya berada di pusat perbelanjaan yang memiliki batas atas ketinggian di tempat parkir *basement*.

Truk engkel dan truk *double* yang memiliki kapasitas besar dialokasikan untuk melakukan pengiriman ke industri dan rumah sakit agar dapat memenuhi permintaan pelanggan industri dan rumah sakit yang umumnya berjumlah besar. Tabel 3.17 menjelaskan spesifikasi masing-masing kendaraan.

Tabel 3.17 Spesifikasi Kendaraan Perusahaan Gas

No	Jenis Kendaraan	Merk & Tipe	Kapasitas tabung gas	Jumlah Ban	Daya Angkut	Jumlah kendaraan
1	<i>Pick-Up</i>	Mitsubishi L 300	40 tabung	4 buah	1160 kg	2
2	Truk Engkel	Mitsubishi FE 304	60 tabung	4 buah	2200 kg	2
3	Truk <i>Double</i>	Mitsubishi FE 1349	90 Tabung	6 buah	3800 kg	1

(Sumber: Anandita, 2009)

Biaya yang dihitung pada penelitian ini adalah biaya bahan bakar. Dengan rasio bahan bakar 1:5 dan harga bahan bakar Rp 4.500 / km, biaya bahan bakar pada penelitian ini adalah Rp. 900 / km.

Selain itu, informasi mengenai kemasan tabung yang dipakai adalah dua jenis kemasan tabung yaitu tabung standar dengan ukuran diameter 20 cm dan tinggi 150 cm, dan tabung pendek yang khusus untuk CO₂ 8 kg yang berukuran diameter 20 cm dan tinggi 65 cm. Selain kedua jenis tabung tersebut, terdapat silinder khusus berukuran setara dengan 6 tabung standar yang digunakan untuk mengemas gas tekan. Gas yang dikemas dalam silinder khusus ini tidak diikutsertakan dalam penelitian.

3.3.1.3 Permintaan

Permintaan pelanggan outlet untuk pengiriman dan pengambilan pada tanggal 20 April 2009 - 24 April 2009 dapat dilihat di Tabel 3.18. Tabel 3.19 menjelaskan permintaan pelanggan industri dan rumah sakit pada tanggal 20 April 2009 - 24 April 2009.

Tabel 3.18 Permintaan Pelanggan Outlet

Senin, 20 April 2009																	
	DM	JAY	STD	ITMD	WTMD	MDS	GNS	ASEN	CIT	UNT	RXM	MTA	KED	GG	PUM		Total
Pengiriman	1	2	3	8	5	2	3	3	12	2	6	8	5	3	10		73
Pengambilan	1	2	3	4	5	2	3	3	12	2	6	9	5	3	11		71
Selasa, 21 April 2009																	
	TP	MK	PLM	EMP	GNS	SUN	ITPH	TRW	PAF	PLAZ	ITKN	MTH	HSHA				Total
Pengiriman	1	9	10	2	3	8	3	6	4	3	15	4	10				78
Pengambilan	1	9	10	2	3	8	3	6	4	3	15	4	10				78
Rabu, 22 April 2009																	
	ITCM	PHCP	MAG	LPI	MOI	MKG	PIM	POLB	CITS	DBF	CINM	CIM	BP	AB	PHCIP	PLCPL	Total
Pengiriman	6	2	10	2	7	7	9	1	5	2	10	1	3	2	7	5	79
Pengambilan	6	2	10	2	7	7	9	1	5	2	10	1	3	2	7	5	79
Kamis, 23 April 2009																	
	KM	PCL	TMI	KWC	PLCIB	PHPAJ	BOS	PGM	PLIB	HLE	GRI	MC	AHC	PLGI	SCB	SENY	Total
Pengiriman	3	10	5	1	5	5	6	1	3	2	4	2	3	4	7	10	71
Pengambilan	3	10	5	1	5	5	6	1	3	4	4	2	3	4	4	9	69
Jumat, 24 April 2009																	
	AMGK	MCK	WB	ITDP	SCB	GRI	HLE										Total
Pengiriman	7	2	6	23	5	15	5										63
Pengambilan	7	2	6	23	7	15	5										65

(Sumber: Anandita, 2009)

Tabel 3.19 Permintaan Pelanggan Industri

Senin, 20 April 2009																	
	PMG	ROM	ALG	RSBA	PLMB	HGC	MMS	SLD	RSSA	ALG	RSHT						Total
Pengiriman	14	10	10	15	0	19	11	5	3	30	40						157
Pengambilan	36	10	12	13	7	0	21	7	3	8	14						131
Selasa, 21 April 2009																	
	LCI	INC	TRIS	MMS	BUT	PLMB	PMG	RSSA	URMI	ALG	RSBA	RSOM	RSEH	HW	GMW	RSHT	Total
Pengiriman	8	7	21	10	6	10	18	1	10	13	10	10	15	0	5	10	154
Pengambilan	6	0	29	8	1	15	15	3	10	12	0	12	12	10	10	8	151
Rabu, 22 April 2009																	
	RSHO	MLC	RSEH	GSG	SM	SLD	ALG	PLMB	PMG	RST	INTC	MMS	HGC	TRI	SS		Total
Pengiriman	8	7	19	2	11	12	18	10	20		1	48	20	5	7		188
Pengambilan	6	0	27	2	7	0	18	2	22	3	0	26	31	5	7		156
Kamis, 23 April 2009																	
	HGC	INC	HW	SS	SAK	RSHT	ALG	PMG	GMW	LCI	SPP						Total
Pengiriman	32	10	0	10	10	10	17	13	5	5	56						168
Pengambilan	25	10	4	7	8	12	16	14	4	0	78						178
Jumat, 24 April 2009																	
	PLMB	SM	RSBA	GSG	PMG	SLD	URMI	ALG	RSOM	RSEH	SM	MLC					Total
Pengiriman	29	15	15	15	15	10	9	10	5	16	10	10					159
Pengambilan	21	24	15	14	20	3	12	10	2	10	9	11					151

(Sumber: Anandita, 2009)

3.3.1.4 Solusi Differential Evolution

Pada penelitian sebelumnya oleh Kresentia Isabella Anandita, permasalahan VRP pada perusahaan gas ini diselesaikan menggunakan pendekatan *differential evolution*. Pendekatan *differential evolution* ternyata belum memberikan jarak dan utilitas solusi yang lebih baik dibandingkan perencanaan perusahaan pada distribusi pelanggan outlet tetapi memberikan solusi yang lebih baik pada pelanggan industri dan rumah sakit. Tabel 3.20 menjelaskan perencanaan perusahaan selama batasan waktu penelitian untuk pelanggan *outlet*. Tabel 3.21 menunjukkan solusi *differential evolution* untuk pelanggan *outlet*. Tabel 3.22 menjelaskan perencanaan perusahaan selama batasan waktu penelitian untuk pelanggan industri dan rumah sakit Tabel 3.23 menunjukkan solusi *differential evolution* untuk pelanggan untuk pelanggan industri dan rumah sakit. Tabel 3.24 menunjukkan perbandingan perencanaan perusahaan dengan solusi *differential evolution* untuk pelanggan *outlet*. Tabel 3.25 menunjukkan perbandingan perencanaan perusahaan dengan solusi *differential evolution* untuk pelanggan industri dan rumah sakit.

Tabel 3.20 Perencanaan Perusahaan Untuk Pelanggan *Outlet*

Senin, 20 April 2009											Jarak	Total	Utilitas	Average
DEPOT	ITMD	WTMD	MDS	ASEN	GNS	JAY	STD	DM	DEPOT		50.50	103.5783	67.50%	91.25%
DEPOT	RXM	MTA	KED	GG	OUM	UNT	CIT	DEPOT			53.07		115.00%	
Selasa, 21 April 2009														
DEPOT	TP	MK	PLM	EMP	GNS	SUN	DEPOT				60.240933	125.8289	82.50%	97.50%
DEPOT	ITPH	TRW	PAF	PLAZ	ITKN	MTH	HSHA	DEPOT			65.588		112.50%	
Rabu, 22 April 2009														
DEPOT	ITCM	PHCP	MAG	LPI	MOI	MKG	DEPOT				64.238	149.6340	85.00%	98.75%
DEPOT	PIM	POLB	CITS	DBF	CINM	CIM	BP	AB	PHCIP	PLCPL	DEPOT	85.396		112.50%
Kamis, 23 April 2009														
DEPOT	KM	PCIL	TMI	KWC	PLCIB	PHPAJ	BOS	PGM	PLIB	DEPOT	181.33	236.5660	97.50%	88.75%
DEPOT	HLE	GRI	MC	AHC	PLGI	SCB	SENY	DEPOT			55.23		80.00%	
Jumat, 24 April 2009											Jarak		Utilitas	
DEPOT	AMGK	MCK	WWB	ITDP	DEPOT						86.708	135.1550	95.00%	78.75%
DEPOT	SCB	GRI	HLE	DEPOT							48.447		62.50%	
												750.7623		91.00%

(Sumber: Anandita, 2009, telah diolah)

Tabel 3.21 Solusi *Differential Evolution* Untuk Pelanggan Outlet

Senin, 20 April 2009											Jarak	Total	Utilitas	Average
DEPOT	PUM	GNS	STD	ASEN	WTMD	MDS	ITMD	JAY	UNT	DEPOT	53.94	99.2377	95.00%	91.25%
DEPOT	RXM	MTA	KED	GG	DM	CIT	DEPOT				45.30		87.50%	
Selasa, 21 April 2009														
DEPOT	HSHA	PLAZ	PAF	MTH	ITKN	ITPH	DEPOT				60.55	137.8753	97.50%	97.50%
DEPOT	PLM	EMP	MK	SUN	GNS	TRW	TP	DEPOT			77.32		97.50%	
Rabu, 22 April 2009														
DEPOT	CINM	CIM	POLB	AB	PLCPL	DBF	PIM	CITS	PHCIP	DEPOT	99.51	204.7360	105.00%	98.75%
DEPOT	BP	MOI	MAG	LLPI	PHCP	ITCM	MKG	DEPOT			105.23		92.50%	
Kamis, 23 April 2009														
DEPOT	PLCIB	TMI	PGM	PLIB	BOS	PHPAJ	SCB	SENY	DEPOT		193.00	263.0550	105.00%	87.50%
DEPOT	PLGI	KM	PCIL	MC	HLE	GRI	AHC	DEPOT			70.06		70.00%	
Jumat, 24 April 2009														
DEPOT	MCK	WB	ITDP	AMGK	SCB	DEPOT					85.822	130.2890	107.50%	78.75%
DEPOT	HLE	GRI	DEPOT								44.467		50.00%	
												835.1930		90.75%

(Sumber: Anandita, 2009, telah diolah)

Tabel 3.22 Perencanaan Perusahaan Untuk Pelanggan Industri dan Rumah Sakit

Senin, 20 April 2009											Jarak	Total	Utilitas	Average
DEPOT	PMG	ROM	ALG	DEPOT							56.97	195.3579	56.67%	74.26%
DEPOT	RSBA	PLMB	HGC	MMS	SLD	RSSA	DEPOT				97.42		88.33%	
DEPOT	ALG	RSHT	DEPOT								40.97		77.78%	
Selasa, 21 April 2009														
DEPOT	PLMB	INC	HW	DEPOT							48.80	238.7822	28.33%	70.19%
DEPOT	PMG	URMI	LCI	GMW	ALG	DEPOT					52.13		90.00%	
DEPOT	BUT	RSOM	RSEH	RSSA	MMS	RSBA	TRI	RSHT	DEPOT		137.84		92.22%	
Rabu, 22 April 2009														
DEPOT	RSHO	MLC	RSEH	GSG	SM	DEPOT					132.58407	279.6637	78.33%	89.44%
DEPOT	SAK	RSHT	ALG	PMG	GMW	LCI	DEPOT				78.81		100.00%	
DEPOT	SPP	DEPOT									68.27		90.00%	
Kamis, 23 April 2009														
DEPOT	HGC	INC	HW	SS	DEPOT						43.65	167.3453	86.67%	82.96%
DEPOT	SAK	RSHT	ALG	PMG	GMW	LCI	DEPOT				62.28		100.00%	
DEPOT	SPP	DEPOT									61.41		62.22%	
Jumat, 24 April 2009														
DEPOT	PLMB	SM	RSBA	DEPOT							126.07	329.3239	98.33%	80.74%
DEPOT	GSG	PMG	SLD	URMI	ALG	DEPOT					104.93		98.33%	
DEPOT	RSOM	RSEH	SM	MLC	DEPOT						98.32		45.56%	
												1210.4730		79.52%

(Sumber: Anandita, 2009, telah diolah)

Tabel 3.23 Solusi *Differential Evolution* Untuk Pelanggan Industri dan Rumah Sakit

Senin, 20 April 2009										Jarak	Total	Utilitas	Average	
DEPOT	ALG	SLD	RSSA	DEPOT						35.90	186.0882	63.33%	69.63%	
DEPOT	RSOM	PMG	DEPOT							38.98		40.00%		
DEPOT	RSHT	MMS	ALG	PLMB	HGC	RSBA	DEPOT			111.21		105.56%		
Selasa, 21 April 2009														
DEPOT	PLMB	INC	HW	DEPOT						48.80	238.7822	28.33%	70.19%	
DEPOT	PMG	URMI	LCI	GMW	ALG	DEPOT				52.13		90.00%		
DEPOT	BUT	RSOM	RSEH	RSSA	MMS	RSBA	TRI	RSHT	DEPOT	137.84		92.22%		
Rabu, 22 April 2009														
DEPOT	MMS	GSG	SS	INTC	RST	DEPOT				62.69	245.3477	96.67%	88.15%	
DEPOT	SM	RSEH	MLC	TRI	DEPOT					92.09		70.00%		
DEPOT	ALG	SLD	RSHO	HGC	PLMB	PMG	DEPOT			90.56		97.78%		
Kamis, 23 April 2009														
DEPOT	HGC	PMG	DEPOT							45.94	248.1167	75.00%	78.89%	
DEPOT	INC	SS	HW	RSSA	RSHT	GMW	DEPOT			97.69		75.00%		
DEPOT	SPP	ALG	LCI	DEPOT						104.48		86.67%		
Jumat, 24 April 2009														
DEPOT	MLC	SLD	DEPOT							46.10	213.9062	33.33%	69.81%	
DEPOT	PLMB	GSG	RSBA	DEPOT						61.38		98.33%		
DEPOT	RSEH	RSOM	SM	URMI	ALG	PMG	DEPOT			106.43		77.78%		
											1132.2410		75.33%	

(Sumber: Anandita, 2009, telah diolah)

Tabel 3.24 Perbandingan untuk Pelanggan *Outlet*

	Perencanaan Perusahaan	Solusi <i>Differential Evolution</i>	Selisih (%)
Jarak (km)	750.7623	835.1930	-11.25%
Utilitas (%)	91.00%	90.75%	-0.25%
Biaya (Rp)	675,686.03	751,673.66	-11.25%

(Sumber: Anandita, 2009, telah diolah)

Tabel 3.25 Perbandingan untuk Pelanggan Industri dan Rumah Sakit

	Perencanaan Perusahaan	Solusi <i>Differential Evolution</i>	Selisih (%)
Jarak (km)	1210.4730	1132.2410	6.46%
Utilitas (%)	79.52%	75.33%	-4.19%
Biaya (Rp)	1,089,425.72	1,019,016.93	6.46%

(Sumber: Anandita, 2009, telah diolah)

3.4 Permasalahan Keempat, VRP pada Kasus Industri Pengemasan

Permasalahan VRP keempat yang akan diselesaikan menggunakan algoritma ACO adalah penelitian Jarnawi pada tahun 2005 dengan judul “Penggunaan Metode *Savings* dalam Penyelesaian VRP Untuk Peningkatan Efisiensi Pengiriman Barang di PT. SM” mengenai penyelesaian VRP dengan menggunakan pendekatan *Savings* pada kegiatan distribusi PT. SM yang bergerak dalam industri pengemasan yang berlokasi di Cikarang, Jawa Barat. (Jarnawi, 2005).

VRP pada perusahaan pengemasan ini adalah VRP dengan keterbatasan kapasitas dan time windows atau biasa disebut CVRP-TW (*Capacitated Vehicle Routing Problem – Time Windows*) dalam klasifikasi VRP dengan kapasitas kendaraan lebih dari satu jenis (*multi capacity*). Batasan waktu dalam penelitian ini adalah kegiatan distribusi PT. SM pada tanggal 20 Oktober 2004 – 26 Oktober 2004.

3.4.1 Data yang dibutuhkan

Data yang dibutuhkan untuk penelitian ini adalah informasi lokasi antar pelanggan dalam bentuk matriks jarak, *time windows*, *service time*, kapasitas kendaraan, kecepatan kendaraan, biaya, permintaan perusahaan dalam batasan waktu penelitian, rute perencanaan distribusi oleh perusahaan, solusi *tabu search* pada VRP ini dan perbandingan kualitas solusi *tabu search* dengan perencanaan perusahaan.

3.4.1.1 Matriks Jarak

Jumlah tujuan yang akan dikunjungi pada penelitian ini adalah sebanyak 227 tujuan. Penghitungan jarak antar lokasi diukur berdasarkan koordinat X dan Y semua lokasi. Sistem koordinat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *simple linear grid* dimana besar *grid* adalah 1 cm. Skala yang digunakan adalah 1:70.000. Dengan perhitungan jarak bersatuan kilometer, maka skala yang digunakan adalah $70,000/100,000$ atau 0.7. Nilai *circuitry factor* atau rata-rata perbandingan antara jarak pada peta berdasarkan skala dan jarak garis lurus pada penelitian ini adalah 1.27. Dengan demikian maka didapatkan faktor skala sebesar 0.889 (0.7×1.27). Faktor skala ini berlaku sama untuk faktor skala horizontal dan vertikal karena sistem

koordinat yang digunakan adalah *simple linear grid* (Jarnawi, 2005). Matriks jarak antar lokasi dijelaskan pada Lampiran 5.

3.4.1.2 Time Windows, Service Time, Kecepatan Kendaraan, Kapasitas Kendaraan dan Biaya

Sistem penjadwalan pengiriman PT. SM diperkirakan oleh seorang manajer produksi yang merangkap menjadi manajer logistik. Waktu *loading* di depot adalah waktu untuk pengecekan barang untuk dimuat di kendaraan berdasarkan kedekatan titik-titik pemberhentian, pemberian surat jalan ke *security* perusahaan dan pemberian informasi daerah yang akan dilalui oleh kendaraan dari manajer produksi ke pengemudi. Waktu *loading* yang ditetapkan pada penelitian ini adalah 30 menit berdasarkan rata-rata waktu *loading* di depot pada waktu penelitian dan berlaku untuk semua jenis kendaraan. Biasanya kegiatan pengiriman dimulai pukul 08.30 dan selesai pada pukul 16.00 (Jarnawi, 2005).

Service time pada penelitian ini adalah waktu *unloading* pada saat tiba di lokasi konsumen yang dimulai dari sejak kendaraan datang, rata-rata waktu tunggu, proses penyerahan dan pengecekan barang dan pengurusan administrasi. Waktu *unloading* setiap konsumen dipengaruhi oleh lebar *dock* yang dimiliki konsumen, jumlah pekerja yang dimiliki konsumen untuk membongkar barang, kecepatan pelayanan dan prosedur yang dimiliki konsumen dalam menerima barang. *Time windows* dan *service time* setiap konsumen dapat dilihat pada Tabel 3.30 diikuti dengan informasi permintaan untuk setiap konsumen dan zona kecepatan setiap konsumen.

Kecepatan yang digunakan pada penelitian ini adalah zona kecepatan yang dibagi menjadi 14 zona kecepatan yang dapat dilihat pada Tabel 3.26. Sedangkan kecepatan km/jam dari zona asal ke zona tujuan dapat dilihat pada Tabel 3.27.

Tabel 3.26 Zona Kecepatan Permasalahan Keempat

Zona	Wilayah	Zona	Wilayah
1	Pulogadung-Rawamangun-Klender-Penggilingan	8	Keb.Lama-Fatmawati-Cinere-Pasar Minggu-Pejaten-Tebet
2	Tanjung Priuk-Koja-Cilincing	9	Kramat Jati-Pondok Gede-Halim-Jatiwaringin
3	Sunter-Kelapa Gading-Tipar Cakung	10	Kampung Rambutan-Ciracas-Cijantung-Cibubur-Cimanggis-Pasar Rebo-Cipayung
4	Pluit-Ancol-Kapuk Muara-Glodok	11	Depok-Pancoran Mas
5	Grogol-Kedoya-Kebun Jeruk-Meruya-Cengkareng-Kalideres-Kosambi	12	Bekasi
6	Sawah Besar-Menteng-Hambir-Tanah Abang-Senen-Gunung Sahari-Roxy-Manggarai-Slipi	13	Tangerang
7	Jatinegara	14	Bogor

(Sumber: Jarnawi, 2005)

Tabel 3.27 Kecepatan Zona Asal ke Zona Tujuan

Zona Asal	Zona Tujuan	Kecepatan (km/jam)	Zona Asal	Zona Tujuan	Kecepatan (km/jam)	Zona Asal	Zona Tujuan	Kecepatan (km/jam)
1	1	10	3	3	15	8	8	15
	2	22.5		4	32		9	36
	3	20.57		6	20		10	20
	4	24		12	45		11	19
	5	20.4	4	4	15	9	9	15
	6	16		5	13.3		10	13.5
	7	16		6	13.3		12	48
	8	16	5	5	15	10	10	15
	9	14.4		6	14.4		11	15
	10	22		8	22	11	11	15
	11	21	6	6	10		12	27
	12	31.2		7	18	12	12	25
	13	24		8	15		13	39
	14	21.5	7	7	5	13	14	52
2	2	10		8	17		13	25
	3	45		9	19.5	14	25	
	4	15	14	14	20			

(Sumber: Jarnawi, 2005)

Kendaraan yang digunakan untuk melakukan pengiriman adalah kendaraan box sebanyak 5 kendaraan. Karena ukuran produk yang berbeda-beda, kapasitas muatan yang akan dipakai diberikan *allowance* 30% dari total kapasitas kendaraan. Tabel 3.28 menjelaskan spesifikasi muatan yang digunakan.

Tabel 3.28 Spesifikasi Kendaraan PT. SM

No	Jenis Kendaraan	Ukuran (m)			Kapasitas (m ³)	Kapasitas (70%)	Jumlah
		Panjang	Lebar	Tinggi			
1	Daihatsu	2.8	1.6	1.5	6.72	4.704	1
2	Isuzu	2.8	1.6	1.5	6.72	4.704	1
3	Suzuki Carry	2.1	1.2	1.4	3.528	2.4696	2
4	Kijang Terbuka	1.5	1.4	0.5	1.05	0.735	1

(Sumber: Jarnawi, 2005)

Biaya yang digunakan pada penelitian adalah biaya yang dipakai perusahaan dalam kegiatan distribusi setiap hari. Biaya-biaya yang digunakan adalah sebagai berikut.

- Biaya bahan bakar, Rp. 300/km
- Biaya pengemudi Rp. 72.116/ hari
- Biaya lembur, Rp. 10.838/ jam

Jam kerja pengemudi yang ditetapkan perusahaan adalah jam 08.00-16.00 untuk hari Senin-Jumat dan 08.00-13.00 untuk hari Sabtu. Waktu kerja di luar waktu kerja tersebut disebut waktu lembur dan diberlakukan biaya lembur.

3.4.1.3 Permintaan

Produk yang didistribusikan oleh PT. SM adalah produk-produk minuman serbuk dan perangkat makan seperti sedotan dan tusuk gigi. Produk-produk ini dikemas dalam kardus dengan ukuran yang berdeda-beda. Pada penelitian ini, produk yang termasuk dalam distribusi sebanyak 15 macam dengan 3 jenis ukuran kardus. Volume masing-masing kardus dapat dilihat pada Tabel 3.29.

Tabel 3.29 Volume Kardus PT. SM

Tipe Kardus	Ukuran (cm)	Volume (m³)	Jumlah Produk
1	250 x 450 x 355	0.040	3500
2	450 x 450 x 358	0.072	6000
3	450 x 450 x 540	0.109	8000

(Sumber: Jarnawi, 2005)

Permintaan konsumen diukur dalam satuan m³ yang dimuat dalam kardus. Permintaan konsumen pada tanggal 20 Oktober 2004 – 26 Oktober 2004 dapat dilihat pada Tabel 3.30

Tabel 3.30 Permintaan Konsumen PT. SM

Rabu, 20 Oktober 2004						
No	Tujuan	Permintaan	Zona	Time	Time	Unloading
1	Sheraton Media	0.0307	3	09.00-16.00		30
2	Sierad Pangan	0.7370	8	09.30-12.00	13.00-16.00	30
3	Sierad Pangan Kebayoran	0.3685	8	08.00-16.00		15
4	Solas Restoran	0.0921	8	09.30-12.00	13.00-16.00	30
5	Star Bucks	2.6410	6	10.00-13.00	14.00-17.00	30
6	Sun Lake Hotel	0.4576	3	09.30-13.30	14.30-16.00	60
7	Ta Chia	0.6142	3	10.30-17.00		60
8	Tamani Hotel Petamburan	1.4740	6	09.00-17.00		30
9	Tamnak Thai Menteng	0.0768	6	09.00-16.00		40
10	Tee Box Café	0.2764	6	08.00-16.00		30
11	The Acacia	0.8660	6	09.00-16.00		60
12	The Park Lane	0.1996	6	09.00-16.00		30
13	Tony Roma's Panin	0.2580	6	09.00-12.00	13.00-17.00	30
14	Wine Lange dan Restoran	0.0676	6	09.00-16.00		30
Kamis, 21 Oktober 2004						
1	Kemang Hotel	0.4545	6	10.00-16.00		60
2	Kentucky FC	0.4821	6	10.00-16.00		40
3	Kiki Catering	0.1843	7	09.00-12.00	13.00-17.00	30
4	Lido Likes Hotel	0.3624	13	09.00-16.00		30
5	Lion Air	0.8199	13	10.00-12.00	13.00-17.00	30
6	Luti Rasa	0.3224	8	09.00-16.00		30
7	Mandai Prima Angkasa C	5.0209	4	10.00-13.00	14.00-17.00	30
8	Mandarin Hotel	0.2211	6	09.30-12.00	13.00-16.00	60
Jumat, 22 Oktober 2004						
1	Graha Menteng	0.3992	6	08.00-16.00		30
2	Gran Alia Cikini	0.2150	6	09.00-12.00	13.00-16.00	25

3	Grand Hyatt Hotel	0.5374	6	09.00-16.00		60
4	Gran Melia Hotel	1.1669	6	09.00-16.00		60
5	Hazara Best	0.1290	6	09.00-12.00	13.00-16.00	30
6	Hotel Borobudur	0.8107	6	09.00-16.00		60
7	Hotel Bumi Karsa	1.9040	6	10.00-12.00	13.00-17.00	60
8	Hotel Hilton	1.5600	6	10.00-13.00	13.00-16.00	60
9	Hotel Santika	1.1669	6	09.00-16.00		60
Sabtu, 23 Oktober 2004						
1	Lembah Hijau	0.1228	8	09.00-16.00		15
2	Makro Ciputat	0.9827	6	08.00-16.00		40
3	Makro Pasar Rebo	1.7197	10	09.30-12.00	13.00-16.00	30
4	Marina Village	0.0921	6	09.30-13.30	14.30-16.00	15
5	McDonalds	0.2641	1	09.30-13.30	14.30-16.00	30
6	Melawai Hotel	0.1658	6	09.00-16.00		60
7	Menara Peninsula	1.4986	6	09.00-12.00	13.00-16.00	30
8	Menteng Hotel	0.1535	6	09.00-16.00		60
9	Mulia Hotel	2.6103	6	10.00-16.00		30
Senin, 25 Oktober 2004						
1	Ta Chia	0.6142	3	10.30-17.00		60
2	Tamani Hotel Petamburan	1.4740	6	09.00-17.00		30
3	Texas FC	4.0382	8	09.00-12.00	13.00-16.00	30
4	Thai Express Cilandak	0.0768	8	09.00-16.00		15
5	Thai Express Indon	0.0921	5	09.00-12.00	13.00-17.00	30
6	Thai Express Kelapa Gading	0.2887	3	09.00-16.00		30
7	Tony Roma's Panin	0.2580	6	09.00-12.00	13.00-17.00	30
8	Wisma 46 Kota	0.1228	6	09.00-16.00		60
Selasa, 26 Oktober 2004						
1	Boga Makmur Mandiri	0.1535	6	09.00-16.00		30
2	Bukit Indah	0.0891	8	09.30-12.00	13.00-16.00	30
3	Café Roti	0.0307	6	09.30-12.00		30
4	Cahaya Makmur	0.3470	6	09.30-13.30	14.30-16.00	15
5	Cass Well	0.1351	6	09.30-13.30	14.30-16.00	30
6	Cempaka Hotel	0.4084	3	09.00-16.00		60
7	CFC	0.7493	6	08.00-16.00		60
8	ChaiChai Salon	0.0307	6	09.00-12.00	13.00-16.00	30
9	Citra Raya	1.0441	3	09.00-16.00		30
10	Country Style	0.2150	5	10.00-16.00		30
11	Crown Plaza Hotel	0.7677	6	10.00-16.00		60
12	Crystal Jade Lamian	0.0307	6	10.00-16.00		60
13	Dunkin Donuts	0.3255	6	10.00-12.00	13.00-17.00	30
14	Dussit Mangga Dua Hotel	0.7984	3	10.00-13.00	13.00-16.00	60
15	Eljohn Putra Sriwijaya	0.3931	4	09.00-16.00		30

(Sumber: Jarnawi, 2005)

3.4.1.4 Solusi *Savings*

Algoritma *savings* digunakan untuk menyelesaikan permasalahan VRP pada PT. SM ini. Jarak dan utilitas hasil solusi dengan algoritma *savings* ini ternyata lebih baik dibandingkan dengan perencanaan perusahaan. Rute perencanaan perusahaan dan solusi menggunakan algoritma *savings* dapat dilihat pada Tabel 3.31 dan Tabel 3.32. Nilai jarak yang didapat dikalikan dengan circuitry factor sebesar 0.889 untuk mendapatkan jarak sebenarnya. Perbandingan hasil solusi algoritma *savings* dan perencanaan perusahaan dapat dilihat pada Tabel 3.33.

Tabel 3.31 Rute Perencanaan Perusahaan Permasalahan Keempat

Rabu, 20 Oktober 2004							Jarak	Total	Utilitas	Average
Depot	Star Bucks	Tamani Hotel Petamburan	Tamnak Thai Menteng	Tee Box Café	Depot		49.8511	191.1427	46.70%	52.05%
Depot	Sierad Pangan	Sierad Pangan Kebayoran	Solas Restoran	Depot			43.3234		73.20%	
Depot	Sheraton Media	Sun Lake Hotel	Depot				33.2781		2.60%	
Depot	The Acacia	The Park Lane	Tony Roma's Panin	Wine Lange dan Restoran	Ta Chia	Depot	64.6901		85.70%	
Kamis, 21 Oktober 2004										
Depot	Kemang Hotel	Kentucky FC	Mandarin Hotel	Depot			40.5390	204.3234	24.60%	31.30%
Depot	Kiki Catering	Luti Rasa	Mandai Prima Angkasa C	Depot			62.7909		21.40%	
Depot	Lido Likes Hotel	Lion Air	Depot				100.9935		47.90%	
Jumat, 22 Oktober 2004										
Depot	Graha Menteng	Gran Alia Cikini	Grand Hyatt Hotel	Gran Melia Hotel	Hazara Best	Hotel Borobudu	46.8312	83.3303	69.26%	83.86%
Depot	Hotel Bumi Karsa	Hotel Hilton	Hotel Santika	Depot			36.4991		98.45%	
Sabtu, 23 Oktober 2004										
Depot	Menara Peninsula	Makro Ciputat	Melawai Hotel	Menteng Hotel	Depot		62.4086	138.6085	59.54%	56.21%
Depot	McDonalds	Marina Village	Depot				28.9790		14.42%	
Depot	Mulia Hotel	Lembah Hijau	Makro Pasar Rebo	Depot			47.2209		94.66%	
Senin, 25 Oktober 2004										
Depot	Ta Chia	Thai Express Kelapa Gading	Depot				37.9871	149.9745	19.19%	27.27%
Depot	Tamani Hotel Petamburan	Tony Roma's Panin	Wisma 46 Kota	Depot			44.6310		39.43%	
Depot	Thai Express Indon	Thai Express Cilandak	Texas FC	Depot			67.3564		23.20%	

Selasa, 26 Oktober 2004													
Depot	Boga Makmur Mandiri	Café Roti	Cahaya Makmur	Cass Well	CFC	Depot				55.6333	212.8995	87.20%	53.48%
Depot	Country Style	Eljohn Putra Sriwijaya	Bukit Indah	Depot						66.0501		71.80%	
Depot	ChaiChai Salon	Crown Plaza Hotel	Crystal Jade Lamian	Dunkin Donuts	Depot					52.1641		44.40%	
Depot	Cempaka Hotel	Citra Raya	Dussit	Depot						39.0520		10.50%	
										980.2789		50.69%	
										Circuity Factor			0.889
													871.4679

(Sumber: Jarnawi, 2005)

Tabel 3.32 Solusi Savings Permasalahan Keempat

Rabu, 20 Oktober 2004										Jarak	Total	Utilitas	Average
Depot	Sun Lake Hotel	Ta Chia	The Acacia	Tony Roma's Panin	Sheraton Media	Depot				42.7825	116.7662	47.33%	73.27%
Depot	Sierad Pangan	Star Bucks	Wine Lange dan Restoran	Tannak Thai Menteng	Depot					30.9367		74.88%	
Depot	The Park Lane	Tamani Hotel Petamburan	Tee Box Café	Solas Restoran	Sierad Pangan Kebayoran	Depot				43.0470		97.61%	
Kamis, 21 Oktober 2004													
Depot	Kiki Catering	Kemang Hotel	Luti Rasa	Mandai Prima Angkasa C	Mandarin Hotel	Kentucky FC	Depot			67.7170	168.7105	46%	35.57%
Depot	Lion Air	Lido Likes Hotel	Depot							100.9935		25.13%	
Jumat, 22 Oktober 2004													
Depot	Grand Hyatt Hotel	Hotel Hilton	Graha Menteng	Hotel Santika	Hazara Best	Hotel Borobudur	Depot			39.8401	71.4054	97.86%	83.86%
Depot	Gran Melia Hotel	Hotel Bumi Karsa	Gran Alia Cikini	Depot						31.5653		69.85%	
Sabtu, 23 Oktober 2004													
Depot	McDonalds	Mulia Hotel	Menara Peninsula	Marina Village	Menteng Hotel	Depot				43.9673	95.9338	98.18%	80.88%
Depot	Makro Pasar Rebo	Lembah Hijau	Makro Ciputat	Melawai Hotel	Depot					51.9665		63.58%	
Senin, 25 Oktober 2004													
Depot	Thai Express Kelapa Gading	Texas FC	Thai Express Ind	Tony Roma's Panin	Ta Chia	Thai express Cilandak	Tamani Hotel Petamburan	Wisma 46 Kota	Depot	85.0476	85.0476	70.80%	70.80%
Selasa, 26 Oktober 2004													
Country Style	Cahaya Makmur	Eljohn Putra Sriwijaya	Dunkin Donuts	ChaiChai Salon	Dussit Mangga Dua Hotel	Depot				67.4844	122.889	61.82%	58.66%
Bukit indah	Crystal Jade Lamian	CFC	Cempaka Hotel	Citra raya	Depot					55.4046		55.49%	
										660.7525		67.17%	
										Circuity Factor			0.889
													587.4090

(Sumber: Jarnawi, 2005)

Tabel 3.33 Perbandingan Perencanaan Perusahaan dengan Solusi *Savings*

	Perencanaan Perusahaan	Solusi <i>Savings</i>	Selisih (%)
Jarak (km)	871.4679	587.4090	32.60%
Utilitas (%)	50.69%	67.17%	16.48%
Biaya (Rp)	348,929.40	317,117.00	9.12%

(Sumber: Jarnawi, 2005)

3.5 Permasalahan Kelima, VRP pada Kasus Distribusi Air

Permasalahan VRP kelima yang akan diselesaikan menggunakan algoritma ACO adalah penelitian Nuril Fajriya pada tahun 2006 dengan judul “Usulan Penjadwalan dan Rute Pengiriman Air Minum Menggunakan Model VRP dengan Metode Algoritma *Tabu Search* di Pusat Sumber Air (PSA) Ungaran, Semarang”. mengenai penyelesaian VRP dengan menggunakan pendekatan *Tabu Search* pada kegiatan distribusi air oleh PSA (Fajriya, 2006).

PSA adalah salah satu usaha kecil menengah di bidang suplai air bersih. PSA menyuplai air minum pengunungan ke beberapa pabrik dan depot air isi ulang yang berada di daerah Ungaran, Semarang, Kendal, Purwodadi, Kudus, Demak, Pati dan Rembang.

VRP pada perusahaan pengemasan ini adalah VRP dengan keterbatasan kapasitas dan time windows atau biasa disebut CVRP-TW (*Capacitated Vehicle Routing Problem – Time Windows*) dalam klasifikasi VRP. Batasan waktu dalam penelitian ini adalah kegiatan distribusi PT. SM pada tanggal 1 Februari 2006 – 28 Februari 2006.

3.5.1 Data yang dibutuhkan

Data yang dibutuhkan untuk penelitian ini adalah informasi lokasi antar pelanggan dalam bentuk matriks jarak, *time windows*, *service time*, kapasitas kendaraan, kecepatan kendaraan, biaya, permintaan perusahaan dalam batasan waktu penelitian, rute perencanaan distribusi oleh perusahaan, solusi *tabu search* pada VRP ini dan perbandingan kualitas solusi *tabu search* dengan perencanaan perusahaan.

3.5.1.1 Matriks Jarak

Jumlah tujuan yang akan dikunjungi pada penelitian ini adalah sebanyak 50 tujuan. Lokasi dari seluruh konsumen PSA dapat dilihat pada Tabel 3.34. Penghitungan jarak antar lokasi diukur secara langsung (Nuril, 2006). Matriks jarak antar lokasi dijelaskan pada Lampiran 6.

3.5.1.2 *Time Windows*, *Service Time*, Kecepatan Kendaraan, Kapasitas Kendaraan dan Biaya

Time windows setiap lokasi dapat dilihat pada Tabel 3.36. *Service time* dalam penelitian ini adalah waktu untuk memompa air ke dalam truk (*loading*) dan waktu untuk menurunkan muatan air ke konsumen (*unloading*). Waktu yang diperlukan untuk *unloading* mobil tangki dengan kapasitas 5000/liter adalah 45 menit. Dengan demikian kecepatan aliran air adalah 111 liter/ menit. Waktu ini menjadi *service time* pada penelitian ini dan berlaku di seluruh lokasi. Waktu kerja depot pada pukul 06.00-20.00 dan terbagi dua *shift*. Dengan demikian, waktu untuk melakukan kegiatan *loading* di depot PSA adalah mulai pukul 06.00.

Kapasitas kendaraan dengan tangki air yang digunakan oleh PSA pada saat penelitian adalah 5 KL. Kapasitas tangki ini dapat ditingkatkan menjadi 10 KL. Kendaraan yang tersedia adalah 10 buah. (Nuril, 2006).

Kecepatan kendaraan dalam penelitian ini menggunakan zona kecepatan rata-rata kendaraan yang berbeda-beda setiap daerahnya. Kecepatan pada satu daerah yang sama diasumsikan 60 km/jam. Zona kecepatan kendaraan setiap lokasi dapat dilihat pada Tabel 3.36. Kecepatan antar zona dalam km/jam dapat dilihat pada Tabel 3.35..

Tabel 3.34 *Time Windows*, Lokasi dan Zona Kecepatan Konsumen PSA

No	Konsumen	Time Windows	Lokasi	Zona Kecepatan
1	Airqu	06.00 - 20.00	Demak	Demak
2	Faqua	06.00 - 20.00	Tembalang, Semarang	Semarang Selatan
3	Al Ibadah	06.00 - 20.00	Kendal	Kendal
4	Arga	06.00 - 20.00	Kendal	Kendal
5	Arema	06.00 - 20.00	Gubug, Purwodadi	Purwodadi
6	Bening	06.00 - 20.00	Weleri, Kendal	Kendal
7	Tirta Agung	06.00 - 20.00	Sampang, Semarang	Semarang Barat
8	Tirta Satria	06.00 - 20.00	Purwodadi	Purwodadi
9	Pritaqua	06.00 - 20.00	Jatingaleh, Semarang	Semarang Selatan
10	Tirtaqua	06.00 - 20.00	Terboyo, Semarang	Semarang Timur
11	Tirta Ardi	06.00 - 20.00	Pati	Pati
12	Tirta Aji	06.00 - 20.00	Sebatengan, Unggaran	Unggaran
13	Garment	06.00 - 09.00	Karangjati, Unggaran	Unggaran
14	Giri Tirta	06.00 - 20.00	Ambarawa	Ambarawa
15	Masa Jaya	06.00 - 09.00	Pleburan, Semarang	Semarang Selatan
16	Tripelqua	06.00 - 20.00	Semarang Barat	Semarang Barat
17	Carmel	24 jam	Pati	Pati
18	Prima Tirta	06.00 - 20.00	Kaligawe, Semarang	Semarang Timur
19	Aga Tlogosari	06.00 - 16.00	Tlogosari, Semarang	Semarang Timur
20	Aga Hasanudin	06.00 - 16.00	Jln. Hasanudin, Semarang	Semarang Tengah
21	Aga Sampangan	06.00 - 16.00	Sampang, Semarang	Semarang Barat
22	Aga Pucang Gading	06.00 - 16.00	Semarang Tengah	Semarang Tengah
23	Aga Ngalian	06.00 - 16.00	Ngalian, Semarang	Semarang Barat
24	Asandalia	24 jam	Jepara	Jepara
25	VAL	06.00 - 20.00	Peterongan, Semarang	Semarang Selatan
26	Air Segar	06.00 - 20.00	Kendal	Kendal
27	Alami	06.00 - 20.00	Jl. Indraprasta, Semarang	Semarang Tengah
28	PT. Global	06.00 - 09.00	Karangawen, Unggaran	Ambarawa
29	TECH-PAC	06.00 - 09.00	Karangawen, Semarang	Ambarawa
30	Jabal	06.00 - 20.00	Purwodadi	Purwodadi
31	Zahra	24 jam	Jatingaleh, Semarang	Semarang Selatan
32	Aqita	06.00 - 20.00	Karangjati, Unggaran	Semarang Selatan
33	Nawa	24 jam	Demak	Demak
34	Aga Menara	06.00 - 16.00	Kudus	Kudus
35	Fresh	06.00 - 20.00	Tembalang, Semarang	Semarang Selatan
36	Tirta Tiara	06.00 - 20.00	Purwodadi	Purwodadi
37	Asa Arteri	06.00 - 16.00	Arteri Tlogosari, Semarang	Semarang Timur
38	Asa Juana	06.00 - 16.00	Juana	Pati

39	Qualita	06.00 - 16.00	Tlogosari, Semarang	Semarang Timur
40	Moyasini	24 jam	Rembang	Rembang
41	Aga Jati	06.00 - 16.00	Kudus	Kudus
42	Tirta Asri	06.00 - 20.00	Banyumanik, Semarang	Semarang Selatan
43	Tirta Mindo	06.00 - 20.00	Pandanaran	Semarang Tengah
44	Agus Tirta	06.00 - 20.00	Kendal	Kendal
45	Tirta Yoga	06.00 - 20.00	Semarang Timur	Semarang Timur
46	OXY Water	06.00 - 20.00	Kaligawe, Semarang	Semarang Timur
47	Anugrah Ilmu	06.00 - 09.00	Mojopahit, Semarang	Semarang Timur
48	Segar Alami	06.00 - 20.00	Tembalang, Semarang	Semarang Selatan
49	Zanqua	06.00 - 20.00	Arteri, Semarang	Semarang Timur
50	Nugraha Elektronik	06.00 - 09.00	Krapyak, Semarang Barat	Semarang Barat

(Sumber: Fajriya, 2006)

Tabel 3.35 Zona Kecepatan Permasalahan Kelima

Zona Asal	Zona Tujuan	Kecepatan (km/jam)	Zona Asal	Zona Tujuan	Kecepatan (km/jam)	Zona Asal	Zona Tujuan	Kecepatan (km/jam)	
Unggaran (DEPOT)	Unggaran	35	Semarang Selatan	Kendal	50	Semarang Tengah	Semarang Timur	35	
	Ambarawa	45		Semarang Barat	50		Demak	60	
	Semarang Selatan	40		Semarang Tengah	40		Purwodadi	50	
	Kendal	50		Semarang Timur	45		Kudus	60	
	Semarang Barat	50		Demak	60		Jepara	60	
	Semarang Tengah	45		Purwodadi	55		Pati	60	
	Semarang Timur	50		Kudus	60	Rembang	60		
	Demak	60		Jepara	60	Demak	60		
	Purwodadi	55		Pati	60	Purwodadi	55		
	Kudus	60		Rembang	60	Kudus	60		
	Jepara	60		Kendal	Semarang Barat	50	Jepara	60	
	Pati	60			Semarang Tengah	40	Pati	60	
	Rembang	60			Semarang Timur	35	Rembang	60	
Ambarawa	Semarang Selatan	40	Demak		60	Demak	Purwodadi	55	
	Kendal	50	Purwodadi		55		Kudus	60	
	Semarang Barat	50	Kudus		60		Jepara	60	
	Semarang Tengah	45	Jepara		60		Pati	60	
	Semarang Timur	50	Pati		60	Rembang	60		
	Demak	60	Rembang		60	Purwodadi	Kudus	60	
	Purwodadi	55	Semarang Barat		Semarang Tengah		40	Jepara	60
	Kudus	60			Semarang Timur		35	Pati	60
	Jepara	60			Demak	60	Rembang	60	
	Pati	60			Purwodadi	55	Kudus	Jepara	60
Rembang	60	Kudus		60	Pati	60			
Ambarawa	Semarang Selatan	40		Jepara	60	Rembang		60	
	Kendal	50		Pati	60	Jepara	Pati	60	
	Semarang Barat	50		Rembang	60		Rembang	60	
	Semarang Tengah	45		Semarang Barat	Semarang Tengah	40	Pati	Rembang	60
	Semarang Timur	50			Semarang Timur	35			
	Demak	60	Demak		60				
	Purwodadi	55	Purwodadi		55				
	Kudus	60	Kudus		60				
Jepara	60	Jepara	60						
Pati	60	Pati	60						
Rembang	60	Rembang	60						

(Sumber: Fajriya, 2006)

Biaya yang digunakan sebagai perbandingan adalah biaya yang diberlakukan perusahaan dan biaya yang dihitung kembali pada penelitian. Biaya pengiriman perusahaan dengan sistem yang lama adalah sebagai berikut.

- Biaya bahan bakar, Rp. 1333/ km
- Biaya ban mobil, Rp. 200/km
- Biaya pemeliharaan, Rp. 250/ km
- Biaya pengemudi, Rp. 400/ km

Dengan demikian biaya dengan sistem pengiriman lama adalah Rp. 2183/ km. Sedangkan biaya dengan pengiriman sistem yang baru adalah sebagai berikut.

- Biaya bahan bakar, Rp 1.363/ km
- Biaya ban mobil, Rp. 240/ km
- Biaya pemeliharaan, Rp. 250/ km
- Biaya pengemudi, Rp. 400/ km

Dengan demikian total biaya pengiriman dengan sistem yang baru adalah Rp. 2.253,1/ km. Perubahan biaya ini disebabkan penurunan batas maksimal penggunaan ban mobil dalam km karena penggunaan tangki dengan kapasitas 10 KL pada sistem pengiriman yang baru (Fajriya, 2006).

3.5.1.3 Permintaan

Berdasarkan jadwal pengiriman selama bulan Februari 2006, terdapat 7 pola pengiriman yang sama untuk beberapa hari, yaitu sebagai berikut.

- Pola pengiriman 1, tanggal 1, 13, 15 dan 27
- Pola pengiriman 2, tanggal 2, 16 dan 26
- Pola pengiriman 3, tanggal 3, 17 dan 25
- Pola pengiriman 4, tanggal 4, 12, 18 dan 28
- Pola pengiriman 5, tanggal 5, 8, 11, 19 dan 22
- Pola pengiriman 6, tanggal 6, 10, 14, 20 dan 24
- Pola pengiriman 7, tanggal 7, 9, 21 dan 23

Pengiriman ke konsumen PSA pada tanggal 1 Februari 2006 – 28 Februari 2006 dijelaskan pada Tabel 3.36.

Tabel 3.36 Pengiriman Permasalahan Kelima**1 Februari 2006**

Airqu	Arga	Bening	Tirta Agung	Tirtaqua	Tirta Aji
3214	2500	2500	3437.5	3125	3437.5
Garment	Giri Tirta	Masa Jaya	Prima Tirta	Aga Tlogosari	Aga Sampangan
3214	2857	3571	2500	2500	2500
Aga Pucang Gading	Aga Ngalian	Asandalia	VAL	Air Segar	Alami
2500	2916	3437.5	3437.5	2812.5	3750
PT. Global	TECH-PAC	Zahra	Aga Menara	Tirta Asri	Tirta Mindo
3214	5000	2916	3437.5	2083	3214
Agus Tirta	Tirta Yoga	OXY Water	Anugrah Ilmu	Segar Alami	Nugraha Elektronik
2083	2500	3125	5000	3437.5	5000

2 Februari 2006

Airqu	Faqua	Al Ibadah	Arema	Tirta Satria	Pirtaqua
3214	2500	3437.5	2083	2916	2083
Tirta Ardi	Garment	Giri Tirta	Masa Jaya	Tripelqua	Carmel
2916	3214	2857	3571	3750	3437.5
Aga Hasanudin	Asandalia	Air Segar	PT. Global	TECH-PAC	Jabal
2500	3437.5	2812.5	3214	5000	2916
Aqita	Nawa	Asa Arteri	Asa Juana	Qualita	Aga Jati
2916	3437.5	2500	2083	3125	2500
Tirta Mindo	OXY Water	Anugrah Ilmu	Zanqua	Nugraha Elektronik	
3214	3125	5000	2916	5000	

3 Februari 2006

Airqu	Arga	Bening	Tirta Agung	Tirtaqua	Tirta Aji
3214	2500	2500	3437.5	3125	3437.5
Garment	Giri Tirta	Masa Jaya	Prima Tirta	Aga Tlogosari	Aga Sampangan
3214	2857	3571	2500	2500	2500
Aga Pucang Gading	Aga Ngalian	VAL	Alami	PT. Global	TECH-PAC
2500	2916	3437.5	3750	3214	5000
Zahra	Aga Menara	Fresh	Tirta Asri	Tirta Mindo	Agus Tirta
2916	3437.5	2500	2083	3214	2083
Tirta Yoga	Anugrah Ilmu	Segar Alami	Nugraha Elektronik		
2500	5000	3437.5	5000		

4 Februari 2006

Airqu	Al Ibadah	Arema	Tirta Satria	Pirtaqua	Tirta Ardi
3214	3437.5	2083	2916	2083	2916
Garment	Giri Tirta	Masa Jaya	Carmel	Aga Hasanudin	Asandalia
3214	2857	3571	3437.5	2500	3437.5
Air Segar	PT. Global	TECH-PAC	Jabal	Aqita	Nawa
2812.5	3214	5000	2916	2916	3437.5
Tirta Tiara	Asa Arteri	Asa Juana	Qualita	Moyasini	Aga Jati
3750	2500	2083	3125	3750	2500
Tirta Mindo	OXY Water	Anugrah Ilmu	Zanqua	Nugraha Elektronik	
3214	3125	5000	2916	5000	

5 Februari 2006					
Airqu	Faqua	Arga	Bening	Tirta Agung	Tirtaqua
3214	2500	2500	2500	3437.5	3125
Tirta Aji	Garment	Giri Tirta	Masa Jaya	Tripelqua	Prima Tirta
3437.5	3214	2857	3571	3750	2500
Aga Tlogosari	Aga Sampangan	Aga Pucang Gading	Aga Ngalian	VAL	Alami
2500	2500	2500	2916	3437.5	3750
PT. Global	TECH-PAC	Zahra	Aga Menara	Tirta Asri	Tirta Mindo
3214	5000	2916	3437.5	2083	3214
Agus Tirta	Tirta Yoga	Anugrah Ilmu	Segar Alami	Nugraha Elektronik	
2083	2500	5000	3437.5	5000	

6 Februari 2006					
Airqu	Al Ibadah	Arema	Tirta Satria	Pritaqua	Tirta Ardi
3214	3437.5	2083	2916	2083	2916
Garment	Giri Tirta	Masa Jaya	Carmel	Aga Hasanudin	Asandalia
3214	2857	3571	3437.5	2500	3437.5
Air Segar	PT. Global	TECH-PAC	Jabal	Aqita	Nawa
2812.5	3214	5000	2916	2916	3437.5
Asa Arteri	Asa Juana	Qualita	Aga Jati	Tirta Mindo	OXY Water
2500	2083	3125	2500	3214	3125
Anugrah Ilmu	Zanqua	Nugraha Elektronik			
5000	2916	5000			

7 Februari 2006					
Airqu	Al Ibadah	Tirta Agung	Tirtaqua	Tirta Aji	Garment
3214	3437.5	3437.5	3125	3437.5	3214
Giri Tirta	Masa Jaya	VAL	Alami	PT. Global	TECH-PAC
2857	3571	3437.5	3750	3214	5000
Nawa	Aga Menara	Fresh	Tirta Tiara	Qualita	Moyasini
3437.5	3437.5	2500	3750	3125	3750
Tirta Mindo	Anugrah Ilmu	Segar Alami	Nugraha Elektronik		
3214	5000	3437.5	5000		

(Sumber: Fajriya, 2009)

3.5.1.4 Solusi Tabu Search

Algoritma *tabu search* digunakan untuk menyelesaikan permasalahan VRP pada distribusi PSA ini. Jarak dan utilitas hasil solusi dengan algoritma *tabu search* ini ternyata lebih baik dibandingkan dengan perencanaan perusahaan. Rute perencanaan perusahaan diberikan dalam data keseluruhan selama bulan Februari 2006. Solusi menggunakan algoritma *tabu search* pada tanggal 1 Februari 2006 – 7 Februari 2006 dapat dilihat pada Tabel 3.37.

Tabel 3.37 Solusi *Tabu Search* Permasalahan Kelima

1 Februari 2006					Jarak	Total	Utilitas	Average
Depot	Airqu	OXY Water	Zahra	Depot	62	933	92.55%	86.56%
Depot	Anugrah Ilmu	Prima Tirta	Aga Tlogosari	Depot	68		100.00%	
Depot	Bening	Arga	Nugraha Elektronik	Depot	124		100.00%	
Depot	Tirta Asri	Masa Jaya	Tirtaqua	Depot	49		87.79%	
Depot	Garment	Segar Alami	Depot		48		66.52%	
Depot	Air Segar	TECH-PAC	Depot		70		78.13%	
Depot	Tirta Aji	Giri Tirta	Depot		48		62.95%	
Depot	Tirta Agung	PT. Global	Agus Tirta	Depot	116		87.35%	
Depot	VAL	Aga Sampangan	Aga Ngalian	Depot	69		88.54%	
Depot	Tirta Mindo	A lami	Aga Pucang Gading	Depot	70		94.64%	
Depot	Asandalia	Aga Menara	Tirta Yoga	Depot	209		93.75%	
2 Februari 2006								
Depot	Carmel	Tirta Ardi	Airqu	Depot	176	1262	95.68%	83.34%
Depot	Anugrah Ilmu	Zanqua	Depot		55		79.16%	
Depot	Pritaqua	Masa Jaya	Garment	Depot	62		88.68%	
Depot	Asa Arteri	Qualita	Asandalia	Depot	203		90.63%	
Depot	Aqita	PT. Global	OXY Water	Depot	74		92.55%	
Depot	TECH-PAC	Giri Tirta	Depot		118		78.57%	
Depot	Jabal	Tirta Satria	Arema	Depot	159		79.15%	
Depot	Nugraha Elektronik	Tripelqua	Depot		53		87.50%	
Depot	Tirta Mindo	Aga Hasanudin	Depot		52		57.14%	
Depot	Air Segar	Faqua	Al Ibadah	Depot	106		87.50%	
Depot	Asa Juana	Aga Jati	Nawa	Depot	204		80.21%	
3 Februari 2006								
Depot	Fresh	Aga Tlogosari	Prima Tirta	Depot	63	750	75.00%	88.34%
Depot	Agus Tirta	Anugrah Ilmu	Zahra	Depot	101		99.99%	
Depot	Bening	Arga	Nugraha Elektronik	Depot	124		100.00%	
Depot	Tirta Asri	Segar Alami	Masa Jaya	Depot	45		90.92%	
Depot	Tirta Aji	Garment	Depot		20		66.52%	
Depot	TECH-PAC	Tirtaqua	Depot		70		81.25%	
Depot	VAL	PT. Global	Aga Ngalian	Depot	77		95.68%	
Depot	Tirta Agung	Aga Sampangan	Giri Tirta	Depot	80		87.95%	
Depot	Tirta Mindo	A lami	Aga Pucang Gading	Depot	70		94.64%	
Depot	Aga Menara	Airqu	Tirta Yoga	Depot	100		91.52%	
4 Februari 2006								
Depot	Asandalia	Airqu	Arema	Depot	245	1339	87.35%	84.48%
Depot	Anugrah Ilmu	Qualita	Depot		48		81.25%	
Depot	Asa Arteri	OXY Water	Zanqua	Depot	74		85.41%	
Depot	Nugraha Elektronik	Aga Hasanudin	Depot		56		75.00%	
Depot	Masa Jaya	Garment	Pritaqua	Depot	84		88.68%	
Depot	Jabal	Tirta Tiara	Tirta Satria	Depot	186		95.82%	
Depot	Aqita	Giri Tirta	Depot		66		57.73%	

Depot	Al Ibadah	Air Segar	PT. Global	Depot	116		94.64%	
Depot	TECH-PAC	Tirta Mindo	Depot		70		82.14%	
Depot	Tirta Ardi	Aga Jati	Nawa	Depot	144		88.54%	
Depot	Moyasini	Asa Juana	Carmel	Depot	250		92.71%	
5 Februari 2006								
Depot	Airqu	Tirtaqua	Zahra	Depot	57	846	92.55%	83.72%
Depot	Nugraha Elektronik	Tirta Yoga	Depot		46		75.00%	
Depot	Bening	Arga	Anugrah Ilmu	Depot	143		100.00%	
Depot	Tirta Asri	Masa Jaya	Tripelqua	Depot	54		94.04%	
Depot	Faqua	Agus Tirta	Depot		92		45.83%	
Depot	Segar Alami	TECH-PAC	Depot		76		84.38%	
Depot	Garment	Tirta Aji	Depot		20		66.52%	
Depot	VAL	Tirta Agung	Aga Sampangan	Depot	42		93.75%	
Depot	Tirta Mindo	PT. Global	Aga Ngalian	Depot	85		93.44%	
Depot	Giri Tirta	Alami	Aga Pucang Gading	Depot	116		91.07%	
Depot	Aga Menara	Aga Tlogosari	Prima Tirta	Depot	115		84.38%	
6 Februari 2006								
Depot	Carmel	Tirta Ardi	Airqu	Depot	176	1157	95.68%	85.43%
Depot	Pritaqua	Masa Jaya	Zanqua	Depot	62		85.70%	
Depot	Asa Arteri	Qualita	Garment	Depot	71		88.39%	
Depot	Aqita	PT. Global	OXY Water	Depot	74		92.55%	
Depot	TECH-PAC	Giri Tirta	Depot		118		78.57%	
Depot	Jabal	Tirta Satria	Arema	Depot	159		79.15%	
Depot	Tirta Mindo	Aga Hasanudin	Al Ibadah	Depot	82		91.52%	
Depot	Air Segar	Nawa	Depot		93		62.50%	
Depot	Asa Juana	Aga Jati	Asandalia	Depot	266		80.21%	
Depot	Anugrah Ilmu	Nugraha Elektronik	Depot		56		100.00%	
7 Februari 2006								
Depot	Nawa	Tirta Tiara	Depot		126	838	71.88%	78.35%
Depot	Fresh	VAL	PT. Global	Depot	56		91.52%	
Depot	Masa Jaya	Garment	Giri Tirta	Depot	90		96.42%	
Depot	Moyasini	Aga Menara	Depot		210		71.88%	
Depot	Nugraha Elektronik	Tirta Agung	Depot		43		84.38%	
Depot	Anugrah Ilmu	Qualita	Depot		48		81.25%	
Depot	TECH-PAC	Tirtaqua	Depot		70		81.25%	
Depot	Al Ibadah	Segar Alami	Depot		72		68.75%	
Depot	Tirta Mindo	Alami	Depot		52		69.64%	
Depot	Airqu	Tirta Aji	Depot		71		66.52%	

(Sumber: Fajriya, 2009)

Dari hasil solusi *tabu search* pada tanggal 1 Februari 2006 – 7 Februari 2006 ini, jarak pengiriman selama bulan Februari 2008 dapat dilihat pada Tabel 3.38

Tabel 3.38 Jarak Total Solusi *Tabu Search* Permasalahan Kelima

Tanggal	Jarak	Utilitas	Tanggal	Jarak	Utilitas
1	933	86.56%	15	933	86.56%
2	1262	83.34%	16	1262	83.34%
3	750	88.34%	17	750	88.34%
4	1339	84.48%	18	1339	84.48%
5	846	83.72%	19	846	83.72%
6	1157	85.43%	20	1157	85.43%
7	838	78.35%	21	838	78.35%
8	846	83.72%	22	846	83.72%
9	838	78.35%	23	838	78.35%
10	1157	85.43%	24	1157	83.72%
11	846	83.72%	25	750	88.34%
12	1339	84.48%	26	1262	83.34%
13	933	86.56%	27	933	86.56%
14	1157	85.43%	28	1339	84.48%
Total	28491	84.17%			

(Sumber: Fajriya, 2009, telah diolah)

Perbandingan solusi tabu search dengan perencanaan perusahaan dapat dilihat pada Tabel 3.39. Utilitas tidak dapat dibandingkan karena pada penelitian sebelumnya, utilitas perencanaan perusahaan tidak diperhitungkan.

Tabel 3.39 Perbandingan Perencanaan perusahaan dan Solusi *Tabu Search*

	Perencanaan Perusahaan	Solusi <i>Tabu Search</i>	Selisih (%)
Jarak (km)	32044.0000	28491.0000	11.09%
Biaya (Rp)	69,952,052.00	64,193,072.10	8.23%

(Sumber: Fajriya, 2009, telah diolah)

3.6 Permasalahan Keenam, VRP pada Kasus Distribusi Gas Nitrogen Cair

Permasalahan VRP keempat yang akan diselesaikan menggunakan algoritma ACO adalah penelitian Jajang Abdul Karim pada tahun 2005 dengan judul “Penerapan Algoritma *Tabu Search* pada *Vehicle Routing Problem* (Studi Kasus: Distribusi Gas Nitrogen Cair PT. X Plant Pulogadung)” mengenai penyelesaian VRP dengan menggunakan pendekatan *Tabu Search* pada kegiatan distribusi gas nitrogen cair sebuah perusahaan di daerah Pulogadung, Jakarta Timur. Penelitian yang dilakukan ini mengambil data dari penelitian Kartini TR pada tahun 2003 dengan judul “Usulan Penjadwalan Pengiriman Gas Nitrogen Cair yang Optimal Menggunakan Model VRP serta Penugasan Operator Mobil Tangki di PT.X”. (Karim, 2005)

VRP pada perusahaan agribisnis ini adalah VRP dengan keterbatasan kapasitas dan time windows atau biasa disebut CVRP-TW (*Capacitated Vehicle Routing Problem – Time Windows*) dalam klasifikasi VRP dengan kapasitas kendaraan yang digunakan lebih dari satu (*multi capacity*). Batasan waktu dalam penelitian ini tidak disebutkan dan akan hanya disebut Hari 1- Hari 31.

3.6.1 Data yang dibutuhkan

Data yang dibutuhkan untuk penelitian ini adalah informasi lokasi antar pelanggan dalam bentuk matriks jarak, *time windows*, *service time*, kapasitas kendaraan, kecepatan kendaraan, biaya, permintaan perusahaan dalam batasan waktu penelitian, rute perencanaan distribusi oleh perusahaan, solusi *tabu search* pada VRP ini dan perbandingan kualitas solusi *tabu search* dengan perencanaan perusahaan.

3.6.1.1 Matriks Jarak

Jumlah tujuan yang akan dikunjungi pada penelitian ini adalah sebanyak 47 tujuan. Penghitungan jarak diukur berdasarkan koordinat X dan Y semua lokasi. Koordinat X dan Y semua lokasi ditunjukkan pada Tabel 3.40. Matriks jarak antar lokasi dijelaskan pada Lampiran.

Tabel 3.40 Nama dan Koordinat XY Tujuan

No.	Tujuan	X_Coordinate	Y_Coordinate	No.	Tujuan	X_Coordinate	Y_Coordinate
1	DEPOT	36.54	27.65	25	BRANTA MULIA	35	5.57
2	BAYER	35.28	24.85	26	VOCSEL	34.6	5.17
3	SHARP YASONTA	36.68	26.46	27	SUMIRUBBER	134.82	-12.16
4	SINAR MDW	35.21	25.06	28	PIP	132.68	-7.6
5	SUZUKI	36.19	24.86	29	MATSUSHITA K	109,996	17.85
6	SUPER STEEL	37.87	27.44	30	BRIDGESTONE 2	118,556	17.85
7	BRIDGESTONE 1	41.79	25.76	31	INDORAMA	121.98	-15.58
8	ALTIKA MURNI	48.09	26.95	32	PERKASA H	200	-20
9	SANYO SPCL	77,896	23.56	33	CENTRAL GILLET	175	-80
10	YKK ZIPER 2	77,468	25.84	34	DKP	32.55	33.81
11	SUMIASIH	68,908	30.78	35	ANCOL PLANT	26.18	32.41
12	TOSUMMIT	82,176	21.28	36	SARPINDO	34.23	33.46
13	SHINTA N/SASILIA I.	82,376	21.48	37	SULINDAFIN	7.14	25.34
14	YASUFUKU	82,576	21.68	38	SUCACO	13.23	29.61
15	BINA NIAGA M	82,776	21.88	39	FILAMINDO SAKTI	2.1	25.9
16	MULIA GLASS	82,976	22.08	40	G. TUNGGAL PRAK.	2.2	26
17	TOKAI DHARMA	34.51	0.56	41	G. TUNGGAL TBK	2.5	26.3
18	NUTRICIA	34.71	0.66	42	PARDIC JAYA	2.7	26.5
19	FRISCHEN VLAG	34.91	0.76	43	PASIFIC IND.	-2.6397	27.72
20	ULTRINDO	35.11	0.86	44	ETERNAL BUANA	-2.8397	27.92
21	FOREMOST	35.31	0.96	45	IWWI	12.88	29.75
22	PFIZER	35.51	1.06	46	TUNAS SUMBER	-70	50
23	YASULOR	35.7	1.16	47	SARIDAHIN	-70.2	50.2
24	ELANGPERDANA	34.44	4.97	48	INTI EVER S	-75	75

(Sumber: Karim, 2005)

3.6.1.2 Time Windows, Service Time, Kecepatan Kendaraan, Kapasitas Kendaraan dan Biaya

Time windows pelanggan pada umumnya mulai dari jam 08.00-16.00, namun untuk pelanggan besar dapat menerima pengiriman 24 jam. Time windows keseluruhan pelanggan dapat dilihat pada Tabel 3.41.

Tabel 3.41 Time Windows Permasalahan Keenam

No.	Tujuan	Time Windows	No.	Tujuan	Time Windows
1	DEPOT		25	BRANTA MULIA	24 jam
2	BAYER	08.00 - 16.00	26	VOCSEL	08.00 - 16.00
3	SHARP YASONTA	08.00 - 16.00	27	SUMIRUBBER	24 jam
4	SINAR MDW	08.00 - 16.00	28	PIP	08.00 - 16.00
5	SUZUKI	08.00 - 16.00	29	MATSUSHITA K	24 jam

6	SUPER STEEL	08.00 - 16.00	30	BRIDGESTONE 2	24 jam
7	BRIDGESTONE 1	24 jam	31	INDORAMA	08.00 - 16.00
8	ALTIKA MURNI	08.00 - 16.00	32	PERKASA H	08.00 - 16.00
9	SANYO SPCL	08.00 - 16.00	33	CENTRAL GILLET	08.00 - 16.00
10	YKK ZIPER 2	08.00 - 16.00	34	DKP	08.00 - 16.00
11	SUMIASIH	08.00 - 16.00	35	ANCOL PLANT	24 jam
12	TOSUMMIT	24 jam	36	SARPINDO	08.00 - 16.00
13	SHINTA N/SASILIA I.	08.00 - 16.00	37	SULINDAFIN	08.00 - 16.00
14	YASUFUKU	08.00 - 16.00	38	SUCACO	08.00 - 16.00
15	BINA NIAGA M	08.00 - 16.00	39	FILAMINDO SAKTI	24 jam
16	MULIA GLASS	24 jam	40	G. TUNGGAL PRAK.	08.00 - 16.00
17	TOKAI DHARMA	24 jam	41	G. TUNGGAL TBK	24 jam
18	NUTRICIA	08.00 - 16.00	42	PARDIC JAYA	24 jam
19	FRISCHEN VLAG	08.00 - 16.00	43	PASIFIC IND.	08.00 - 16.00
20	ULTRINDO	08.00 - 16.00	44	ETERNAL BUANA	24 jam
21	FOREMOST	08.00 - 16.00	45	IWWI	08.00 - 16.00
22	PFIZER	08.00 - 16.00	46	TUNAS SUMBER	08.00 - 16.00
23	YASULOR	08.00 - 16.00	47	SARIDAHIN	08.00 - 16.00
24	ELANG PERDANA	24 jam	48	INTI EVER S	08.00 - 16.00

(Sumber: Karim, 2005)

Service time pada penelitian ini adalah waktu untuk *loading* dan *unloading* muatan dari depot ke truk dan dari truk ke konsumen yang dipengaruhi oleh jenis truk yang dipakai. *Service time* dapat dilihat pada Tabel 3.42 bersama dengan informasi kapasitas kendaraan dan biaya per km. Konsumen yang dapat dilewati truk dengan kapasitas 17.000 m³ dapat dilihat pada

Tabel 3.42 Spesifikasi Kendaraan Permasalahan Keenam

<i>Tankers</i>	Kapasitas (m ³)	<i>Loading/ Unloading</i> (min)	Biaya Pengiriman / km
Cryogenic Pioneer	5500	30	2157
Cryogenic Cryomax	7000	30	2157
Cryogenic CAM	9600	30	2157
Cryogenic SR 16000	10000	75	2157
Cryogenic Cryofab	12000	75	2619
Cryogenic M1 Eng 291	17000	75	2619
Cryogenic M1 Eng 292	17000	75	2619
Cryogenic ISO Tank	10000	75	2465

(Sumber: Karim, 2005)

Tabel 3.43 Konsumen yang Dapat Dilewati Tangker Besar

Konsumen yang bisa dilewati tangker besar		
ANCOL PLANT	BRIDGESTONE 2	PARDIC JAYA
BAYER	ELANG PERDANA	PIP
BINA NIAGA M	ETERNAL BUANA	SUMIRUBBER
BRIDGESTONE 1	MULIA GLASS	TOKAI DHARMA
		VOCSEL

(Sumber: Karim, 2005)

Kecepatan kendaraan dalam penelitian yang digunakan adalah kecepatan antar zona. Pembagian zona kecepatan antar konsumen dapat dilihat pada Tabel 3.44. Kecepatan antar zona dapat dilihat pada **Tabel 3.45**.

Tabel 3.44 Pembagian Zona Kecepatan

Zona	Area	Konsumen	Zona	Area	Konsumen
1	Pulogadung	BAYER	8	Purwakarta	INDORAMA
		SHARP YASONTA	9	Subang	PERKASA H
		SINAR MDW	10	Bandung	CENTRAL GILLET
		SUZUKI	11	Tanjung Priuk	DKP
		SUPER STEEL			SARPINDO
2	Pondok Ungu	BRIDGESTONE 1	12	Kaw. Ind. Ancol Barat	ANCOL PLANT
3	Cikarang	SANYO SPCL	13	Tangerang 1	SULINDAFIN
		YKK ZIPER 2	14	Daan Mogot	SUCACO
		TOSUMMIT			IWWI
		SHINTA N/SASILIA I.	15	Cikande	TUNAS SUMBER
		YASUFUKU			SARIDAHIN
		BINA NIAGA M	16	Suralaya	INTI EVER S
MULIA GLASS					
4	Cibitung	SUMIASIH	17	Tangerang 2	FILAMINDO SAKTI
5	Citeureup	ELANG PERDANA			G. TUNGGAL TBK
		VOCSEL			G. TUNGGAL PRAK.
		BRANTA MULIA	PARDIC JAYA		
6	Cikampek	SUMIRUBBER	18	Bekasi	ALTIKA MURNI
		PIP	19	Tangerang 3	PASIFIC IND.
7	Karawang	MATSUSHITA K			ETERNAL BUANA
		BRIDGESTONE 2			

(Sumber: Karim, 2005)

Tabel 3.45 Kecepatan Antar Zona

Zona Asal	Zona Tujuan	Kecepatan (km/jam)	Zona Asal	Zona Tujuan	Kecepatan (km/jam)
Pulogadung	Pulogadung	8	Pondok Ungu	Karawang	51.82
	Pondok Ungu	7		Tangerang 2	15
	Cikarang	41.33	Cikarang	Cikarang	2
	Cimanggis	36		Cikampek	55
	Citeureup	15		Purwakarta	29
	Cikampek	70.5		Tanjung Priuk	54
	Karawang	55	Cimanggis	Bekasi	21
	Purwakarta	42.33		Cimanggis	3
	Subang	75.33		Tanjung Priuk	19
	Bandung	38	Cikampek	Citeureup	10
	Tanjung Priuk	10		Cikampek	12
	Kaw. Ind. Ancol Barat	10	Karawang	Cibitung	25
	Tangerang 1	18.5	Tanjung Priuk	Tanjung Priuk	3
	Daan Mogot	15.5		Tangerang 3	22
	Cikande	58	Daan Mogot	Daan Mogot	6
	Suralaya	40.25		Tangerang 1	20
	Tangerang 2	15.67	Cikande	Cikande	4
	Cibitung	28.67		Tangerang 2	Tangerang 2
	Bekasi	15			
	Tangerang 3	26			

(Sumber: Karim, 2005)

3.6.1.3 Permintaan

Berdasarkan jadwal pengiriman selama 31 hari pada batasan penelitian ini, terdapat 16 pola pengiriman yang sama untuk beberapa hari, yang dijelaskan pada Tabel 3.46.

Tabel 3.46 Pola Pengiriman Permasalahan Keenam

Pola	Hari	Pola	Hari
1	1, 8,15, 22,29	9	11
2	2	10	12
3	3, 10, 17,31	11	13
4	4, 18	12	14, 21, 28
5	5, 19	13	24
6	6, 20	14	25
7	7	15	26
8	9, 16, 23, 30	16	27

(Sumber: Karim, 2005)

Permintaan distribusi gas nitrogen cair pada 31 hari batasan penelitian yang dibuat menjadi 16 pola pengiriman dapat dilihat pada Tabel 3.47.

Tabel 3.47 Pengiriman Permasalahan Keenam

Hari - 1								
Bayer	DKP	Frische Vlag	Nutricia	Sinar MDW	Super Steel	Suzuki	Ultrindo	Yasufuku
3165	686	3104	2364	1168	313	3279	1991	1400
Yasulor	PIP	Sumirubber						
552	4534	9750						
Hari - 2								
DKP	Indorama	Pasific Ind	Super Steel	Yasufuku	Sumirubber			
686	3143	3214	313	1400	9750			
Hari - 3								
Bina Niaga M	Bridgestone 1	Bridgestone 2	Pardic Jaya	Sumirubber	Vocsel	Ancol Plant	Ancol Plant	G. Tunggal Tbk
3573	6000	8500	9185	9750	513	17000	17000	12000
	DKP	IWWI	Pfizer	Sharp Y	Super Steel	Yasufuku		
	686	2194	345	1810	313	1400		
Hari - 4								
Branta Mulia	DKP	Foremost	Frische Vlag	Sinar MDW	Super Steel	Suzuki	Tosummit	Yasufuku
8142	686	1492	3104	1168	313	3279	7812	1400
	Yasulor	Elang P	Mulia Glass	Sumirubber				
	552	9772	16500	9750				
Hari - 5								
Bina Niaga M	Bridgestone 1	Sumirubber	Tokai Dama	Vocsel	DKP	Filamendo	Cajah T Prak	Sharp Y
3573	6000	9750	9527	513	686	13517	1735	1810
	Shinta N	Super Steel	Yasufuk	Gajah T Tbk				
	1887	313	1400	12000				
Hari - 6								
Branta Mulia	DKP	Matsushita	Pfizer	Sanyo	Sumiasih	Super Steel	Yasufuku	
8142	686	7598	545	2782	1854	313	1400	
	YKK Zipper 2	Ancol Plant	Ancol Plant	Ancol Plant	Bridgestone 2	Sumirubber		
	1913	17000	17000	5500	11500	9750		

Hari - 7								
Bina Niaga M	Bridgestone 1	Eternal Buana	Pardic Jaya	Sumirubber	Vocsel	DKP	Cajah T Tbk	IWWI
5806	7750	14096	9185	9750	834	686	12000	2194
	Sharp Y	Sucaco	Sulindafin	Super Steel	Yasufuku	Mulia Glass		
	2931	1400	1934	313	1400	17000		
Hari - 9								
DKP	Indorama	Super Steel	Yasufuku	Sumirubber				
686	3143	313	1400	9750				
Hari - 11								
Altika Murni	Branta Mulia	DKP	Foremost	Friesche Vlag	Sinar MDW	Super Steel	Suzuki	Yasufuku
961	8142	686	1492	3104	1168	313	3279	1400
	Yasulor	Elang P	Mulia Glass	Sumirubber				
	552	9772	16500	9750				
Hari - 12								
Bridgestone 1	DKP	Filamendo	Cajah T Prak	Cajah T Tbk	Sharp Y	Super Steel	Yasufuku	Depot
6000	686	13517	1735	12000	1810	313	1400	0
	Bina Niaga M	Sumirubber	Vocsel					
	3573	9750	513					
Hari - 13								
Branta Mulia	DKP	Matsushita	Pfizer	Saridahin	Sumiasih	Super Steel	Tunas Sumber	Yasufuku
8142	686	7598	545	3732	1854	313	2154	1400
	Ancol Plant	Ancol Plant	Ancol Plant	Bridgestone 2	Sumirubber			
	17000	17000	5500	11500	9750			
Hari - 14								
Bina Niaga M	Bridgestone 1	Eternal Buana	Pardic Jaya	Sumirubber	Vocsel	DKP	Cajah T Tbk	IWWI
5806	7750	14096	9185	9750	834	686	12000	2194
	Sharp Y	Sulindafin	Super Steel	Yasufuku	Mulia Glass			
	2931	1934	313	1400	17000			
Hari - 24								
Bina Niaga M	Bridgestone 1	Bridgestone 2	Pardic Jaya	Sumirubber	Vocsel	Ancol Plant	Ancol Plant	DKP
3573	6000	8500	9185	9750	513	17000	17000	686
	Cajah T Tbk	IWWI	Pfizer	Sarpindo	Sharp Y	Super Steel	Yasufuku	
	12000	2194	345	1400	1810	313	1400	
Hari - 25								
Branta Mulia	DKP	Foremost	Friesche Vlag	Inti Ever P	Sinar MDW	Super Steel	Suzuki	Yasufuku
8142	686	1492	3104	2401	1168	313	3279	1400
	Yasulor	Elang P	Mulia Glass	Sumirubber				
	552	9772	16500	9750				
Hari - 26								
Bridgestone 1	DKP	Filamendo	Cajah T Prak	Cajah T Tbk	Perkasa H	Sharp Y	Super Steel	Yasufuku
6000	686	13517	1735	12000	3984	1810	313	1400
	Depot	Bina Niaga M	Sumirubber	Vocsel				
	0	3573	9750	513				
Hari - 27								
Branta Mulia	Central Gillet	DKP	Matsushita	Pfizer	Sanyo	Sumiasih	Super Steel	Yasufuku
8142	1316	686	7598	545	2782	1854	313	1400
	Ancol Plant	Ancol Plant	Ancol Plant	Bridgestone 2	Sumirubber			
	17000	17000	5500	11500	9750			

(Sumber: Karim, 2005)

3.6.1.4 Solusi Tabu Search

Algoritma *tabu search* digunakan untuk menyelesaikan permasalahan VRP pada distribusi gas nitrogen ini. Jarak dan utilitas hasil solusi dengan algoritma *tabu search* ini ternyata lebih baik dibandingkan dengan perencanaan perusahaan. Rute hasil solusi menggunakan algoritma *tabu search* dapat dilihat pada Tabel 3.48. Rute perencanaan perusahaan tidak ditampilkan.

Tabel 3.48 Hasil Solusi *Tabu Search* Permasalahan Keenam

Hari	Solusi <i>Tabu Search</i>	Utilitas <i>Tabu Search</i>	Hari	Solusi <i>Tabu Search</i>	Utilitas <i>Tabu Search</i>
Hari - 1	385.7555131	71.78%	Hari - 17	770.9149304	80.33%
Hari - 2	490.7122268	79.26%	Hari - 18	564.7364944	92.25%
Hari - 3	770.9149304	80.33%	Hari - 19	523.6128114	85.95%
Hari - 4	564.7364944	92.25%	Hari - 20	802.191578	86.89%
Hari - 5	523.6128114	85.95%	Hari - 21	746.2936344	77.29%
Hari - 6	802.191578	86.89%	Hari - 22	385.7555131	71.78%
Hari - 7	745.9674709	86.68%	Hari - 23	423.1590038	65.26%
Hari - 8	385.7555131	71.78%	Hari - 24	770.9158672	81.25%
Hari - 9	423.1590038	65.26%	Hari - 25	809.4314409	69.62%
Hari - 10	770.9149304	80.33%	Hari - 26	854.8159712	75.21%
Hari - 11	564.5499204	76.33%	Hari - 27	1133.044341	72.72%
Hari - 12	514.2887676	66.72%	Hari - 28	746.2936344	77.29%
Hari - 13	998.2738555	83.90%	Hari - 29	385.7555131	71.78%
Hari - 14	746.2936344	77.29%	Hari - 30	423.1590038	65.26%
Hari - 15	385.7555131	71.78%	Hari - 31	770.9149304	80.33%
Hari - 16	423.1590038	65.26%	Total	19607.0358	77.26%

(Sumber: Karim, 2005)

BAB 4

PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS

Bab ini menjelaskan penyelesaian permasalahan VRP dengan menggunakan algoritma ACO dan analisis hasilnya. Penjelasan mengenai pembuatan algoritma ACO dibahas di awal yang dilanjutkan oleh verifikasi dan validasi program dan solusi permasalahan VRP yang ada dengan menggunakan algoritma ACO. Hasil solusi ACO akan dibandingkan dengan kualitas solusi pendekatan sebelumnya dan akan dibahas lebih detail pada bagian analisis bab ini.

4.1 Algoritma ACO

Algoritma ACO adalah salah satu metode *state-of-the-art* dalam penyelesaian permasalahan diskrit. *Vehicle routing problem*, salah satu permasalahan diskrit akan diselesaikan pada penelitian ini. Secara umum, proses perancangan algoritma ACO yaitu *ant based solution construction*, *pheromone update* dan *daemon action*. Proses perancangan ini telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

Perancangan algoritma dimulai dengan membangun solusi awal menggunakan *ant based solution construction*. Pada penyelesaian VRP, *ant based solution construction* akan menghasilkan komponen solusi yaitu rute distribusi berdasarkan probabilitas jalur dengan nilai *pheromone* tertinggi. Pada iterasi = 0, nilai *pheromone* semua alternatif tujuan adalah sama besar karena probabilitas semut *artificial* memilih tujuan pergerakan dianggap sama besar. Hal ini dijelaskan pada ilustrasi pergerakan semut di bab 2. Setelah semut *artificial* melakukan pergerakan, pemilihan solusi akan dipengaruhi oleh nilai *visibility* ($1/\text{nilai jarak}$), nilai α dan β . Output dari *ant based solution construction* adalah solusi awal untuk VRP yaitu rute distribusi. Hasil solusi awal ini diukur menjadi jarak solusi awal.

Proses berikutnya dalam perancangan algoritma ACO adalah *pheromone update*. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, nilai *pheromone* di awal nilainya sama besar untuk semua tujuan. Setelah pergerakan semut *artificial* dalam area pencarian dimulai, semut *artificial* mengevaporasi *pheromone* yang berakibat penambahan atau

pengurangan nilai pheromone pada setiap tujuan. Saat setiap iterasi selesai, nilai *pheromone* ini akan diupdate secara langsung sesuai dengan Persamaan. Proses *pheromone update* ini ditentukan oleh nilai *pheromone* pada proses sebelumnya, nilai parameter evaporasi *pheromone* ρ dan *quality function* (Δ_{ij}). Pada saat iterasi berjalan, nilai *pheromone* pada setiap jalur yang sudah sebelumnya dipilih sebagai solusi terbaik terus bertambah. Sebaliknya, nilai pheromone pada jalur yang tidak dipilih akan terus berkurang dan pada suatu saat akan menjadi konvergen menuju 0.

Setelah proses *pheromone update* pada setiap jalur di setiap iterasi, proses pemilihan solusi dengan probabilitas yang tinggi dilakukan lagi menggunakan proses *ant based solution construction* untuk mencari hasil solusi yang lebih baik dari hasil solusi *ant based solution construction* sebelumnya. Hasil solusi terbaik dalam suatu waktu komputasi akan digantikan oleh solusi lebih baik yang didapat kemudian. Hal ini dilakukan terus menerus sampai parameter iterasi maksimum yang ditentukan tercapai atau sampai batas waktu perhitungan algoritma yang telah ditentukan. Proses pencarian solusi dengan penggunaan memori pada nilai *pheromone* dari *ant based solution construction* sebelumnya ini akan menghasilkan solusi yang baik dengan menggunakan komponen yang baik. Cara kerja ACO ini dijelaskan pada Gambar 2.3 yang telah dibahas pada bab sebelumnya.

Secara keseluruhan, kelebihan dari algoritma ACO adalah proses pencarian solusi berdasarkan probabilitas terbesar dan penyimpanan memori solusi yang baik dari proses *pheromone update*. Algoritma ACO pada penelitian ini secara umum dijelaskan pada Gambar 4.1.

```

while jarak solusi terbaik belum didapat do
    ScheduleActivites
        AntBasedSolutionConstruction ( )
        PheromoneUpdate ( )
    endScheduleActivites
end while

```

Gambar 4.1 Algoritma ACO

4.2 Verifikasi dan Validasi Program

Algoritma ACO yang telah dirancang selanjutnya akan dipakai untuk penyelesaian permasalahan VRP. Sebelum digunakan untuk ke 6 permasalahan VRP ini, algoritma ACO diverifikasi dan divalidasi. Verifikasi merupakan tahapan untuk melihat kesesuaian antara model algoritma yang dibuat dengan konsep model yang diinginkan. Bila program dengan algoritma ini dapat berjalan sesuai dengan keinginan, maka program tersebut telah terverifikasi. Salah satu indikator yang dapat dilihat untuk membuktikannya adalah ketika dilakukan perubahan pada nilai parameter, *output* yang dihasilkan juga akan berubah.

Setelah program terverifikasi, maka selanjutnya perlu dilakukan validasi dengan tujuan untuk memastikan bahwa program tersebut menghasilkan *output* yang tepat. Indikatornya adalah ketika program dihadapkan pada suatu masalah, hasil perhitungannya bernilai sama dengan perhitungan manual dan memenuhi semua batasan permasalahan yang diberikan.

Verifikasi dilakukan pada permasalahan VRP 4 pada kegiatan distribusi hari pertama dengan perubahan parameter pada jumlah maksimum iterasi yang sama. Perubahan *output* saat konfigurasi parameter dirubah dapat dilihat pada tabel

Tabel 4.1 Konfigurasi Parameter untuk Verifikasi

Parameter	Nilai	
m	100	100
α	2	1
β	3	6
ρ	0.01	0.01
Mak. Iterasi	10,000	10000
Hasil Solusi	93.3365	95.3393

Validasi dilakukan dengan menggunakan parameter verifikasi yang pertama dengan hasil solusi 93.3365 km. Hasil solusi ini adalah kombinasi rute yaitu 1-4-5-11-9-15-10-12-14-2-8-7-1-13-3-6-1. Setelah dilakukan pengecekan, hasil solusi ini memenuhi batasan kapasitas kendaraan dan time windows setiap lokasi. Setelah

verifikasi selesai, program dapat dikatakan bisa dipakai. Validasi setiap *output* penyelesaian dalam memenuhi batasan kapasitas dan time windows dapat dilihat pada setiap solusi ACO terhadap penyelesaian VRP yang akan dibahas pada bagian berikutnya pada bab ini.

4.3 Pengolahan Data

Pengolahan data algoritma ACO untuk penyelesaian VRP ini menggunakan bantuan software MATLAB R2009b. Program dengan algoritma ACO yang telah dibuat dihitung menggunakan komputer dengan spesifikasi sebagai berikut.

<i>System Model</i>	: HP xw4600 Workstation
<i>Processor</i>	: Intel® Core™ 2 Duo CPU E 7500 @ 2.93 GHz (2 CPUs)
<i>Memory</i>	: 2048 MB RAM
<i>Display Device</i>	: NVIDIA Quadro FX 580
<i>Display Memory</i>	: 512.0 MB

4.3.1 Konfigurasi Parameter

Setiap pencarian solusi terbaik pada permasalahan VRP ditentukan dengan menentukan konfigurasi parameter di awal. Konfigurasi parameter yang tepat menentukan kualitas solusi ACO yang tepat. Konfigurasi parameter setiap permasalahan pada penelitian ini dicari dengan melakukan iterasi pendek (iterasi 10 kali) untuk kombinasi α dan β yang tepat dengan *range* nilai $\alpha = 1-9$ dan $\beta = 1-9$. Setelah didapatkan nilai α dan β terbaik, iterasi panjang dilakukan untuk mendapatkan solusi terbaik dari permasalahan VRP tersebut. Parameter lain yang digunakan dalam penelitian ini yang mempengaruhi kualitas solusi ACO adalah jumlah populasi semut (m) dan tingkat evaporasi *pheromone* (ρ). Selain itu, jumlah iterasi juga menentukan kualitas solusi ACO karena secara implisit, pada iterasi yang panjang, pencarian solusi dalam area pencarian semakin banyak. Parameter algoritma ACO pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Konfigurasi Parameter ACO

Parameter	Nilai
Jumlah populasi semut (m)	100
Hubungan antara informasi <i>pheromone</i> dan informasi heuristik (α)	1-9
Hubungan antara informasi <i>pheromone</i> dan informasi heuristik (β)	1-9
Tingkat evaporasi <i>pheromone</i> (ρ)	0.01
Maksimum Iterasi	1,000-2,000,000

4.4 Solusi Permasalahan VRP Pertama

Permasalahan VRP pertama yang akan diselesaikan dengan algoritma ACO adalah penelitian Arief Rakhmat Cahyadi pada tahun 2009 mengenai penyelesaian VRP menggunakan pendekatan *Tabu Search* pada sebuah perusahaan agribisnis PT. Saung Mirwan.

4.4.1 Konfigurasi Parameter

Konfigurasi parameter yang digunakan dalam penyelesaian permasalahan VRP yang pertama adalah sebagai berikut.

Tabel 4.3 Konfigurasi Parameter Permasalahan Pertama

	Hari-1	Hari-2	Hari-3	Hari-4	Hari-5	Hari-6	Hari-7
m	100	100	100	100	100	100	100
α	2	6	9	1	4	3	5
β	3	4	8	6	8	3	3
ρ	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mak. Iterasi	2,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000

Dari tabel konfigurasi parameter dapat dilihat bahwa iterasi yang dilakukan membutuhkan waktu yang cukup lama. Hal ini disebabkan fungsi tujuan untuk mendapatkan jarak yang lebih baik dari solusi sebelumnya tidak dapat didapatkan pada iterasi yang pendek.

4.4.2 Hasil Solusi ACO

Penyelesaian dengan menggunakan algoritma ACO ternyata memberikan solusi yang lebih baik dari pendekatan *tabu search* pada penelitian sebelumnya dalam bentuk jarak, utilitas dan biaya. Hasil dari solusi ACO untuk permasalahan 1 dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Solusi ACO Permasalahan VRP Pertama

Senin, 5 Januari 2009										Jarak	Total	Utilitas	Average
	O	PZK	MBP	GRK	GRS	GRG	GRM	GRL	JPG	157.56	469.4002	72.00%	76.89%
Waktu Tiba		5.16	5.39	5.49	6.02	6.17	6.28	6.94	7.07				
		O											
Waktu Tiba		8.50											
	O	MD	O							141.70		92.00%	
Waktu Tiba		5.34	7.19										
	O	GRP	DOP	PRN	CRL	GRC	O			170.14		66.67%	
Waktu Tiba		5.22	5.32	6.21	6.58	7.11	8.37						
Selasa, 6 Januari 2009													
	O	MPE	MPS	MPG	FMS	MPH	MPK	GRS	PZC	205.87	838.2083	98.67%	89.33%
Waktu Tiba		4.17	6.05	6.16	6.37	6.55	7.15	8.02	8.14				
		PZO	O										
Waktu Tiba		8.29	10.04										
	O	GRG	GRM	MPN	MDLJ	CRL	GRC	MPC	O	172.42		100.00%	
Waktu Tiba		5.27	5.39	6.09	6.34	7.11	7.24	7.34	9.00				
	O	DMF	PZK	PZS	CRH	MPL	MPR	O		222.53		100.00%	
Waktu Tiba		5.18	5.33	5.55	6.17	6.38	7.51	9.57					
	O	DOG	MD	JPG	FMG	DMA	O			138.63		98.67%	
Waktu Tiba		5.27	5.39	5.51	6.03	6.17	7.55						
	O	MPB	SMP	O						98.74		49.33%	
Waktu Tiba		4.53	5.25	6.32									
Rabu, 7 Januari 2009													
	O	MPE	MPL	CRH	GRS	GNL	MBP	PY	DMF	164.49	894.5363	98.67%	89.33%
Waktu Tiba		4.17	5.43	6.05	6.24	6.36	6.49	7.02	7.17				
		GRC	CRL	PZK	O								
Waktu Tiba		7.30	7.44	8.03	9.29								
	O	RCJ	PZM	GRG	GRM	MPQ	DMA	FMG	GRL	153.42		74.67%	
Waktu Tiba		5.15	5.40	5.52	6.03	6.18	6.39	6.53	7.04				
		O											
Waktu Tiba		8.45											

	O	JPG	MD	MPR	O						208.55		100.00%	
Waktu Tiba		5.33	5.44	7.03	9.08									
	O	SPI	O								161.24		86.67%	
Waktu Tiba		5.47	7.45											
	O	PRN	FMS	MPK	MPS	CRB	MPO	O			206.84		86.67%	
Waktu Tiba		5.58	6.26	6.46	7.12	7.26	8.20	9.36						
Kamis, 8 Januari 2009														
	O	MPE	CRL	MPC	GRC	DMF	PZK	DOK	O		131.72	661.2951	89.33%	94.67%
Waktu Tiba		4.17	5.36	5.50	6.00	6.12	6.27	6.39	8.06					
	O	CRH	MPL	CRA	GRS	MBP	GRG	GRM	DMA		174.02		97.33%	
Waktu Tiba		5.15	5.36	6.06	6.20	6.33	6.51	7.02	7.26					
		GRL	FMG	O										
Waktu Tiba		7.42	7.52	9.32										
	O	JPG	MD	O							141.71		97.33%	
Waktu Tiba		5.33	5.44	7.29										
	O	GRP	RCM	CRP	FMS	PRN	MPK	MPS	CRB		213.85		94.67%	
Waktu Tiba		5.22	5.47	6.04	6.33	7.00	7.30	7.57	8.10					
		O												
		10.05												
Jumat, 9 Januari 2009														
	O	MPE	MPL	CRH	GRS	MBP	GRK	DMF	MPC		152.57	961.6410	98.67%	86.89%
Waktu Tiba		4.17	5.43	6.05	6.24	6.37	6.47	7.05	7.18					
		GRC	O											
Waktu Tiba		7.28	8.31											
	O	CRL	GRP	DOP	KS	HHF	MPO	O			136.81		89.33%	
Waktu Tiba		5.19	5.33	5.43	6.02	6.16	6.47	8.02						
	O	GRG	GRM	PZM	SRK	HHL	HHR	HHD	O		172.80		88.00%	
Waktu Tiba		5.27	5.39	5.52	6.06	6.19	6.34	7.01	9.00					
	O	CRN	MPN	HHK	MDLJ	MPK	MPH	MPS	CRB		208.54		92.00%	
Waktu Tiba		5.46	6.00	6.14	6.37	7.07	7.27	7.50	8.03					
		O												
	O	MD	JPG	FMG	DMA	O					142.42		100.00%	
Waktu Tiba		5.34	5.46	5.58	6.12	7.50								
	O	HHC	CRQ	HHB	MPI	O					148.51		53.33%	
Waktu Tiba		5.26	5.37	5.52	6.10	7.58								
Sabtu, 10 Januari 2009														
	O	MPE	CRL	GRP	DMF	MPC	GRC	O			129.65	784.1059	100.00%	90.93%
Waktu Tiba		4.17	5.36	5.50	6.05	6.17	6.27	7.53						
	O	GRS	PZC	GRM	GRG	PZG	CRA	O			133.92		69.33%	
Waktu Tiba		5.23	5.35	5.49	6.01	6.11	6.26	7.59						
	O	JPG	MD	GRL	FMG	DMA	O				143.54		98.67%	
Waktu Tiba		5.33	5.44	5.58	6.09	6.24	6.34							
	O	RCJ	DOK	RCD	MBP	GNL	MPK	FMS	CRB		189.21		90.67%	
Waktu Tiba		5.15	5.28	5.43	5.59	6.12	6.54	7.14	7.38					
		O												
		9.32												
	O	MPB	CRE	CRH	MPL	SPI	O				187.79		96.00%	
Waktu Tiba		4.53	5.17	5.36	5.58	7.03	7.13							
Minggu, 11 Januari 2009														
	O	DMA	FMG	GRL	MD	GRM	GRS	GNL	MBP		161.97	650.3438	100.00%	87.33%
Waktu Tiba		5.27	5.42	5.53	6.07	6.37	6.54	7.06	7.19					

		DMF	O										
Waktu Tiba		7.38	9.06										
	O	GRC	MPC	CRL	MPN	FMS	MPK	MPS	O	198.90		100.00%	
Waktu Tiba		5.16	5.26	5.39	6.16	6.51	7.10	7.37	9.35				
	O	SPI	MPL	O						186.85		94.67%	
Waktu Tiba		5.47	6.53	8.29									
	O	CRE	MPV	MPE	O					102.63		54.67%	
Waktu Tiba		5.05	5.58	6.20	6.47								
											5259.5307		87.91%

Baris waktu tiba menjelaskan waktu kendaraan sampai di lokasi terakhir sebelum sampai ke depot untuk menunjukkan bahwa lokasi tujuan yang ingin dicapai memenuhi batasan *time windows* yang ditentukan. Pada saat penelitian, solusi terbaik didapatkan melalui beberapa replikasi. Informasi statistik mengenai replikasi solusi ACO terbaik, rata-rata dan terburuk juga waktu komputasi solusi ACO terbaik dan total waktu untuk 5 kali replikasi dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data Statistik Solusi ACO Permasalahan Pertama

Data	Fungsi tujuan ACO (5 replikasi)				Waktu komputasi (jam)	
	ACO terbaik	ACO rata-rata	ACO terburuk	% GAP	Waktu terbaik	Total waktu
Hari-1	469.4002	469.4082	469.4402	0.01%	12.97	65.07
Hari-2	838.2083	843.1657	845.5301	0.87%	17.72	88.01
Hari-3	894.5363	894.5233	894.5200	0.00%	17.59	87.78
Hari-4	661.2951	663.0511	663.4901	0.33%	14.39	71.84
Hari-5	961.641	961.6324	961.6303	0.00%	22.22	111.11
Hari-6	784.1059	786.1493	788.9102	0.61%	18.35	91.77
Hari-7	650.3438	650.4208	650.7401	0.06%	11.50	57.85

Waktu komputasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan solusi ACO permasalahan pertama cukup besar. Hal ini disebabkan perhitungan menggunakan iterasi pendek belum memberikan fungsi tujuan yang lebih baik dari solusi pendekatan sebelumnya dan banyaknya jumlah tujuan permasalahan pertama dalam setiap hari kegiatan distribusi. Perbandingan hasil solusi ACO dengan *solusi tabu search* yang digunakan pada penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Perbandingan Solusi ACO dengan Solusi TS pada Permasalahan Pertama

	Solusi Tabu Search	Solusi ACO	Selisih (%)
Jarak (km)	5482.8282	5259.5307	4.07%
Utilitas (%)	87.91%	87.91%	0.00%
Biaya (Rp)	9,423,049.04	9,146,186.86	2.94%

4.5 Solusi Permasalahan VRP Kedua

Permasalahan VRP kedua yang akan diselesaikan dengan algoritma ACO adalah penelitian Najuwa Mustafa pada tahun 2009 mengenai penyelesaian VRP pada pengadaan komponen pada industri manufaktur otomotif dengan sistem milkrun. Pendekatan yang dipakai pada penelitian sebelumnya adalah *differential evolution*.

4.5.1 Konfigurasi Parameter

Konfigurasi parameter yang digunakan dalam penyelesaian permasalahan VRP yang kedua adalah sebagai berikut.

Tabel 4.7 Konfigurasi Parameter Permasalahan Kedua

	<i>Cycle-1</i>	<i>Cycle-2</i>	<i>Cycle-3,4</i>	<i>Cycle-5,6</i>	<i>Cycle-7,8</i>	<i>Cycle-9,10</i>	<i>Cycle-11,12</i>	<i>Cycle 13,14</i>
<i>m</i>	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>a</i>	3	2	7	2	1	1	1	1
<i>β</i>	4	6	3	5	5	3	2	1
<i>ρ</i>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mak. Iterasi	1,000	1,000	10,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Iterasi yang digunakan pada permasalahan VRP yang kedua lebih pendek daripada jumlah iterasi pada permasalahan pertama. Hal ini disebabkan jumlah tujuan kedatangan pada permasalahan kedua lebih sedikit dari permasalahan pertama. Selain itu, fungsi tujuan yaitu solusi yang lebih baik dari pendekatan sebelumnya sudah tercapai pada jumlah iterasi 1.000/10.000.

4.5.2 Hasil Solusi ACO

Penyelesaian dengan menggunakan algoritma ACO ternyata memberikan solusi yang lebih baik dari pendekatan *differential evolution* pada penelitian sebelumnya dalam bentuk jarak, waktu, utilitas dan biaya. Hasil dari solusi ACO untuk permasalahan kedua dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Solusi ACO Permasalahan VRP Kedua

Cycle 1										Jarak	Total	Utilitas	Average
	ADM	ARM	ALL TRY	TSCM	ASNO	AISIN	ADM			125.00	582.7001	98.79%	81.82%
Waktu Tiba		9.43	9.48	9.55	10.04	10.32	12.25						
	ADM	AISAN	NMCH	NITTO	SNH	STEP	CHM	MTM	ADK	128.10		53.59%	
Waktu Tiba		9.25	9.29	9.36	9.41	10.00	10.05	10.11	10.18				
		SHW	3M	SGS	EXCEL	CHI	DELA	ADM					
Waktu Tiba		10.24	10.30	11.04	11.21	11.28	11.36	13.05					
	ADM	SUGITY	ADM							90.00		82.72%	
Waktu Tiba		9.11	11.07										
	ADM	NTC	P. TOYO	ICH	SII	TTI	SEIWA	JVC	ADM	97.10		85.93%	
Waktu Tiba		9.12	9.26	9.33	9.48	9.58	9.59	10.16	11.45				
	ADM	KBI	MINDA	ATI	ADM					142.50		88.09%	
Waktu Tiba		9.35	10.04	10.15	12.14								
Cycle 2													
	ADM	ARM	ALL TRY	TSCM	NMCH	AISAN	AISIN	ADM		125.70	577.4001	33.18%	81.49%
Waktu Tiba		9.21	9.26	9.32	9.45	9.50	9.54	11.07					
	ADM	ASNO	NITTO	SNH	STEP	CHM	MTM	ADK	SHW	120.10		97.09%	
Waktu Tiba		9.40	10.08	10.13	10.33	10.38	10.44	10.51	10.57				
		3M	SGS	ADM									
Waktu Tiba		11.03	11.37	13.05									
	ADM	EXCEL	CHI	DELA	SEIWA	SII	ICH	P. TOYO	NTC	100.00		99.76%	
Waktu Tiba		9.15	9.22	9.30	9.49	9.54	10.04	10.18	10.26				
		ADM											
Waktu Tiba		12.03											
	ADM	SUGITY	JVC	ADM						94.00		90.80%	
Waktu Tiba		9.14	10.01	11.30									
	ADM	KBI	ATI	ADM						137.60		86.64%	
Waktu Tiba		8.50	9.14	11.13									
Cycle 3													
	ADM	NMCH	AISIN	ASNO	TSCM	ADM				119.50	506.5000	98.27%	97.42%
Waktu Tiba		9.40	9.44	9.48	9.77	11.78							
	ADM	CHI	DELA	SUGITY	ADM					95.00		97.34%	
Waktu Tiba		9.14	9.22	9.44	10.99								
	ADM	NTC	ICH	SII	P. TOYO	MTM	3M	SHW	STEP	144.50		99.34%	
Waktu Tiba		9.16	9.36	9.50	9.65	9.99	10.05	10.10	10.20				
		SNH	EXCEL	ADM									
Waktu Tiba		10.38	10.75	12.04									
	ADM	JVC	KBI	ATI	ADM					147.50		94.72%	
Waktu Tiba		9.13	10.16	10.39	11.99								

Cycle 11													
	ADM	AISIN	TSCM	SHW	NTC	SII	ICH	ADM		143.00	233.0000	96.94%	59.52%
Waktu Tiba		9.40	9.48	10.22	10.58	11.18	11.28	13.06					
	ADM	CHI	DELA	EXCEL	ADM					90.00		22.10%	
Waktu Tiba		8.48	8.56	9.03	10.32								
Cycle 12													
	ADM	AISIN	TSCM	SHW	NTC	SII	ICH	ADM		143.00	233.0000	96.94%	59.52%
Waktu Tiba		9.40	9.48	10.22	10.58	11.18	11.28	13.06					
	ADM	CHI	DELA	EXCEL	ADM					90.00		22.10%	
Waktu Tiba		8.48	8.56	9.03	10.32								
Cycle 13													
	ADM	AISIN	SHW	ICH	ADM					139.10	139.1000	37.20%	37.20%
Waktu Tiba		9.19	9.52	10.34	12.13								
Cycle 14													
	ADM	AISIN	SHW	ICH	ADM					139.10	139.1000	37.20%	37.20%
Waktu Tiba		9.19	9.52	10.34	12.13								
Cycle 15													
	ADM	ICH	ADM							94.00	94.0000	85.42%	85.42%
Waktu Tiba		9.13	9.41										
Cycle 16													
	ADM	ICH	ADM							94.00	94.0000	85.42%	85.42%
Waktu Tiba		9.13	9.41										
Cycle 17													
	ADM	ICH	ADM							94.00	94.0000	85.42%	85.42%
Waktu Tiba		9.13	9.41										
Cycle 18													
	ADM	ICH	ADM							94.00	94.0000	85.42%	85.42%
Waktu Tiba		9.13	9.41										
											5234.7002		73.66%

Informasi statistik mengenai replikasi solusi ACO terbaik, rata-rata dan terburuk untuk 5 kali replikasi dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Data Statistik Solusi ACO Permasalahan Kedua

Data	Fungsi tujuan ACO (5 replikasi)				Waktu komputasi (jam)	
	ACO terbaik	ACO rata-rata	ACO terburuk	% GAP	Waktu terbaik	Total waktu
<i>Cycle-1</i>	582.7001	583.5601	584.8001	0.36%	0.0188	0.09
<i>Cycle-2</i>	577.4001	578.1201	578.4001	0.17%	0.0148	0.07
<i>Cycle-3,4</i>	506.5000	508.3800	509.0000	0.49%	0.1081	0.54
<i>Cycle-5,6</i>	485.0000	485.0800	485.1000	0.02%	0.0077	0.04
<i>Cycle-7,8</i>	244.2000	244.2000	244.2000	0.00%	0.0051	0.03
<i>Cycle-9,10</i>	241.5000	241.5000	241.5000	0.00%	0.0046	0.02
<i>Cycle-11,12</i>	233.0000	233.0000	233.0000	0.00%	0.0038	0.02
<i>Cycle 13,14</i>	139.1000	139.1000	139.1000	0.00%	0.0015	0.01

Waktu komputasi untuk penyelesaian permasalahan VRP kedua lebih pendek dibandingkan dengan permasalahan pertama karena jumlah iterasi yang lebih pendek untuk mendapatkan fungsi tujuan solusi rute terbaik. Perbandingan hasil solusi ACO dengan solusi *differential evolution* yang digunakan pada penelitian sebelumnya dapat dilihat pada

Tabel 4.10 Perbandingan Solusi ACO dengan Solusi DE pada Permasalahan Kedua

	Solusi <i>Differential Evolution</i>	Solusi ACO	Selisih (%)
Jarak (km)	6847.0000	5234.7002	23.55%
Waktu (menit)	13418	10097.2	24.75%
Utilitas (%)	68.46%	73.66%	5.20%
Biaya (Rp)	31,000,000	24,900,000	19.68%

4.6 Solusi Permasalahan VRP Ketiga

Permasalahan VRP ketiga yang akan diselesaikan dengan algoritma ACO adalah penelitian Kresentia Isabella Anandita pada tahun 2009 mengenai penyelesaian VRP pada permasalahan distribusi gas pada pelanggan outlet dan pelanggan industri dan rumah sakit. Pendekatan yang dipakai pada penelitian sebelumnya adalah *differential evolution*.

4.6.1 Konfigurasi Parameter

Konfigurasi parameter yang digunakan dalam penyelesaian permasalahan VRP yang ketiga adalah sebagai berikut.

Tabel 4.11 Konfigurasi Parameter Pelanggan *Outlet* Permasalahan Ketiga

	Hari-1	Hari-2	Hari-3	Hari-4	Hari-5
m	100	100	100	100	100
α	2	2	2	3	3
β	6	5	5	3	3
ρ	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mak. Iterasi	10,000	1,000	1,000	10,000	1,000

Tabel 4.12 Konfigurasi Parameter Pelanggan *Outlet* Permasalahan Ketiga

	Hari-1	Hari-2	Hari-3	Hari-4	Hari-5
m	100	100	100	100	100
α	1	2	1	1	1
β	2	6	2	2	4
ρ	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mak. Iterasi	1,000	1,000	1,000	1,000	10,000

4.6.2 Hasil Solusi ACO

Penyelesaian dengan menggunakan algoritma ACO ternyata memberikan solusi yang lebih baik dari pendekatan *differential evolution* pada penelitian sebelumnya dalam bentuk jarak, utilitas dan biaya. Hasil dari solusi ACO untuk permasalahan ketiga dapat dilihat pada Tabel 4.13 dan Tabel 4.14 Tabel 4.8.

Tabel 4.13 Solusi ACO Permasalahan VRP Ketiga Pelanggan Outlet

Senin, 20 April 2009													Jarak	Total	Utilitas	Average
	DEPOT	RXM	DM	JAY	STD	ASEN	HBGNS	WTMD	ITMD	MDS	GG	DEPOT	43.23	76.7220	90.00%	91.25%
Waktu Tiba		9.44	10.17	10.48	11.19	11.55	12.27	13.01	13.32	14.04	14.41	15.22				
	DEPOT	KED	CIT	UNT	MTA	PUM	DEPOT						33.49		92.50%	
Waktu Tiba		9.41	10.18	10.49	11.21	12.01	12.40									
Selasa, 21 April 2009																
	DEPOT	TP	MTH	PAF	ITKN	PLAZ	HSHA	ITPH	DEPOT				57.12	122.0084	100.00%	97.50%
Waktu Tiba		9.36	10.26	11.04	11.35	12.08	12.40	13.20	14.09							
	DEPOT	TRW	HBGNS	SUN	EMP	PLM	MK	DEPOT					64.89		95.00%	
Waktu Tiba		9.48	10.26	11.10	11.56	12.27	12.59	13.08								
Rabu, 22 April 2009																
	DEPOT	LPI	MKG	MOI	MAG	ITCM	PHCP	PLCPL	DEPOT				67.28	145.2543	97.50%	98.75%
Waktu Tiba		10.00	10.30	11.03	11.34	12.08	12.40	13.30	14.21							
	DEPOT	PIM	DBF	CITS	CIM	CINM	POLB	AB	BP	PHCIP	DEPOT		77.97		100.00%	
Waktu Tiba		9.55	9.90	10.23	10.57	11.34	12.10	12.50	13.24	13.57	14.14					
Kamis, 23 April 2009																
	DEPOT	KM	PCIL	PLIB	PGM	BOS	PHPAJ	PLCIB	KWC	TMI	DEPOT		165.82	215.0470	97.50%	88.75%
Waktu Tiba		10.05	10.36	11.51	12.28	13.02	13.33	14.43	15.18	16.07	17.19					
	DEPOT	AHC	MC	GRI	HLE	PLGI	SCB	SENY	DEPOT				49.23		80.00%	
Waktu Tiba		9.54	10.26	10.57	11.30	12.02	12.35	13.08	13.59							
Jumat, 24 April 2009																
	DEPOT	MCK	WB	ITDP	AMGK	DEPOT							82.28	127.8940	95.00%	78.75%
Waktu Tiba		9.56	10.30	11.19	12.09	13.09										
	DEPOT	SCB	HLE	GRI	DEPOT								45.62		62.50%	
Waktu Tiba		9.55	10.27	11.00	11.55											
													686.9258		91.00%	

Tabel 4.14 Solusi ACO Permasalahan VRP Ketiga Pelanggan Industri dan RS

	Senin, 20 April 2009								Jarak	Total	Utilitas	Average
	DEPOT	RSSA	SLD	ALG	PMG	ROM	RSBA	DEPOT	57.95	150.9283	95.00%	74.26%
Waktu Tiba		9.40	10.13	10.54	11.32	12.15	12.55	13.40				
	DEPOT	HGC	PLMB	MMS	DEPOT				52.01		50.00%	
Waktu Tiba		9.43	10.19	11.13	12.02							
	DEPOT	ALG	RSHT	DEPOT					40.97		77.78%	
Waktu Tiba		9.49	10.40	11.19								
	Selasa, 21 April 2009											
	DEPOT	RSBA	RSOM	RSEH	PMG	BUT	RSSA	DEPOT	50.22	169.2434	100.00%	78.89%
Waktu Tiba		9.44	10.24	11.05	11.43	12.14	12.50	13.30				
	DEPOT	RSHT	TRIS	INC	PLMB	HW	MMS	DEPOT	69.13		96.67%	
Waktu Tiba		9.40	10.16	10.51	11.30	12.07	13.04	13.53				
	DEPOT	ALG	URMI	GMW	LCI	DEPOT			49.89		40.00%	
Waktu Tiba		9.49	10.29	11.07	11.39	12.30						
	Rabu, 22 April 2009											
	DEPOT	SS	INTC	HGC	TRIS	MMS	DEPOT		52.19	202.9969	90.00%	89.44%
Waktu Tiba		9.46	10.23	10.59	11.32	12.13	13.03					
	DEPOT	RST	ALG	PMG	REH	DEPOT			45.38		95.00%	
Waktu Tiba		9.40	10.19	10.57	11.34	12.24						
	DEPOT	SM	SLD	RHO	MLC	GSG	PLMB	DEPOT	105.42		83.33%	
Waktu Tiba		9.55	10.02	10.37	11.18	12.15	13.10	13.57				
	Kamis, 23 April 2009											
	DEPOT	HGC	INC	SS	HW	DEPOT			42.25	155.1553	86.67%	82.96%
Waktu Tiba		9.43	10.15	10.57	11.33	12.21						
	DEPOT	RSHT	RSSA	LCI	GMW	PMG	ALG	DEPOT	51.49		100.00%	
Waktu Tiba		9.40	10.18	10.58	11.30	12.06	12.43	13.32				
	DEPOT	SPP	DEPOT						61.41		62.22%	
Waktu Tiba		10.07	11.14									
	Jumat, 24 April 2009											
	DEPOT	ALG	PMG	URMI	SM 1	SM 2	DEPOT		66.10	184.8480	98.33%	78.33%
Waktu Tiba		9.49	10.26	11.01	11.54	12.24	13.19					
	DEPOT	REH	ROM	MLC	RSBA	DEPOT			51.00		76.67%	
Waktu Tiba		9.50	10.31	11.16	11.47	12.31						
	DEPOT	PLMB	GSG	SLD	DEPOT				67.75		60.00%	
Waktu Tiba		9.46	10.02	10.59	11.01							
										863.1718		80.78%

Informasi statistik mengenai replikasi solusi ACO terbaik, rata-rata dan terburuk untuk 5 kali replikasi dapat dilihat pada Tabel 4.15 dan Tabel 4.16.

Tabel 4.15 Data Statistik Solusi ACO Pelanggan Outlet

Data	Fungsi tujuan ACO (5 replikasi)				Waktu komputasi (jam)	
	ACO terbaik	ACO rata-rata	ACO terburuk	% GAP	Waktu terbaik	Total waktu
Hari-1	76.7220	77.1384	77.4200	0.91%	0.0704	0.35
Hari-2	122.0084	122.0257	122.0300	0.02%	0.0060	0.03
Hari-3	145.2543	146.2229	146.6000	0.93%	0.0076	0.04
Hari-4	215.0470	216.2094	216.5000	0.68%	0.0825	0.41
Hari-5	127.8940	128.3948	128.5200	0.49%	0.0034	0.02

Tabel 4.16 Data Statistik Solusi ACO Pelanggan Industri dan Rumah Sakit

Data	Fungsi tujuan ACO (5 replikasi)				Waktu komputasi (jam)	
	ACO terbaik	ACO rata-rata	ACO terburuk	% GAP	Waktu terbaik	Total waktu
Hari-1	150.9283	150.9283	150.9283	0.00%	0.0037	0.02
Hari-2	169.2434	169.2434	169.2434	0.00%	0.0077	0.04
Hari-3	202.9969	202.9969	202.9969	0.00%	0.0022	0.01
Hari-4	155.1553	155.1553	155.1553	0.00%	0.0045	0.02
Hari-5	184.8480	185.3737	185.9801	0.61%	0.0561	0.28

Waktu komputasi untuk penyelesaian permasalahan VRP ketiga pendek karena jumlah iterasi yang lebih pendek untuk mendapatkan fungsi tujuan solusi rute terbaik. Perbandingan hasil solusi ACO dengan solusi *differential evolution* yang digunakan pada penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 4.17 dan Tabel 4.18.

Tabel 4.17 Perbandingan Solusi ACO dengan Solusi DE Pelanggan Outlet

	Solusi <i>Differential Evolution</i>	Solusi ACO	Selisih (%)
Jarak (km)	835.1930	686.9258	17.75%
Utilitas (%)	90.75%	91.00%	0.25%
Biaya (Rp)	751,673.66	618,233.18	17.75%

Tabel 4.18 Perbandingan Solusi ACO dengan Solusi DE Pelanggan Industri dan RS

	Solusi <i>Differential Evolution</i>	Solusi ACO	Selisih (%)
Jarak (km)	1210.4730	863.1718	28.69%
Utilitas (%)	79.52%	80.78%	1.26%
Biaya (Rp)	1,089,425.72	776,854.59	28.69%

4.7 Solusi Permasalahan VRP Keempat

Permasalahan VRP keempat yang akan diselesaikan dengan algoritma ACO adalah penelitian Jarnawi pada tahun 2005 mengenai penggunaan metode *savings* dalam penyelesaian VRP pada industri pengemasan di PT. SM

4.7.1 Konfigurasi Parameter

Konfigurasi parameter yang digunakan dalam penyelesaian permasalahan VRP yang keempat adalah sebagai berikut.

Tabel 4.19 Konfigurasi Parameter Pelanggan *Outlet* Permasalahan Keempat

	Hari-1	Hari-2	Hari-3	Hari-4	Hari-5	Hari-6
m	100	100	100	100	100	100
α	2	2	1	1	6	5
β	3	1	4	3	1	5
ρ	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mak. Iterasi	100,000	10,000	10,000	10,000	10,000	100,000

4.7.2 Hasil Solusi ACO

Penyelesaian dengan menggunakan algoritma ACO ternyata memberikan solusi yang lebih baik dari pendekatan *savings* pada penelitian sebelumnya dalam bentuk jarak dan utilitas. Hasil dari solusi ACO untuk permasalahan keempat dapat dilihat pada Tabel 4.20

Tabel 4.20 Solusi ACO untuk Permasalahan Keempat

Rabu, 20 Oktober 2004									Jarak	Total	Utilitas	Average	
Depot	Sierad Pangan Kebayoran	Solas Restoran	Tamani Hotel Petamburan	Tee Box Café	Wine Lange dan Restoran	The Acacia	Tony Roma's Panin	Sheraton Media	61.7781	92.7863	95.77%	86.73%	
	Ta Chia	Sun Lake Hotel	Depot										
Depot	Star Bucks	Tamnak Thai Menteng	Sierad Pangan	The Park Lane	Depot				31.0082		77.69%		
Kamis, 21 Oktober 2004													
Depot	Kiki Catering	Kentucky FC	Kemang Hotel	Luti Rasa	Lido Likes Hotel	Lion Air	Mandarin Hotel	Depot	105.2531	149.1969	60.52%	67.62%	
Depot	Mandai Prima Angkasa C	Depot							43.9438		74.72%		
Jumat, 22 Oktober 2004													
Depot	Hotel Hillton	Gren Melia Hotel	Hotel Bumi Karsa	Depot					30.7369	67.8107	98.45%	83.86%	
Depot	Hotel Borobudur	Hazara Best	Hotel Santika	Graha Menteng	Grand Hyatt Hotel	Gran Alia Cikini	Depot		37.0738		69.26%		
Sabtu, 23 Oktober 2004													
Depot	Menteng Hotel	Mulia Hotel	Menara Peninsula	Marina Village	McDonalds	Depot			42.8858	94.8523	98.18%	80.88%	
Depot	Makro Pasar Rebo	Lembah Hijau	Makro Ciputat	Melawai Hotel	Depot				51.9665		63.58%		
Senin, 25 Oktober 2004													
Depot	Thai Express Kel Gading	Ta Chia	Tony Roma's Panin	Wisma 46 Kota	Tamani Hotel Petamburan	Thai express Cilandak	Depot		59.6375	99.9763	60.26%	74.03%	
Depot	Texas FC	Thai Express Ind	Depot						40.3388		87.80%		
Selasa, 26 Oktober 2004													
Depot	Crystal Jade Lamian	Boga makmur mandiri	Cass Well	Bukit indah	Country Style	Café Roti	Crown Plaza Hotel	Cahaya Makmur		105.9929		58.66%	
	Eljohn Putra Sriwijaya	Dussit Mangga Dua Hotel	Dunkin Donnuts	ChaiChai Salon	CFC	Depot							
Depot	Citra raya	Cempaka Hotel	Depot										
										610.6154		75.30%	
										Circuity Factor	0.889		
										542.8371			

Informasi statistik mengenai replikasi solusi ACO terbaik, rata-rata dan terburuk untuk 5 kali replikasi dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Data Statistik Solusi ACO Permasalahan Keempat

Data	Fungsi tujuan ACO (5 replikasi)				Waktu komputasi (jam)	
	ACO terbaik	ACO rata-rata	ACO terburuk	% GAP	Waktu terbaik	Total waktu
Hari-1	92.7863	92.5660	92.7863	0.00%	0.6474	3.26
Hari-2	149.1969	149.1969	149.1969	0.00%	0.0335	0.17
Hari-3	67.8107	67.8107	67.8107	0.00%	0.0415	0.21
Hari-4	94.8523	94.8523	94.8523	0.00%	0.0414	0.21
Hari-5	99.9763	99.9763	99.9763	0.00%	0.0357	0.18
Hari-6	105.9929	105.9929	105.9929	0.00%	0.7616	3.82

Waktu komputasi untuk penyelesaian permasalahan VRP keempat pendek karena jumlah iterasi yang lebih pendek untuk mendapatkan fungsi tujuan solusi rute terbaik. Perbandingan hasil solusi ACO dengan solusi *differential evolution* yang digunakan pada penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Perbandingan Solusi ACO dengan Solusi *Savings*

	Solusi <i>Savings</i>	Solusi ACO	Selisih (%)
Jarak (km)	587.4090	542.8371	7.59%
Utilitas (%)	67.17%	75.30%	8.12%

4.8 Solusi Permasalahan VRP Kelima

Permasalahan VRP kelima yang akan diselesaikan dengan algoritma ACO adalah penelitian Nuril Fajirya pada tahun 2006 mengenai penggunaan metode *tabu search* dalam penyelesaian VRP pada industri pengemasan di PT. SM

4.8.1 Konfigurasi Parameter

Konfigurasi parameter yang digunakan dalam penyelesaian permasalahan VRP yang kelima adalah sebagai berikut.

Tabel 4.23 Konfigurasi Parameter Permasalahan Kelima

	Hari-1	Hari-2	Hari-3	Hari-4	Hari-5	Hari-6	Hari-7
m	100	100	100	100	100	100	100
α	1	2	2	1	2	1	2
β	7	3	5	3	9	9	3
ρ	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mak. Iterasi	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000

4.8.2 Hasil Solusi ACO

Berdasarkan jadwal pengiriman selama bulan Februari 2006, terdapat 7 pola pengiriman yang sama untuk beberapa hari, yaitu sebagai berikut.

- Pola pengiriman 1, tanggal 1, 13, 15 dan 27
- Pola pengiriman 2, tanggal 2, 16 dan 26
- Pola pengiriman 3, tanggal 3, 17 dan 25
- Pola pengiriman 4, tanggal 4, 12, 18 dan 28
- Pola pengiriman 5, tanggal 5, 8, 11, 19 dan 22
- Pola pengiriman 6, tanggal 6, 10, 14, 20 dan 24
- Pola pengiriman 7, tanggal 7, 9, 21 dan 23

Penyelesaian dengan menggunakan algoritma ACO akan menggunakan 7 pola pengiriman yaitu Tanggal 1 Februari 2006 – 7 Februari 2006. Untuk tanggal berikutnya mengikuti pola pengiriman tersebut. Solusi ACO ternyata memberikan solusi yang lebih baik dari pendekatan *tabu search* pada penelitian sebelumnya dalam bentuk jarak, biaya dan utilitas. Hasil dari solusi ACO untuk permasalahan kelima dapat dilihat pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24 Solusi ACO pada 7 Pola Pengiriman

1 Februari 2006						Jarak	Total	Utilitas	Average
Depot	Tirta Aji	Garment	Giri Tirta	Depot		48	719	95.09%	95.22%
Depot	Zahra	VAL	Masa Jaya	Depot		39		99.25%	
Depot	Tirta Mindo	Alami	Tirta Yoga	Depot		56		94.64%	
Depot	Nugraha Elektronik	Tirta Agung	Depot			43		84.38%	
Depot	Aga Sampangan	Anugrah Ilmu	Aga Tlogosari	Depot		58		100.00%	
Depot	OXY Water	PT. Global	Prima Tirta	Depot		57		88.39%	
Depot	Airqu	Tirtaqua	Segar Alami	Depot		59		97.77%	
Depot	Tirta Asri	TECH-PAC	Air Segar	Depot		70		98.96%	
Depot	Aga Pucang Gading	Agus Tirta	Bening	Arga	Depot	113		95.83%	
Depot	Aga Ngalian	Asandalia	Aga Menara	Depot		176		97.91%	
2 Februari 2006									
Depot	Zanqua	Air Segar	Qualita	Depot		67	963	88.54%	91.68%
Depot	Anugrah Ilmu	Asa Arteri	Faqua	Depot		46		100.00%	
Depot	Nugraha Elektronik	Al Ibadah	Depot			56		84.38%	
Depot	Pritaqua	Tirta Mindo	Masa Jaya	Depot		45		88.68%	
Depot	Tripelqua	Aga Hasanudin	Airqu	Depot		74		94.64%	
Depot	OXY Water	PT. Global	Nawa	Depot		76		97.77%	
Depot	Arema	TECH-PAC	Aga Jati	Depot		123		95.83%	
Depot	Tirta Ardi	Asa Juana	Carmel	Depot		204		84.37%	
Depot	Asandalia	Jabal	Tirta Satria	Depot		224		92.70%	
Depot	Giri Tirta	Garment	Aqita	Depot		48		89.87%	
3 Februari 2006									
Depot	Tirta Aji	Garment	Giri Tirta	Depot		48	573	95.09%	88.34%
Depot	Segar Alami	Fresh	Tirta Asri	Depot		28		80.21%	
Depot	Zahra	Tirta Mindo	Tirta Agung	Depot		41		95.68%	
Depot	Aga Sampangan	Tirta Yoga	Nugraha Elektronik	Depot		44		100.00%	
Depot	Aga Ngalian	Alami	Tirtaqua	Depot		67		97.91%	
Depot	Prima Tirta	PT. Global	Airqu	Depot		62		89.28%	
Depot	Aga Tlogosari	VAL	Masa Jaya	Depot		52		95.09%	
Depot	Anugrah Ilmu	TECH-PAC	Depot			68		100.00%	
Depot	Aga Pucang Gading	Agus Tirta	Bening	Arga	Depot	113		95.83%	
Depot	Aga Menara	Depot				50		34.38%	
4 Februari 2006									
Depot	PT. Global	OXY Water	Nawa	Depot		74	1063	97.77%	92.93%
Depot	Asandalia	Aga Jati	Tirta Ardi	Depot		206		88.54%	
Depot	Airqu	Aga Hasanudin	Tirta Mindo	Depot		64		89.28%	
Depot	Masa Jaya	Qualita	Asa Arteri	Depot		61		91.96%	
Depot	Anugrah Ilmu	Zanqua	Pritaqua	Depot		55		99.99%	
Depot	Nugraha Elektronik	Al Ibadah	Depot			56		84.38%	
Depot	Arema	TECH-PAC	Air Segar	Depot		90		98.96%	
Depot	Tirta Tiara	Tirta Satria	Jabal	Depot		159		95.82%	
Depot	Carmel	Asa Juana	Moyasini	Depot		250		92.71%	
Depot	Giri Tirta	Garment	Aqita	Depot		48		89.87%	

5 Februari 2006										
Depot	Tirta Aji	Garment	Giri Tirta	Depot		48	602	95.09%	92.09%	
Depot	Prima Tirta	PT. Global	Tirtaqua	Depot		55		88.39%		
Depot	Faqua	Zahra	Tirta Asri	Depot		28		74.99%		
Depot	Segar Alami	Nugraha Elektronik	Depot			42		84.38%		
Depot	Tirta Yoga	Tripelqua	Alami	Depot		51		100.00%		
Depot	Aga Sampangan	Tirta Agung	Tirta Mindo	Depot		43		91.52%		
Depot	Masa Jaya	VAL	Aga Tlogosari	Depot		52		95.09%		
Depot	Anugrah Ilmu	TECH-PAC	Depot			68		100.00%		
Depot	Aga Pucang Gading	Agus Tirta	Bening	Arga	Depot	113		95.83%		
Depot	Aga Ngalian	Airqu	Aga Menara	Depot		102		95.68%		
6 Februari 2006										
Depot	Pritaqua	Anugrah Ilmu	Asa Arteri	Depot		45	936	95.83%	85.43%	
Depot	Qualita	Air Segar	Depot			65		59.38%		
Depot	TECH-PAC	Arena	Aqita	Depot		64		99.99%		
Depot	Garment	Giri Tirta	Depot			48		60.71%		
Depot	Nugraha Elektronik	Al Ibadah	Depot			56		84.38%		
Depot	Airqu	OXY Water	PT. Global	Depot		62		95.53%		
Depot	Nawa	Jabal	Tirta Satria	Depot		155		92.70%		
Depot	Carmel	Asa Juana	Tirta Ardi	Depot		204		84.37%		
Depot	Aga Jati	Asandalia	Zanqua	Depot		180		88.54%		
Depot	Masa Jaya	Tirta Mindo	Aga Hasanudin	Depot		57		92.85%		
7 Februari 2006										
Depot	Tirtaqua	Alami	Qualita	Depot		65	707	100.00%	87.05%	
Depot	Anugrah Ilmu	Segar Alami	Depot			43		84.38%		
Depot	Fresh	VAL	Masa Jaya	Depot		39		95.09%		
Depot	Tirta Mindo	Tirta Agung	Depot			41		66.52%		
Depot	Nugraha Elektronik	Al Ibadah	Depot			56		84.38%		
Depot	Airqu	PT. Global	Nawa	Depot		81		98.66%		
Depot	Tirta Aji	Garment	Giri Tirta	Depot		48		95.09%		
Depot	TECH-PAC	Tirta Tiara	Depot			124		87.50%		
Depot	Aga Menara	Moyasini	Depot			210		71.88%		

Informasi statistik mengenai replikasi solusi ACO terbaik, rata-rata dan terburuk untuk 5 kali replikasi dapat dilihat pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Data Statistik Solusi ACO Permasalahan Kelima

Data	Fungsi tujuan ACO (5 replikasi)				Waktu komputasi (jam)	
	ACO terbaik	ACO rata-rata	ACO terburuk	% GAP	Waktu terbaik	Total waktu
Pola-1	719.0000	721.4000	722.0000	0.42%	1.6485	8.22
Pola-2	963.0000	963.0000	963.0000	0.00%	1.5342	7.70
Pola-3	573.0000	576.2000	577.0000	0.70%	1.4717	7.31
Pola-4	1063.0000	1067.2000	1070.0000	0.66%	1.5246	7.82
Pola-5	602.0000	602.0000	602.0000	0.00%	1.5137	7.64
Pola-6	936.0000	940.6000	945.0000	0.96%	1.4160	7.11
Pola-7	707.0000	707.0000	707.0000	0.00%	1.0957	5.49

Waktu komputasi untuk penyelesaian permasalahan VRP kelima pendek karena jumlah iterasi yang lebih pendek untuk mendapatkan fungsi tujuan solusi rute terbaik. Hasil solusi ACO dapat dilihat pada Tabel 4.26. Perbandingan hasil solusi ACO dengan solusi *tabu search* yang digunakan pada penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 4.27.

Tabel 4.26 Solusi ACO Permasalahan Kelima

	Solusi ACO	Utilitas		Solusi ACO	Utilitas
Hari - 1	719	95.22%	Hari - 15	719	95.22%
Hari - 2	963	91.68%	Hari - 16	963	91.68%
Hari - 3	573	88.34%	Hari - 17	573	88.34%
Hari - 4	1063	92.93%	Hari - 18	1063	92.93%
Hari - 5	602	92.09%	Hari - 19	602	92.09%
Hari - 6	936	85.43%	Hari - 20	936	85.43%
Hari - 7	707	87.05%	Hari - 21	707	87.05%
Hari - 8	602	92.09%	Hari - 22	602	92.09%
Hari - 9	707	87.05%	Hari - 23	707	87.05%
Hari - 10	936	85.43%	Hari - 24	936	85.43%
Hari - 11	602	92.09%	Hari - 25	573	88.34%
Hari - 12	1063	92.93%	Hari - 26	963	91.68%
Hari - 13	719	95.22%	Hari - 27	719	95.22%
Hari - 14	936	85.43%	Hari - 28	1063	92.93%
			Total	22254	90.30%

Tabel 4.27 Perbandingan Solusi ACO dengan Solusi *Tabu Search*

	Solusi <i>Tabu Search</i>	Solusi ACO	Selisih (%)
Jarak (km)	28491.0000	22254.0000	21.89%
Utilitas (%)	84.17%	90.30%	6.14%
Biaya (Rp)	64,193,072.10	50,140,487.40	21.89%

4.9 Solusi Permasalahan VRP Keenam

Permasalahan VRP kelima yang akan diselesaikan dengan algoritma ACO adalah penelitian Jajang Abdul Karim pada tahun 2005 mengenai distribusi nitrogen. Pendekatan yang digunakan adalah pendekatan *tabu search* pada penelitian sebelumnya.

4.9.1 Konfigurasi Parameter

Konfigurasi parameter yang digunakan dalam penyelesaian permasalahan VRP yang keenam adalah sebagai berikut.

Tabel 4.28 Konfigurasi Parameter Permasalahan Keenam

	Hari-1	Hari-2	Hari-3	Hari-4	Hari-5	Hari-6	Hari-7	Hari-9	Hari-11	Hari-13	Hari-14	Hari-24	Hari-25	Hari-26	Hari-27
m	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
α	1	1	2	1	8	1	1	7	1	1	1	3	1	1	1
β	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ρ	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
Mak. Iterasi	10,000	10,000	10,000	10,000	100,000	10,000	10,000	10,000	100,000	100,000	10,000	100,000	100,000	100,000	100,000

4.9.2 Hasil Solusi ACO

Berdasarkan jadwal pengiriman, terdapat 16 pola pengiriman yang sama untuk beberapa hari, yaitu sebagai berikut.

- Pola pengiriman 1, tanggal 1, 8, 15, 22 dan 29
- Pola pengiriman 2, tanggal 2
- Pola pengiriman 3, tanggal 3, 10, 17 dan 31
- Pola pengiriman 4, tanggal 4 dan 18
- Pola pengiriman 5, tanggal 5 dan 19
- Pola pengiriman 6, tanggal 6 dan 20

- Pola pengiriman 7, tanggal 7
- Pola pengiriman 8, tanggal 9, 16, 23 dan 30
- Pola pengiriman 9, tanggal 11
- Pola pengiriman 10, tanggal 12
- Pola pengiriman 11, tanggal 13
- Pola pengiriman 12, tanggal 14, 21 dan 28
- Pola pengiriman 13, tanggal 24
- Pola pengiriman 14, tanggal 25
- Pola pengiriman 15, tanggal 26
- Pola pengiriman 16, tanggal 27

Penyelesaian dengan menggunakan algoritma ACO akan menggunakan 16 pola pengiriman ini. Untuk tanggal berikutnya mengikuti pola pengiriman tersebut. Solusi ACO ternyata memberikan solusi yang lebih baik dari pendekatan *tabu search* pada penelitian sebelumnya dalam bentuk jarak, biaya dan utilitas. Hasil dari solusi ACO untuk permasalahan keenam dapat dilihat pada **Tabel 4.29**.

Tabel 4.29 Solusi ACO Permasalahan Keenam

Hari	Solusi ACO	Utilitas ACO	Hari	Solusi ACO	Utilitas ACO
Hari-1	359.6542	88.08%	Hari-17	740.1347	89.43%
Hari-2	487.7063	92.53%	Hari-18	556.6433	86.54%
Hari-3	740.1347	89.43%	Hari-19	507.8009	86.11%
Hari-4	556.6433	86.54%	Hari-20	744.7628	93.68%
Hari-5	507.8009	86.11%	Hari-21	708.0022	95.59%
Hari-6	744.7628	93.68%	Hari-22	359.6542	88.08%
Hari-7	709.1933	83.93%	Hari-23	420.9391	76.46%
Hari-8	359.6542	88.08%	Hari-24	740.7639	90.45%
Hari-9	420.9391	76.46%	Hari-25	755.7754	82.92%
Hari-10	740.1347	89.43%	Hari-26	794.1404	84.04%
Hari-11	540.3196	74.69%	Hari-27	972.7448	92.93%
Hari-12	536.9807	76.07%	Hari-28	708.0022	95.59%
Hari-13	928.8865	92.73%	Hari-29	359.6542	88.08%
Hari-14	708.0022	95.59%	Hari-30	420.9391	76.46%
Hari-15	359.6542	88.08%	Hari-31	740.1347	89.43%
Hari-16	420.9391	76.46%	Total	18651.4976	86.89%

Informasi statistik mengenai replikasi solusi ACO terbaik, rata-rata dan terburuk untuk 5 kali replikasi dapat dilihat pada Tabel 4.30

Tabel 4.30 Data Statistik Solusi ACO Permasalahan Keenam

Data	Fungsi tujuan ACO (5 replikasi)				Waktu komputasi (jam)	
	ACO terbaik	ACO rata-rata	ACO terburuk	% GAP	Waktu terbaik	Total waktu
Hari-1	359.6542	359.6542	359.6542	0.00%	0.0415	0.2081
Hari-2	487.7063	487.7063	487.7063	0.00%	0.0224	0.1121
Hari-3	740.1347	740.1347	740.1347	0.00%	0.0521	0.2611
Hari-4	556.6433	556.6433	556.6433	0.00%	0.0417	0.2085
Hari-5	507.8009	507.8009	507.8009	0.00%	0.2983	1.4934
Hari-6	744.7628	744.7628	744.7628	0.00%	0.0377	0.1896
Hari-6	709.1933	709.1933	709.1933	0.00%	0.0262	0.1313
Hari-9	420.9391	420.9391	420.9391	0.00%	0.0193	0.0964
Hari-11	540.3916	540.3916	540.3916	0.00%	0.4162	2.0853
Hari-12	536.9087	536.9087	536.9087	0.00%	0.2976	1.6439
Hari-13	928.8865	928.8865	928.8865	0.00%	0.3760	1.8802
Hari-14	708.0022	708.0022	708.0022	0.00%	0.0719	0.3594
Hari-24	740.7639	740.7639	740.7639	0.00%	0.3576	1.8096
Hari-25	755.7754	755.7754	755.7754	0.00%	0.4105	2.1891
Hari-26	794.1404	794.1404	794.1404	0.00%	0.3794	1.9719
Hari-27	972.7748	972.7748	972.7748	0.00%	0.3732	1.9511

Waktu komputasi untuk penyelesaian permasalahan VRP keenam pendek karena jumlah iterasi yang lebih pendek untuk mendapatkan fungsi tujuan solusi rute terbaik. Perbandingan hasil solusi ACO dengan solusi *tabu search* yang digunakan pada penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 4.31.

Tabel 4.31 Perbandingan Solusi ACO dengan Solusi *Tabu Search*

	Solusi <i>Tabu Search</i>	Solusi ACO	Selisih (%)
Jarak (km)	19607.0358	18651.4976	4.87%
Utilitas (%)	77.26%	86.89%	9.63%

4.10 Analisis

Penyelesaian permasalahan VRP pada penelitian ini adalah CVRP-TW (*Capacitated Vehicle Routing Problem – Time Windows*), *Vehicle Routing and Scheduling* dan VRPPD (*Vehicle Routing Problem Pick-up and Delivery*). Hasil penelitian sebelumnya menggunakan pendekatan *tabu search*, *differential evolution* dan *savings*. Algoritma ACO yang telah dibuat dirancang menggunakan bantuan software MATLAB untuk mendapatkan fungsi tujuan yaitu solusi jarak distribusi yang optimal. Analisis ini akan dibagi menjadi tiga bagian, yaitu analisis metode, analisis program dan analisis hasil optimasi.

4.10.1 Analisis Metode

4.10.1.1 Analisis Algoritma

Algoritma ACO dilakukan untuk menyelesaikan 6 permasalahan VRP pada penelitian sebelumnya. Proses pencarian solusi dimulai dengan *ant based solution construction* untuk mendapatkan solusi awal rute distribusi VRP. Jarak rute distribusi awal ini menjadi jarak terbaik pada saat itu. Setelah itu pemilihan jalur yang tepat akan dipilih berdasarkan persamaan sebagai berikut.

Setelah nilai probabilitas pemilihan jalur didapat, pencarian solusi dilanjutkan dengan proses evaporasi pheromone dan kemudian *pheromone update* yang bertujuan untuk menambahkan atau mengurangi nilai *pheromone* sebelumnya untuk mendapatkan *pheromone model* pada iterasi selanjutnya berdasarkan persamaan berikut

$$p_{ij} = (1 - \rho) \cdot p_{ij} + \rho \cdot \Delta_{ij}$$

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, kualitas solusi (Δ_{ij}) pada area pencarian mempengaruhi tingkat evaporasi pada jalur distribusi yang dipilih.

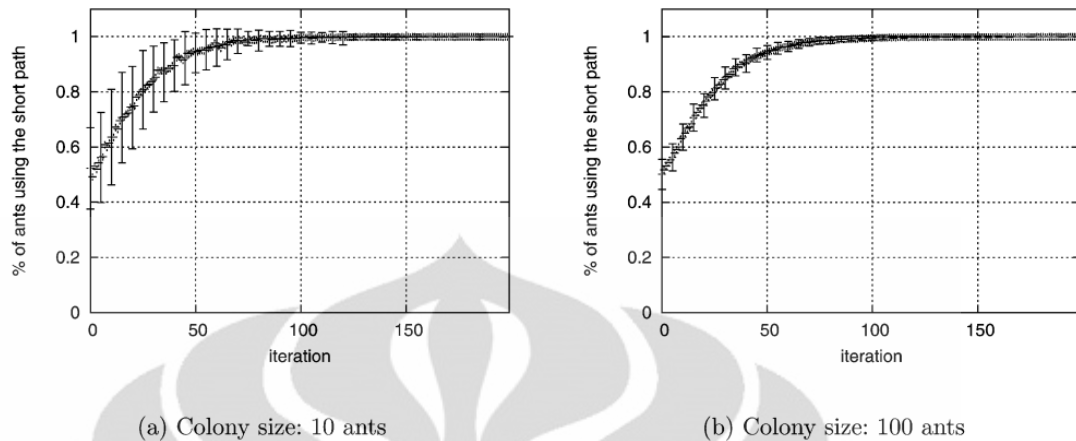
Proses pencarian solusi berikutnya adalah *ant based solution construction* berikutnya untuk mendapatkan solusi distribusi VRP berikutnya yang lebih baik. Apabila jarak distribusi hasil *ant based solution construction* lebih baik daripada jarak distribusi sebelumnya, hasil *ant based solution construction* ini akan menjadi jarak distribusi terbaik pada saat itu.

Proses pencarian solusi ini terus menerus terjadi sampai maksimum iterasi atau pada batas waktu komputasi yang ditentukan. Algoritma ACO, sebagai salah satu metode *state-of-the-art* dalam penyelesaian permasalahan diskrit, cocok untuk dipakai untuk penyelesaian permasalahan data VRP ini karena dengan menggunakan pendekatan ACO, penyimpanan memori nilai *pheromone* sebelumnya untuk pemilihan probabilitas jalur distribusi yang tepat dapat didapatkan.

4.10.1.2 Analisis Studi Parameter

Parameter-parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah nilai α dan β , yaitu parameter yang mempengaruhi hubungan *pheromone* dan nilai jarak pada penelitian ini. ρ , tingkat evaporasi *pheromone* mempengaruhi kualitas solusi dengan menambahkan atau mengurangi nilai *pheromone* pada jalur yang ada. Penambahan nilai *pheromone* apabila komponen solusi dipilih menggunakan aturan $\tau_{ij} = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho \cdot \Delta_{ij}$. Sedangkan, pada jalur yang komponen solusinya tidak dipilih, pengurangan nilai *pheromone* berkurang dengan aturan $\tau_{ij} = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij}$.

Parameter lain yang mempengaruhi kualitas solusi adalah jumlah maksimum iterasi dan jumlah populasi semut (m) dalam proses pencarian solusi. Jumlah maksimum iterasi akan mempengaruhi kualitas solusi dengan pencarian yang lebih lama pada iterasi yang lebih panjang sehingga penyimpanan memori untuk mencari kualitas solusi yang baik secara terus menerus lebih banyak dan lebih memungkinkan untuk mendapatkan komponen solusi yang baik untuk mendapatkan solusi yang baik. Parameter jumlah populasi semut mempengaruhi kecepatan konvergensi pemilihan jalur. Ilustrasi mengenai pengaruh jumlah populasi semut terhadap kecepatan konvergensi dapat dilihat pada gambar



Gambar 4.2 Ilustrasi Hubungan Jumlah Populasi terhadap Konvergensi

Ilustrasi ini menunjukkan bahwa pada jumlah populasi semut 100, jumlah iterasi yang dibutuhkan untuk mencapai konvergensi solusi terbaik lebih sedikit dibandingkan menggunakan jumlah populasi 10 semut (Blum, 2005).

Konfigurasi parameter yang tepat akan mempengaruhi kualitas solusi yang baik. Pada penelitian ini, pemilihan konfigurasi parameter dilakukan dengan pencarian kombinasi nilai α dan β yang tepat pada iterasi pendek yaitu 10 kali dengan jumlah populasi 100 dan tingkat evaporasi *pheromone* 0.01. Iterasi pendek seperti ini dapat menunjukkan kualitas solusi yang tepat karena pada nilai α dan β yang tepat, deviasi dari fungsi tujuan tidak terlalu besar dibandingkan dengan nilai α dan β yang tidak tepat. Untuk melihat deviasi dari kualitas solusi iterasi pendek ini, replikasi iterasi dilakukan sebanyak 10 kali setiap alternatif konfigurasi parameter terpilih. Proses berikutnya adalah percobaan 3-5 alternatif konfigurasi parameter yang tepat pada iterasi panjang. Pada penelitian ini, iterasi panjang sebanyak 1.000-100.000, tergantung dari jumlah tujuan VRP dan dilakukan sebanyak 1 replikasi. Jumlah 1 kali replikasi ini cukup untuk mencapai konvergensi solusi yang diinginkan karena pada iterasi panjang, konvergensi mungkin tercapai. Konfigurasi parameter dengan solusi terbaik kemudian dipilih dan dilakukan sebanyak 5 replikasi untuk melihat ACO terbaik, rata-rata dan ACO terburuk.

4.10.2 Analisis Program

Program dengan menggunakan algoritma ACO ini dibuat menggunakan bantuan software MATLAB. Secara umum program yang telah dibuat untuk menyelesaikan permasalahan VRP ini dapat berjalan dengan baik. Solusi algoritma ACO secara keseluruhan lebih baik daripada kualitas solusi menggunakan pendekatan sebelumnya. Kualitas solusi yang lebih baik ini membuat pengurangan biaya distribusi dan peningkatan utilitas kendaraan. Kelebihan lain program ini adalah kemampuan menyelesaikan berbagai karakteristik data VRP dengan kualitas yang baik.

Kelemahan dari program ini adalah waktu perhitungan dibutuhkan relatif lama pada permasalahan dengan jumlah tujuan yang banyak. Sebagai contoh adalah jumlah >30 titik tujuan yang terdapat pada permasalahan VRP pertama membutuhkan waktu 10-20 jam untuk memberikan solusi yang lebih baik dari pendekatan sebelumnya. Hal ini berbeda pada permasalahan dengan titik tujuan sedikit yang hanya membutuhkan 2-5 menit.

4.10.3 Analisis Hasil Optimasi

Pada bagian ini akan dianalisis mengenai hasil penggunaan algoritma ACO pada penyelesaian permasalahan data VRP yang telah dilakukan. Pada penelitian ini, perbandingan kualitas solusi ACO terhadap pendekatan sebelumnya dalam bentuk jarak, utilitas kendaraan, biaya dan waktu. Pada analisis berikutnya, yang akan dibahas hanya peningkatan secara jarak dan utilitas. Hal ini disebabkan oleh peningkatan secara biaya dan waktu tidak berlaku ke keseluruhan permasalahan.

4.10.3.1 Analisis Jarak Solusi

Algoritma ACO yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan VRP ini menghasilkan solusi yang lebih baik pada keseluruhan permasalahan VRP yang ada. Hasil solusi ACO dibandingkan dengan solusi pendekatan sebelumnya secara keseluruhan dijelaskan pada Tabel 4.32.

Tabel 4.32 Peningkatan Solusi Jarak ACO Keseluruhan Permasalahan

	Solusi Pendekatan Sebelumnya	Solusi ACO	Persentase Peningkatan
Permasalahan - 1	5482.8282	5259.5307	4.07%
Permasalahan - 2	6847.0000	5234.7002	23.55%
Permasalahan - 3	1210.4730	863.1718	28.69%
Permasalahan - 4	587.4090	542.8371	7.59%
Permasalahan - 5	28491.0000	22254.0000	21.89%
Permasalahan - 6	19607.0358	18651.4976	4.87%

Dari hasil peningkatan keseluruhan permasalahan VRP ini, dapat dikatakan bahwa algoritma ACO ini cocok untuk data VRP ini. Algoritma ACO juga dapat dikatakan metode yang lebih baik dalam fungsi tujuan jarak pada karakteristik permasalahan 6 penelitian VRP ini.

4.10.3.2 Analisis Utilitas Kendaraan

Algoritma ACO yang dirancang ini juga menghasilkan utilitas kendaraan yang lebih baik pada keseluruhan permasalahan VRP yang ada. Hasil solusi ACO dibandingkan dengan solusi pendekatan sebelumnya dalam bentuk utilitas secara keseluruhan dijelaskan pada Tabel 4.33.

Tabel 4.33 Peningkatan Solusi Utilitas Kendaraan ACO Keseluruhan Permasalahan

	Solusi Pendekatan Sebelumnya	Solusi ACO	Persentase Peningkatan
Permasalahan - 1	87.91%	87.91%	0.00%
Permasalahan - 2	68.46%	73.66%	5.20%
Permasalahan - 3	79.52%	80.78%	1.26%
Permasalahan - 4	67.17%	75.30%	8.12%
Permasalahan - 5	84.17%	90.30%	6.14%
Permasalahan - 6	77.26%	86.89%	9.63%

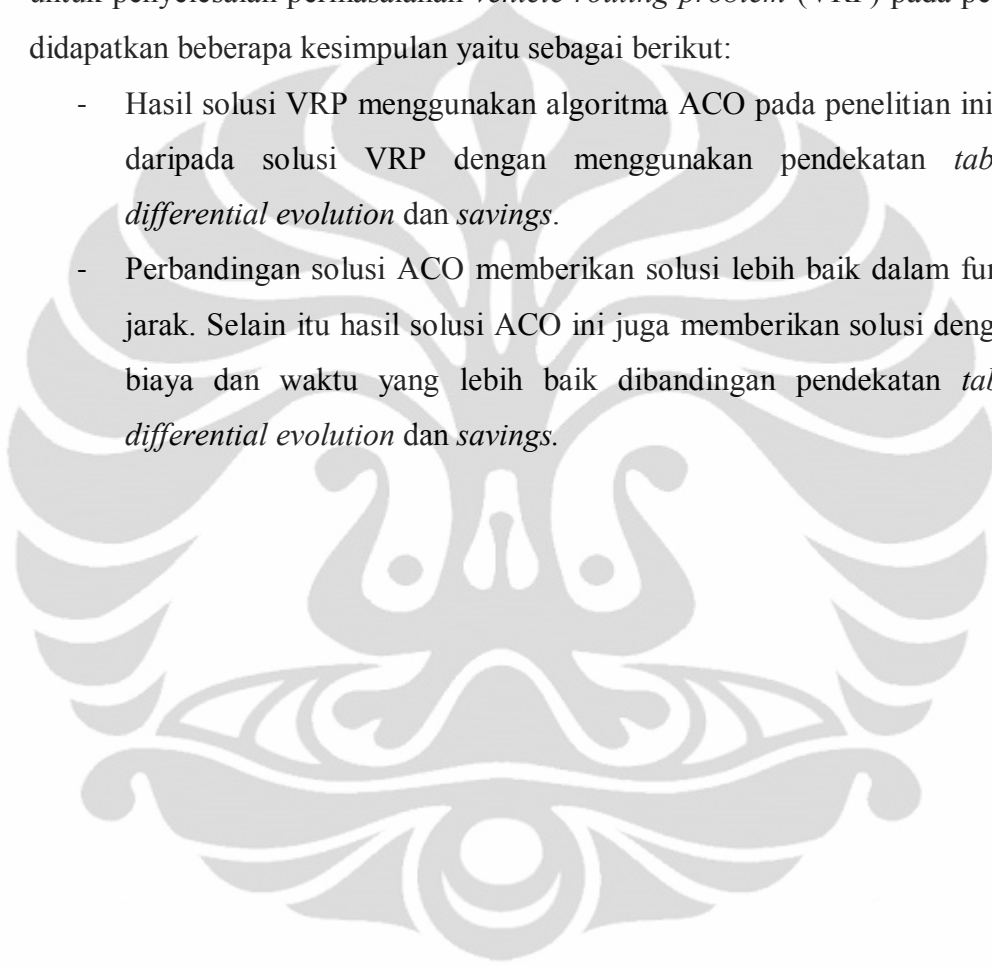
Dari data utilitas kendaraan ini, persentase peningkatan utilisasi kendaraan ini tidak signifikan peningkatan jarak solusi distribusi VRP. Walaupun demikian, perbandingan dari utilisasi ini juga menunjukkan bahwa pendekatan ACO lebih baik daripada pendekatan sebelumnya pada data permasalahan VRP ini.

BAB 5

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penyelesaian algoritma *ant colony optimization* (ACO) untuk penyelesaian permasalahan *vehicle routing problem* (VRP) pada penelitian ini didapatkan beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut:

- Hasil solusi VRP menggunakan algoritma ACO pada penelitian ini lebih baik daripada solusi VRP dengan menggunakan pendekatan *tabu search*, *differential evolution* dan *savings*.
- Perbandingan solusi ACO memberikan solusi lebih baik dalam fungsi tujuan jarak. Selain itu hasil solusi ACO ini juga memberikan solusi dengan utilitas, biaya dan waktu yang lebih baik dibandingkan pendekatan *tabu search*, *differential evolution* dan *savings*.



DAFTAR PUSTAKA

- Anandita, K. I. (2009). *Penentuan Rute yang Optimal pada Distribusi Produk Gas Silinder Menggunakan Algoritma Differential Evolution*. University of Indonesia, Industrial Engineering Department, Depok.
- Ballou, R. H. (2004). *Business Logistic Management*. New Jersey: Prentice-Hall Inc.
- Blum, C. (2005). Ant Colony Optimization: Introduction and recent trends. *Physics of Live Reviews 2* , 353-373.
- Cahyadi, A. R. (2009). *Optimasi Rute Distribusi Produk dengan Penerapan Vehicle Routing Problem Algoritma Tabu Search*. University of Indonesia, Industrial Engineering Department, Depok.
- Fajriya, N. (2006). *Usulan Penjadwalan dan Rute Pengiriman Air Minum Menggunakan Model VRP dengan Metode Algoritma Tabu Search di Pusat Sumber Air (PSA) Ungaran, Semarang*. University of Indonesia, Industrial Engineering Department, Depok.
- Jarnawi. (2005). *Penggunaan Metode Savings dalam Penyelesaian VRP Untuk Peningkatan Efisiensi Pengiriman Barang di PT. SM*. University of Indonesia, Industrial Engineering Department, Depok.
- Karim, J. A. P(2005). *Penerapan Algoritma Tabu Search pada Vehicle Routing Problem (Studi Kasus: Distribusi Gas Nitrogen Cair PT. X Plant Pulogadung)*". University of Indonesia, Industrial Engineering Department, Depok.
- Mullen, R. (2009). A review of ant algorithms. *Expert Systems with Applications 36* , 9608-9617.
- Mustafa, N. (2009). *Parts Procurement Route Optimization in Automotive Manufacturing Industry with Milkrun System Using Differential Evolution Algorithm*. University of Indonesia, Industrial Engineering Department, Depok.
- Rizzoli, A. (2007). Ant colony optimization for real-world vehicle routing problem. *Swarm Intell* , 135-151.
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). *The Vehicle Routing Problem*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.

7 LAMPIRAN

