

**PENENTUAN RUTE YANG OPTIMAL PADA DISTRIBUSI
PRODUK GAS SILINDER MENGGUNAKAN ALGORITMA
DIFFERENTIAL EVOLUTION**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**Kresentia Isabella Andinita
0405070321**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JULI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

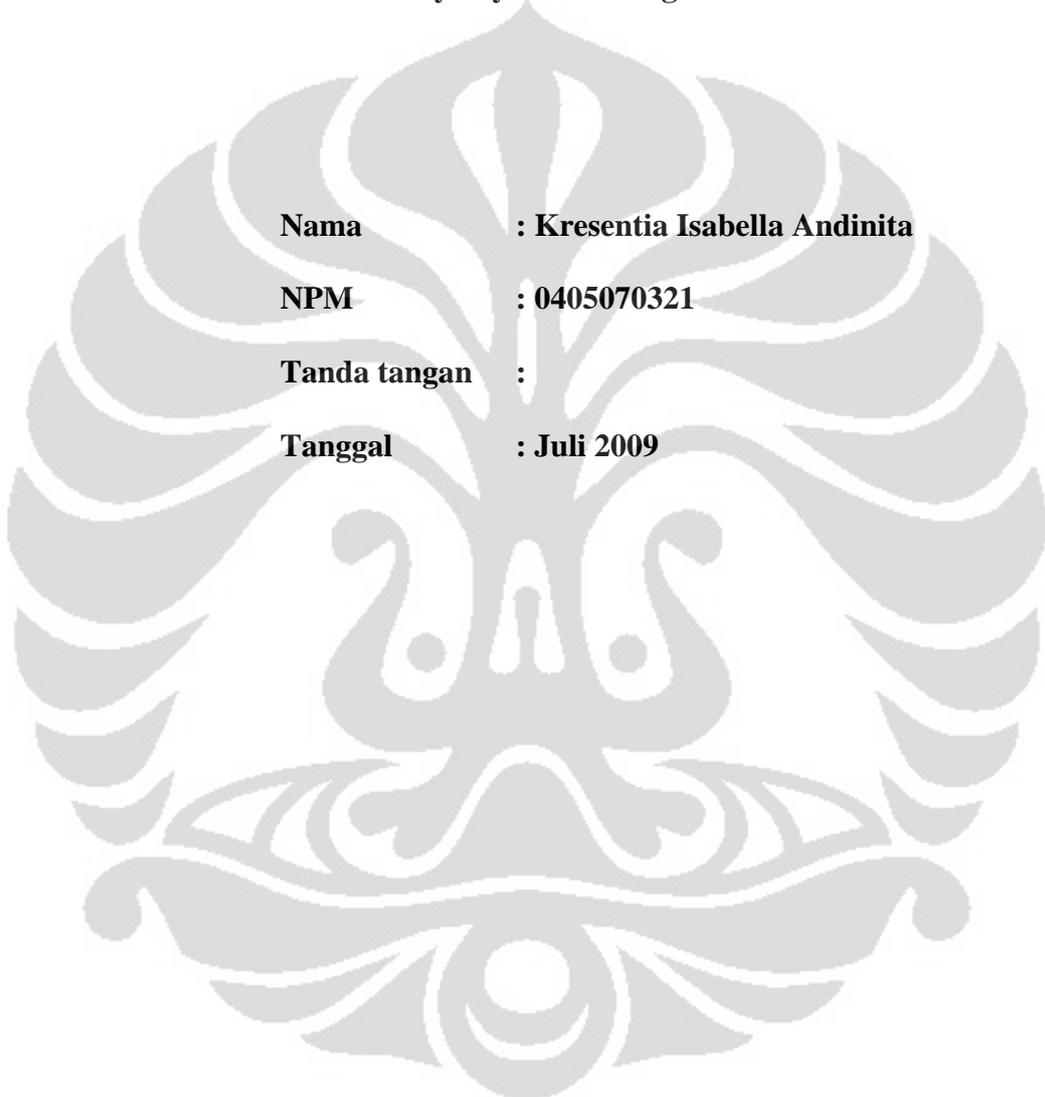
**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Kresentia Isabella Andinita

NPM : 0405070321

Tanda tangan :

Tanggal : Juli 2009



PERSETUJUAN

Skripsi dengan judul:

“Penentuan Rute yang Optimal Pada Distribusi Produk Gas Silinder Menggunakan Algoritma Differential Evolution”

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada program studi Teknik Industri Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Indonesia dan disetujui untuk diajukan dalam sidang ujian skripsi

Depok, 25 Juni 2009

Pembimbing Skripsi

(Arian Dhini, ST., MT)

NIP. 040803029

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Kresentia Isabella Andinita
NPM : 0405070321
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Penentuan Rute yang Optimal pada Distribusi
Produk Gas Silinder Menggunakan Algoritma
Differential Evolution

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Arian Dhini, ST., MT ()

Penguji : Ir. Amar Rachman, MEIM ()

Penguji : Ir. Fauzia Dianawati, M.Si. ()

Penguji : Ir. Isti Surjandari, MT., MA., PhD. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 1 Juli 2009

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

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

Nama : Kresentia Isabella Andinita
NPM : 0405070321
Program Studi : Teknik Industri
Departemen : Teknik Industri
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

**Penentuan Rute yang Optimal pada Distribusi Produk Gas Silinder
Menggunakan Algoritma Differential Evolution**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan 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 : Juli 2009

Yang Menyatakan

(Kresentia Isabella Andinita)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah Bapa yang Mahakuasa atas segala kasih, karunia, dan rahmat-Nya sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka melengkapi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, saya menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. T. Yuri M. Zagloel, MEng.Sc, selaku Ketua Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia, yang telah memberikan banyak bimbingan bagi para mahasiswanya.
2. Ibu Arian Dhini, ST., MT selaku dosen pembimbing skripsi, untuk segala bimbingan, bantuan, arahan, dukungan, serta kesediaannya untuk berbagi cerita dari hati ke hati.
3. Bapak Ir. Amar Rachman, MEIM, yang telah memberikan banyak sekali ide, saran, dan pengarahan, sehingga skripsi ini akhirnya dapat terwujud.
4. Ibu Ir. Fauzia Dianawati, M.Si., Ibu Ir. Erlinda Muslim, MEE , Bapak Armand Omar Moeis, ST., M.Sc atas dukungan semangat dan keceriaan yang selalu hadir ketika penulis berkunjung ke gedung departemen, serta seluruh dosen Departemen Teknik Industri yang telah memberikan ilmu-ilmu yang sangat berharga kepada penulis
5. Bu Har, Mbak Triana, Mbak Willy, Mas Mursyid, Mas Latief, dan seluruh karyawan Departemen Teknik Industri atas semua bantuannya kepada penulis
6. Bapak Agus Purnomo, Bapak Indra Muzaromsyah, Bapak Indra Dalimartin, dan semua teman-teman di perusahaan, yang telah memberikan kemudahan untuk mengakses data
7. Orang tua, (Alm) Bapak Dionysius Soeharto dan Ibu Monica Soehardini, atas segala doa, kasih, nasehat, dan dukungan untuk selalu berjuang dan

tak pernah henti mengandalkan Tuhan dalam hidup. Tak lupa pula bagi keluarga besar yang juga turut mendoakan dan mendukung saya.

8. Arthur Dias, atas segala bantuan dan kerjasama yang tak terhingga dalam menyelesaikan skripsi ini. Tanpanya semakin sulit skripsi ini terselesaikan.
9. Bang Komarudin dan Mirza Anandita, atas bimbingan dan kesediaan untuk berbagi ilmu dalam pengerjaan skripsi
10. Najwa Mustafa, rekan seperjuangan dalam skripsi sejak awal hingga akhir, atas dukungan saat senang maupun susah, canda tawa, dan hal-hal baru yang diajarkan kepada saya. Kisah-kisah bersamanya adalah pengalaman tak terlupakan.
11. Yopi Fernandes dan Arief RC, atas bantuannya dalam memahami VRP dan DE.
12. Roy Saputra, Chandra Eka, M. Farkhan, Yudavedito, dan Chandra Warman, pria-pria tangguh yang bersedia memberikan pertolongan di saat keputusasaan melanda.
13. Carissa, Elice, Dian Esti, Nur Annisa, Nandyka Y., Fitri S., Diana MS, dan Riezka E., I Nyoman Adi P, atas keceriaan, canda tawa, tangis, dan curahan hati selama 4 tahun ini dan segala bantuan yang tulus untuk penulis.
14. Intan Nirwani, Dwinta Utari, dan Cindy Anggraini, atas bantuan yang luar biasa pada malam-malam terakhir pengumpulan.
15. Seluruh teman-teman angkatan 2005 Teknik Industri atas kebersamaan dan keceriaan bersama. Kalian adalah harta yang tak ternilai dalam hidup.
16. Pak Safii, atas kesetiaan dan kerelaan untuk mengantar dan menjemput ke manapun.
17. Semua pihak yang terlibat dan telah membantu penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Akhirnya, penulis berharap agar skripsi ini bisa memberikan inspirasi dan manfaat bagi semua pihak yang membacanya dan bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 25 Juni 2009

Penulis

ABSTRAK

Nama : Kresentia Isabella Andinita
Program Studi : Teknik Industri
Judul : Penentuan Rute Yang Optimal Pada Distribusi Produk Gas Silinder Menggunakan Algoritma *Differential Evolution*

Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh rute distribusi produk gas yang optimal, sehingga dapat mengurangi jarak tempuh dan memungkinkan tercapainya efisiensi total biaya distribusi pada sebuah industri gas. Hal ini dilakukan dengan optimasi yaitu melalui penentuan rute distribusi. Optimasi rute dilakukan dengan menggunakan algoritma *Differential Evolution*. *Differential Evolution* merupakan salah satu algoritma evolusioner yang strukturnya sederhana, mudah diimplementasikan, dan cepat mencapai tujuan. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah usulan penentuan rute distribusi produk yang lebih optimal berdasarkan analisa jarak tempuh, utilisasi kendaraan, dan biaya pengiriman. Setelah penelitian dilakukan, diperoleh pengurangan jarak tempuh selama 5 hari sebesar 351.96 Km atau sebesar 17.3%.

Kata kunci:
Optimasi, *Vehicle Routing Problem*, algoritma *Differential Evolution*

ABSTRACT

Name : Kresentia Isabella Andinita
Study Program : Industrial Engineering
Title : Optimum Routes Determination for Cylinder Gas Distribution
Using Differential Evolution Algorithm

The aim of this research is to obtain the optimum routes for cylinder gas distribution, in order to reduce travelled distance and to attain the total distribution cost efficiency. Routes optimization were achieved using Differential Evolution Algorithm. Differential Evolution is a population based and direct stochastic search algorithm (minimizer or maximizer) with simple, yet powerful, and straightforward. The result of this research was a recommendation for the optimum distribution routes based on travelled distance analysis, vehicle utilization, and delivery cost. After the research is completely done, the result of a distance reduction for 351.96 km or 17.3% in 5 days is successfully obtained.

Key words:

Optimization, Vehicle Routing Problem, Differential Evolution Algorithm

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah.....	4
1.3 Rumusan Permasalahan.....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	5
1.6 Metodologi Penelitian	5
1.7 Sistematika Penulisan.....	9
2. LANDASAN TEORI.....	10
2.1 Logistik: Manajemen Distribusi.....	10
2.1.1 Definisi.....	10
2.1.2 <i>Channels of Distribution</i>	11
2.1.3 Permasalahan Penentuan Rute dan Penjadwalan dalam Distribusi.....	13
2.2 <i>Vehicle Routing Problem (VRP)</i>	14
2.2.1 Definisi dan Karakteristik.....	14
2.2.2 <i>VRP with Delivery and Pick-Up Service</i>	18
2.2.2.1 Definisi dan Karakteristik.....	18
2.2.2.2 Model matematis.....	19
2.3 Metode Penyelesaian VRP.....	21
2.3.1 Pendekatan Eksak.....	21
2.3.2 Heuristik Klasik.....	22
2.3.2.1 Sweep Method.....	24
2.3.2.2 Saving Method.....	26
2.3.3 Metaheuristik.....	26
2.4 Algoritma <i>Differential Evolution</i>	27
2.4.1 Sejarah.....	28
2.4.2 Konsep Dasar.....	30
2.4.3 Tahapan Pengerjaan.....	32
2.4.4 Permasalahan Kombinatorial dengan DE.....	36
3. PENGUMPULAN DATA.....	38
3.1 Profil Perusahaan.....	38
3.2 Sistem Pengiriman Gas Tabung.....	39
3.3 Data yang Diperlukan.....	40
3.2.1 Lokasi Depot.....	42
3.2.2 Pelanggan.....	42
3.2.3 Armada Pengiriman.....	46
3.2.4 Spesifikasi Produk dan Kemasan.....	47

3.2.5 Permintaan	48
3.2.6 Waktu dan kecepatan	49
3.2.7 Jarak	49
3.2.8 Rute Pengiriman	50
3.2.9 Biaya Distribusi	51
4. PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA	52
4.1 Pengolahan Data	52
4.1.1 Penyusunan Algoritma	52
4.1.2 Verifikasi dan Validasi Program	58
4.1.3 Input Data	62
4.2 Hasil Pengolahan Data	65
4.2.1 Hasil Pengolahan Data Distribusi untuk Pelanggan <i>Outlet</i>	66
4.2.2 Hasil Pengolahan Data Distribusi Pelanggan Industri dan RS	68
4.3 Analisis	70
4.3.1 Analisis Metode	70
4.3.2 Analisa Program	73
4.3.3 Analisa Hasil Optimasi Distribusi Pelanggan <i>Outlet</i>	74
4.3.4 Analisa Hasil Optimasi Distribusi Pelanggan Industri dan RS	79
5. KESIMPULAN	84
DAFTAR REFERENSI	85

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Daftar Nama Pelanggan <i>Outlet</i> Perusahaan Gas	43
Tabel 3.2. Daftar Pelanggan Industri dan Rumah Sakit Perusahaan Gas.....	45
Tabel 3.3. Data Armada Pengiriman Perusahaan Gas.....	47
Tabel 3.4. Permintaan Pelanggan <i>Outlet</i> Hari Senin, 20 April 2009	48
Tabel 3.5. Permintaan Pelanggan Industri dan RS pada Kendaraan 1 Hari Senin, 20 April 2009	49
Tabel 3.6. Rute Pengiriman ke Lokasi <i>Outlet</i> Selama 5 Hari	51
Tabel 3.7. Rute Pengiriman ke Lokasi Industri dan Rumah Sakit Selama 5 Hari ..	51
Tabel 4.1. Hasil Percobaan Nilai F dan Cr.....	54
Tabel 4.2. Data <i>Dummy</i> Matriks Jarak Pelanggan	59
Tabel 4.3. Data <i>Dummy</i> Jumlah Permintaan dan Pengambilan Tiap Pelanggan....	59
Tabel 4.4. Parameter untuk Proses Validasi.....	59
Tabel 4.5 Jarak Tempuh Harian untuk 5 Kali <i>Run</i> Program	66
Tabel 4.6. Rute dan Jarak Tempuh Total Hasil Optimasi Distribusi untuk Pelanggan <i>Outlet</i>	67
Tabel 4.7. Perbandingan Jarak Tempuh Rute Awal dan Rute Baru.....	67
Tabel 4.8. Muatan dan Persentase Utilitas Kendaraan Hasil Optimasi pada Distribusi untuk Pelanggan <i>Outlet</i>	68
Tabel 4.9. Rute dan Jarak Tempuh Total Hasil Optimasi Distribusi untuk Pelanggan Industri dan RS	69
Tabel 4.10. Perbandingan Jarak Tempuh Rute Awal dan Baru Distribusi untuk Pelanggan Industri dan RS	69
Tabel 4.11. Muatan dan Persentase Utilitas Kendaraan Hasil Optimasi Distribusi untuk Pelanggan Industri dan RS	70
Tabel 4.12. Perbandingan Hasil Pengolahan Data dengan Iterasi yang Berbeda....	73
Tabel 4.13. Perbandingan Rute Distribusi untuk Pelanggan <i>Outlet</i> , 20 April 2009	74
Tabel 4.18. Perbandingan Utilitas Kendaraan pada Distribusi untuk Pelanggan <i>Outlet</i>	77
Tabel 4.19. Perbandingan Biaya Pengiriman Distribusi Pelanggan <i>Outlet</i>	78
Tabel 4.20. Perbandingan Rute Distribusi untuk Pelanggan Industri dan RS, 20 April 2009	79
Tabel 4.21. Perbandingan Rute Distribusi untuk Pelanggan Industri dan RS, 21April 2009	80
Tabel 4.22. Perbandingan Rute Distribusi untuk Pelanggan Industri dan RS, 23 April 2009	80
Tabel 4.23. Perbandingan Rute Distribusi untuk Pelanggan Industri dan RS, 24 April 2009	80
Tabel 4.24. Perbandingan Utilitas Kendaraan pada Distribusi Pelanggan Industri dan RS	81
Tabel 4.25. Perbandingan Biaya Distribusi untuk Pelanggan Industri dan RS	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah.....	4
Gambar 1.2. Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	8
Gambar 2.1. Komponen-komponen penting dalam distribusi dan logistik, serta elemen-elemen yang berkaitan	11
Gambar 2.2. Alternatif saluran distribusi produk ke lokasi <i>retail outlet</i>	12
Gambar 2.3. Permasalahan Dasar Kelas-Kelas VRP dan Keterkaitannya.....	18
Gambar 2.4. Contoh Solusi Metode <i>Sweep</i>	25
Gambar 2.5. Proses Terjadinya Pindah Silang.....	34
Gambar 2.6. Diagram Alir Tahapan Pengerjaan DE Secara Umum.....	35
Gambar 2.7. Diagram Alir Proses Pencarian Solusi DE.....	36
Gambar 3.1. Area Pabrik Gas Industri di Indonesia	38
Gambar 3.2. Area <i>Filling Station</i> di Indonesia	38
Gambar 3.3. Diagram Alir Distribusi Gas Industri pada Perusahaan Gas	39
Gambar 3.4. Diagram Alir Prosedur Pengiriman Gas Tabung	41
Gambar 3.5. Lokasi Pelanggan <i>Outlet</i>	44
Gambar 3.6. Peta Lokasi Pelanggan Industri dan Rumah Sakit	46
Gambar 4.1. Diagram Aliran Optimasi Menggunakan DE.....	63
Gambar 4.2. Tampilan Form Input Permintaan Pelanggan <i>Outlet</i>	63
Gambar 4.3. Tampilan Form Input Permintaan Pelanggan Industri dan RS	65
Gambar 4.4. Tampilan Output Program Optimasi Distribusi untuk Pelanggan <i>Outlet</i>	66

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1:	Data Pelanggan <i>Outlet</i>
Lampiran 2:	Data Permintaan Pelanggan <i>Outlet</i> 20 April 2009-24 April 2009
Lampiran 3:	Data Permintaan Pelanggan Industri dan RS 20 April 2009 – 24 April 2009
Lampiran 4:	Matriks Jarak Antar Pelanggan <i>Outlet</i>
Lampiran 5:	Matriks Jarak Antar Pelanggan Industri dan RS
Lampiran 6:	<i>Source Code</i> Program VBA Excel 2007 Program Pelanggan <i>Outlet</i>
Lampiran 7:	Tampilan Program <i>Input</i> Data Permintaan Pelanggan <i>Outlet</i>
Lampiran 8 :	Tampilan Program <i>Database</i> Pelanggan <i>Outlet</i>
Lampiran 9:	Tampilan <i>Output</i> Program <i>Outlet</i>
Lampiran 10:	Tampilan Program <i>Input</i> Data Permintaan Pelanggan Industri dan RS
Lampiran 11:	Tampilan Program <i>Database</i> Pelanggan Industri dan RS
Lampiran 12:	Tampilan Program <i>Output</i> Pelanggan Industri dan RS

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kompetisi global di sektor industri mengalami peningkatan secara dinamis dan terus menerus. Para pelaku industri, baik perusahaan berskala besar maupun kecil, bersaing ketat untuk merebut pasar. Berbagai upaya dilakukan untuk mempertahankan serta meningkatkan tingkat kepuasan pelanggan, sehingga perusahaan dapat tetap mempertahankan posisi pasarnya. Upaya ini harus ditunjang oleh efisiensi di berbagai aspek yang terlibat dalam berjalannya bisnis suatu perusahaan, yaitu kemampuan untuk menghasilkan performa berkualitas baik dengan total biaya yang optimal. Salah satu aspek yang berperan penting dalam bisnis perusahaan adalah logistik.

Perusahaan mulai menyadari bahwa logistik mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap biaya, dan keputusan mengenai logistik akan menghasilkan level pelayanan kepada pelanggan yang berbeda. Definisi dari logistik, menurut D.Lambert (1998), adalah proses merencanakan, melaksanakan, dan mengendalikan aliran dan penyimpanan barang jadi, jasa, dan informasi terkait, secara efektif dan efisien, dari lokasi awal sampai ke lokasi pelanggan dengan tujuan memenuhi kebutuhan pelanggan¹. Di samping itu, tujuan akhir manajemen logistik adalah mendapatkan sejumlah barang atau jasa yang tepat pada tempat dan waktu yang tepat, serta kondisi yang diinginkan dengan memberikan kontribusi terbesar bagi perusahaan². Tercapainya tujuan manajemen logistik dapat meningkatkan performa kerja serta diperolehnya efektivitas dan efisiensi biaya.

Untuk mencapai efektivitas dan efisiensi biaya logistik, pengoptimalan harus dilakukan di berbagai segi. Salah satunya adalah melalui pengoptimalan transportasi distribusi. Transportasi memegang peranan penting dalam sistem

¹ CIECN (2008). *Definition of Logistics and Supply Chain Management (SCM)*. http://en.ec.com.cn/article/enindustry/entransport/entreport/200807/631669_1.html

² Ronald H. Ballou, *Business Logistics/Supply Chain Management 5th Edition*, New Jersey:Prentice Hall, 2004, hal 6

distribusi sebab transportasi sangat mempengaruhi kepuasan pelanggan dan biaya distribusi. Transportasi ini memberikan kontribusi biaya 1/3 sampai 2/3 dari total biaya distribusi.³ Besarnya kontribusi biaya transportasi membuat perusahaan harus memberikan perhatian khusus pada bidang ini. Salah satu permasalahan dalam transportasi distribusi yang memegang peranan penting adalah *Vehicle Routing Problem (VRP)*, yaitu perancangan atau penentuan sejumlah rute kendaraan dengan sejumlah kendala yang dihadapi, yaitu tiap kendaraan berawal dan berakhir di depot, setiap pelanggan yang lokasinya tersebar secara geografis hanya dilayani sekali oleh sebuah kendaraan, serta total permintaan yang dibawa tidak melebihi kapasitas kendaraan. *Vehicle Routing Problem* memiliki dampak yang signifikan pada biaya operasional transportasi, khususnya dalam hal sumber daya manusia dan biaya bahan bakar.⁴

Industri gas di Indonesia semakin berkembang seiring dengan pentingnya peranan dan semakin tingginya kebutuhan akan gas. Berbagai industri besar, seperti industri makanan dan minuman, elektronik, medis, kimia, serta metalurgi, termasuk industri-industri pengguna aneka jenis gas untuk menjalankan usahanya. Hal ini menyebabkan pemain di industri gas semakin banyak dan semakin kompetitif untuk merebut pangsa pasar. Salah satu perusahaan gas Indonesia merupakan sebuah perusahaan gas besar dan pengalamannya yang demikian lama telah membuatnya menjadi spesialis produsen gas selama tiga dekade. Bisnis inti perusahaan ini adalah memasok gas industri seperti Oksigen, Nitrogen, Argon, Helium, Hidrogen, dan gas-gas lainnya, serta jasa terkait untuk hampir semua industri seperti pengerjaan logam, metalurgi, industri kimia dan petrokimia, industri elektronik dan elektrik, industri kesehatan dan farmasi, industri makanan dan minuman, pengolahan air minum, pengolahan air limbah, agribisnis dan lain sebagainya.

Distribusi gas perusahaan disesuaikan dengan bentuk gas dan keperluan pemakaian terhadap gas tersebut. Oleh karena itu, dalam pendistribusian produknya, perusahaan menggunakan 2 jenis pengiriman, yaitu menggunakan truk tangki dan mobil angkut gas silinder. Pada sistem distribusi produk gas silinder,

³ Ibid

⁴ Brian Ratcliffe, *Economy and Efficiency in Transport and Distribution 2nd Edition*, London: Kogan Page, Ltd, 1987, hal 69

perusahaan mengirimkan sejumlah gas silinder ke lokasi pelanggan sesuai permintaan, kemudian mengambil silinder kosong gas yang sudah habis terpakai. Silinder kosong tersebut akan dibawa kembali ke depot untuk diisi ulang. Distribusi semacam ini dikenal dengan istilah *delivery and pick-up service*, yaitu distribusi dimana sebuah kendaraan melayani seorang pelanggan untuk mengirimkan barang sekaligus mengambil barang di pelanggan yang sama.

Masalah yang dihadapi perusahaan dalam melakukan pengiriman barang antara lain kuantitas permintaan pengiriman yang berbeda-beda untuk setiap titik, keterbatasan jumlah dan kapasitas kendaraan, lokasi pelanggan yang tersebar, dan jumlah permintaan pelanggan yang berubah setiap hari. Pada kasus ini, perusahaan hanya memiliki 5 (lima) buah truk dengan kapasitas yang berbeda-beda, keterbatasan jumlah dan kapasitas kendaraan tentunya bukan merupakan kendala yang kecil mengingat banyaknya permintaan dari pelanggan. Akibatnya perusahaan masih mungkin menemui kesulitan dalam usahanya untuk memenuhi semua permintaan dari pelanggan tepat waktu.

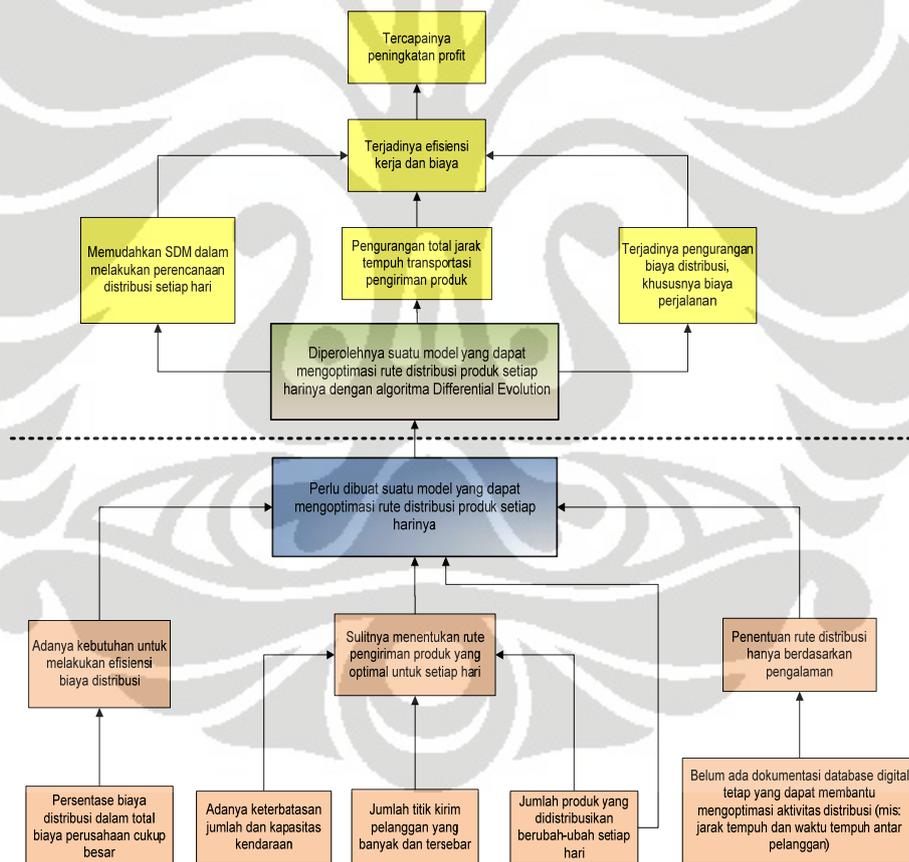
Oleh karena itu, dalam menentukan kapan sebaiknya pengiriman itu dilakukan dan bagaimana membuat suatu rute kendaraan untuk mencapai daerah tertentu, perusahaan harus melakukan penentuan rute pengiriman setiap hari. Selama ini, rute ini diatur berdasarkan pengalaman dari divisi transportasi terhadap area lokasi pelanggan dan jalur-jalur yang dilalui. Pencarian solusi yang tepat mengenai permasalahan di atas sangat perlu dilakukan, sehingga dapat diperoleh penghematan biaya bahan bakar, dalam kaitannya dengan jarak keseluruhan yang harus ditempuh kendaraan. Untuk itu, cara yang tepat adalah melakukan optimasi.

Ada berbagai teknik yang dapat digunakan untuk melakukan optimasi, salah satunya adalah *Evolutionary Algorithms* (EA). EA adalah teknik optimasi yang menggunakan strategi yang menggerakkan variasi-variasi dari rancangan vektor-vektor parameter. Pada aplikasinya, EA menggunakan analogi prinsip-prinsip biologi seperti seleksi, mutasi, dan kombinasi. Beberapa algoritma optimasi tergolong dalam jenis EA ini, yaitu GA, *Ant Colony*, *Particle Swarm*, dan *Differential Evolution*. Algoritma *Differential Evolution* (DE) hadir sebagai algoritma baru yang cukup tangguh dalam menghadapi permasalahan dengan

jumlah kendala yang banyak. Dibandingkan dengan algoritma EA lainnya dalam pemecahan masalah ini, beberapa keunggulan DE adalah strukturnya yang sederhana, mudah diimplementasikan, cepat dalam mencapai tujuan, dan bersifat tangguh⁵. Untuk itu, melalui penggunaan DE, diharapkan permasalahan distribusi dapat dioptimalkan, namun tetap mempertahankan *service level* (tingkat pelayanan) pada pelanggan.

1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dapat dibuat diagram keterkaitan masalah yang menampilkan permasalahan secara visual dan sistematis. Diagram keterkaitan masalah penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah

⁵ K.V. Price, "An Introduction to *Differential Evolution*", dalam D. Corne, M. Dorigo, dan F. Glover, editors, *New Ideas in Optimization*, pages 79-108. Mc Graw-Hill, UK, 1999.

1.3 Rumusan Permasalahan

Permasalahan yang dijadikan fokus penelitian adalah menentukan rute distribusi produk ke pelanggan yang optimal, yang dapat digunakan setiap hari dan mampu memberikan peningkatan efisiensi aktivitas distribusi perusahaan gas.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan diagram keterkaitan masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, maka tujuan dari penelitian ini adalah memperoleh rute distribusi produk yang optimal, sehingga dapat mengurangi jarak tempuh dan meminimumkan waktu pengiriman, sehingga tercapai efisiensi total biaya distribusi.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan pembatasan masalah agar pelaksanaan serta hasil yang akan diperoleh sesuai dengan tujuan pelaksanaannya. Adapun ruang lingkungannya adalah:

1. Penelitian dilakukan pada salah satu *filling station* dari perusahaan gas yaitu *filling station* yang khusus menangani produk gas dalam kemasan silinder.
2. Penelitian yang dilakukan meliputi area distribusi wilayah Jabodetabek.
3. Penelitian difokuskan pada aktivitas pengiriman gas dalam kemasan tabung dari depot, yaitu lokasi *filling station gas*, ke lokasi pelanggan.
4. Asumsi penelitian ini adalah keadaan yang terjadinya di lapangan berjalan normal.
5. Variabel yang dikendalikan adalah rute yang dilalui untuk melakukan aktivitas pengiriman, kapasitas kendaraan yang digunakan, dan jumlah permintaan pelanggan.

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan dalam penelitian ini secara sistematis dijelaskan sebagaimana pada gambar 1.2 dengan uraian sebagai berikut:

1. Perumusan ide-ide topik penelitian dan mengidentifikasi permasalahan
Pada tahap pertama, dilakukan pencarian tema-tema yang menarik untuk diangkat, baik dari pencarian pada situs-situs internet, jurnal, maupun buku.
2. Studi literatur dasar teori penelitian
Dilakukan studi literatur teori-teori yang menjadi dasar dalam pelaksanaan penelitian. Landasan teori yang terkait dengan penelitian ini adalah *Logistics, Vehicle Routing Problem* dan algoritma *Differential Evolution*.
3. Perumusan masalah
Berdasarkan identifikasi masalah dan studi literatur teori, dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini, yaitu perlu dilakukannya optimasi rute distribusi produk ke pelanggan yang dapat digunakan setiap hari.
4. Penentuan topik penelitian
Setelah masalah teridentifikasi, maka topik dapat ditentukan. Adapun topik dari penelitian ini adalah optimasi rute distribusi produk ke lokasi pelanggan menggunakan algoritma *Differential Evolution (DE)*.
5. Penentuan tujuan penelitian
Mengacu pada permasalahan yang ada, maka tujuan penelitian dapat didefinisikan. Adapun, tujuan penelitian ini adalah memperoleh rute distribusi produk yang optimal, sehingga dapat mengurangi jarak tempuh dan meminimumkan waktu pengiriman, sehingga tercapai efisiensi total biaya distribusi.
6. Pengumpulan data
Dilakukan pengumpulan data historis distribusi pengiriman gas dalam kemasan tabung. Data-data yang dibutuhkan yaitu:
 - Data jumlah dan lokasi pelanggan
 - Data jarak tempuh dari depot ke lokasi pelanggan dan jarak tempuh antar pelanggan
 - Data historis permintaan gas silinder
 - Data jenis produk gas dan spesifikasi massa dan volume gas
 - Data ukuran silinder

- Data *time windows* pelanggan
- Data jumlah, tipe, dan kapasitas kendaraan
- Data historis rute pengiriman dan jalur-jalur yang dilewati dalam mencapai lokasi pelanggan
- Data biaya operasional transportasi seperti biaya bahan bakar dan biaya pengemudi.

Di samping itu, dilakukan wawancara dengan pihak perusahaan dan observasi lapangan.

7. Pembuatan model optimasi rute pengiriman produk gas silinder

Setelah pemantapan studi terhadap dasar teori dan pengumpulan data, maka dapat dibuat model optimasi menggunakan perangkat lunak Excel 2007 *Visual Basic for Application* (VBA), yaitu merangkai kode-kode logika pemrograman yang dapat mengaplikasikan algoritma DE pada kasus VRP.

8. Melakukan pengolahan data

Pada tahap ini, dilakukan contoh pengolahan data menggunakan model optimasi yang telah disusun, sehingga dapat diperoleh hasil penentuan rute dan penjadwalan yang baru.

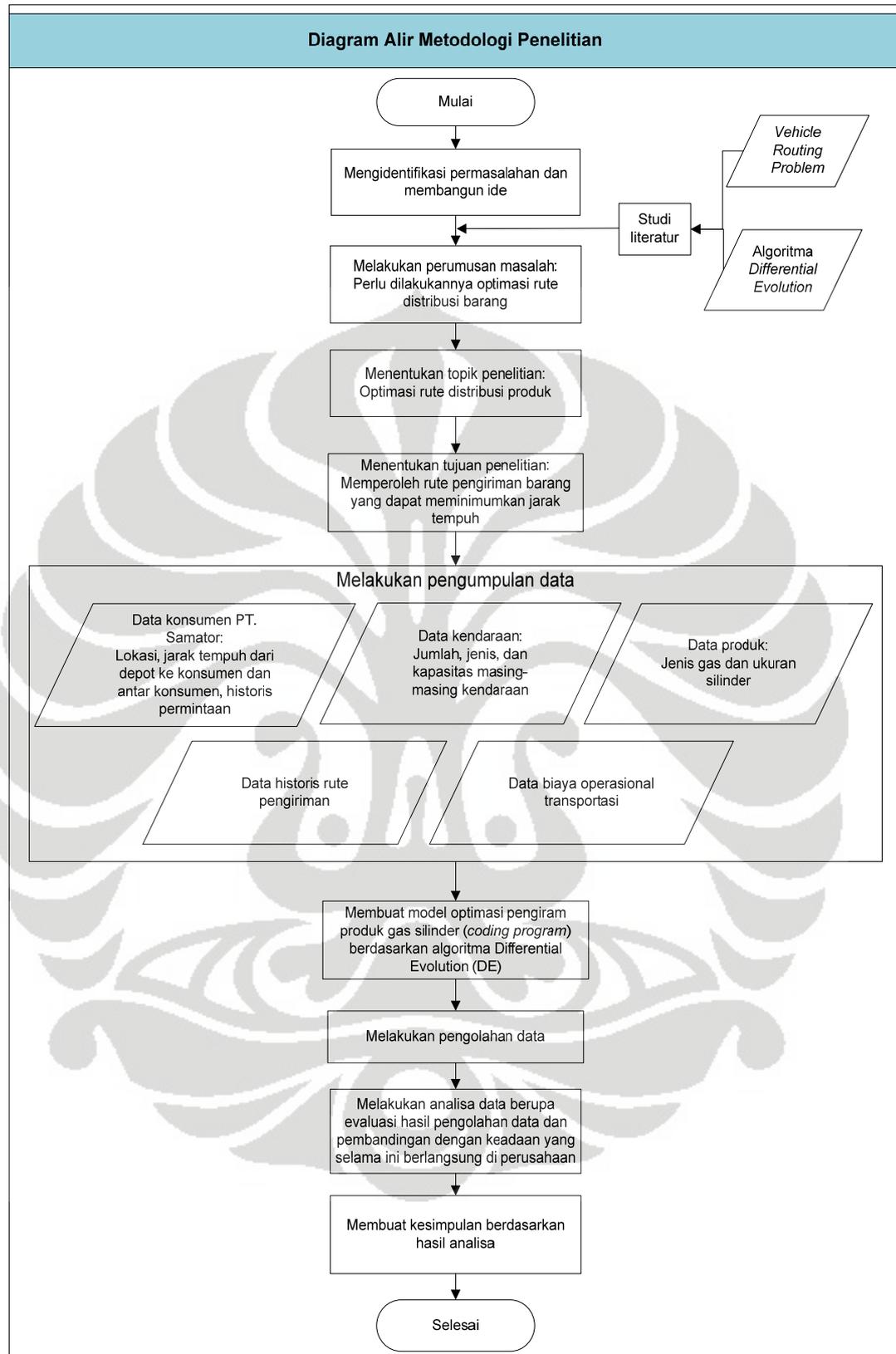
9. Menganalisis hasil pengolahan data

Dalam tahap ini dilakukan analisis terhadap hasil pengolahan data untuk dilihat perbaikannya dibandingkan dengan keadaan yang selama ini berlangsung di perusahaan tersebut.

10. Menarik kesimpulan

Dalam tahapan ini akan dihasilkan kesimpulan mengenai keseluruhan penelitian. Kesimpulan dari penelitian ini merupakan ringkasan dari hasil pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan sebelumnya.

Untuk menggambarkan secara sistematis, maka dibuat diagram alir metodologi penelitian yang dapat dilihat pada gambar 1.2.



Gambar 1.2. Diagram Alir Metodologi Penelitian

1.7 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah pemahaman alur penelitian ini, maka penulisan penelitian mengenai optimasi rute pengiriman barang pada perusahaan jasa logistik ini disajikan dalam beberapa bab. Bab pertama adalah Pendahuluan. Pada bab Pendahuluan, penulis menjelaskan mengenai latar belakang permasalahan yang menyebabkan dilakukannya penelitian ini. Selain itu, tujuan penelitian dan metodologi penelitian juga dipaparkan dalam bab ini. Penjelasan dalam bab Pendahuluan dilengkapi pula dengan diagram-diagram yang dapat menggambarkan alur permasalahan dan alur penelitian secara sistematis, yaitu diagram keterkaitan masalah dan diagram alir metodologi penelitian.

Pada bab kedua, penulis memaparkan dasar teori yang digunakan dalam mengerjakan penelitian ini. Landasan teori ini diperoleh dari tinjauan pustaka baik dari buku, jurnal, artikel, maupun informasi dari situs-situs di internet. Teori-teori yang dipakai meliputi teori Logistik, *Vehicle Routing Problem* (VRP), dan algoritma *Differential Evolution* (DE), yaitu metode yang digunakan untuk melakukan optimasi.

Bab ketiga berisi pengumpulan data yang dibutuhkan penulis dalam melakukan penelitian ini. Data-data tersebut adalah data lokasi pelanggan-pelanggan perusahaan gas, data jenis, massa, dan volume barang yang akan diantarkan, data jumlah dan jenis kendaraan pengangkut yang digunakan, data waktu operasional kendaraan, dan data karakteristik rute yang dilalui.

Bab keempat merupakan bab yang berisi pengolahan data dan analisis. Penulis menjelaskan secara terperinci langkah-langkah yang digunakan dalam pengolahan data sampai diperoleh hasil yang diharapkan. Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan algoritma *Differential Evolution*. Setelah melakukan pengolahan data, dilakukan analisa hasil pengolahan data.

Setelah pengolahan data dan analisa dilakukan, maka dapat ditarik suatu kesimpulan dari pengerjaan penelitian secara keseluruhan. Kesimpulan ini merupakan jawaban dari tujuan penelitian. Kesimpulan ini ditulis pada bab yang kelima.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Logistik: Manajemen Distribusi

2.1.1 Definisi

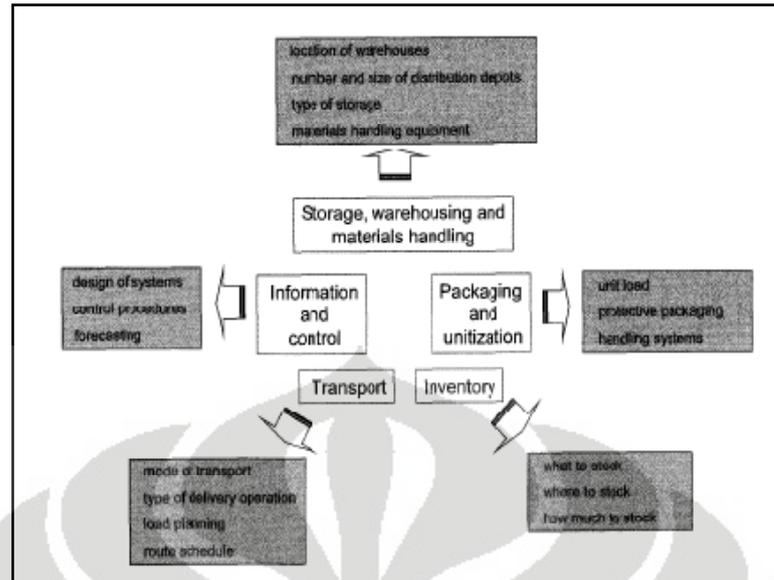
Logistik berhubungan dengan hal-hal perencanaan dan pengendalian aliran material dan informasi terkait dalam sebuah organisasi, baik di sektor publik maupun sektor swasta. Secara luas, misi logistik adalah untuk memperoleh material yang tepat di tempat dan waktu yang tepat, sekaligus mengoptimasi fungsi tujuannya dan memenuhi kendala-kendala yang dimiliki.⁶ Besarnya peranan logistik di berbagai bidang menyebabkan banyaknya definisi untuk istilah ini, namun definisi modern yang cocok dan paling banyak dipakai di industri adalah: logistik adalah aktivitas menyalurkan barang dari sumber penyedia melalui lokasi produksi ke lokasi pelanggan secara efisien, dengan biaya yang efektif, namun tetap memberikan pelayanan yang baik bagi pelanggan.⁷

Secara umum, logistik merupakan gabungan dari 3 unsur yang saling berhubungan, yaitu *supply*, *material management*, dan *distribution*. *Supply* dan *management material* memperhatikan penyimpanan dan aliran ke dalam dan melalui proses produksi, sementara itu distribusi menunjukkan aktivitas penyimpanan dan aliran dari lokasi produksi akhir hingga pelanggan akhir.⁸ Logistik dan distribusi dapat dibagi ke dalam komponen-komponen besar, seperti transportasi, *warehousing*, *inventory*, pengemasan, dan informasi. Komponen ini dapat dirinci lagi ke dalam aspek-aspek yang lebih detail untuk mempermudah pemahaman terhadap fokus kerja masing-masing komponen. Berikut ini adalah gambar yang menunjukkan komponen-komponen logistik dan distribusi.

⁶ G. Ghiani, G. Laporte, dan R. Musmanno, *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*, White Sussex: John Wiley & Sons, Ltd, 2004, hal. 1

⁷ Alan Rushton, Phil Croucher, dan Peter Baker, *The Handbook of Logistics and Distribution Management 3rd Edition*, London: Kogan Page Ltd, 2006, hal. 6

⁸ Ibid, hal. 4 - 5



Gambar 2.1. Komponen-komponen penting dalam distribusi dan logistik, serta elemen-elemen yang berkaitan

(Sumber: The Handbook of Logistics and Distribution Management, 2006)

2.1.2 Channels of Distribution

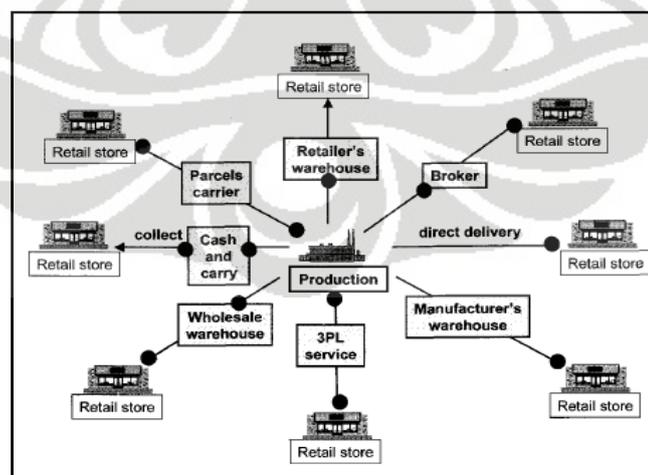
Physical distribution channel adalah istilah yang digunakan untuk menjelaskan metode bagaimana sebuah produk dapat berpindah atau terdistribusi secara fisik, dari lokasi produksi sampai ke lokasi pelanggan. Secara umum, titik akhir pelanggan ini adalah retail *outlet*, pabrik, mungkin juga rumah pelanggan yang bersangkutan.⁹ Ada beberapa alternatif saluran distribusi yang dapat digunakan dalam melakukan perpindahan produk dari lokasi produksi ke lokasi pelanggan, atau dapat pula berupa kombinasi antara alternatif-alternatif saluran distribusi tersebut. Gambar di bawah ini menunjukkan alternatif saluran distribusi dari pabrik ke *retail store*. Lingkaran-lingkaran pada gambar menggambarkan perpindahan produk secara fisik dari satu saluran ke saluran lain.

Alternatif saluran distribusi, sebagaimana digambarkan pada gambar 2.2 (halaman 12), dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Pabrik melakukan distribusi langsung ke *retail store*. Hal ini dapat dilakukan apabila pabrik memiliki kendaraan operasional pengangkutan sendiri.

⁹ Ibid, hal. 56

- Pabrik melakukan distribusi melalui pihak operasional distribusi pabrik tersebut menuju *retail store*. Pada alternatif ini, pabrik atau *supplier* menyimpan produknya di gudang barang jadi, yaitu sebuah gudang pusat distribusi atau beberapa area pusat distribusi. Sebuah kendaraan besar akan mengambil dari pabrik dan mendistribusikan ke gudang-gudang tersebut, kemudian dari gudang tersebut baru akan dikirimkan ke *retail store*.
- Pabrik melakukan distribusi melalui *retailer distribution centre* menuju ke *retail store*. Pelaksanaannya adalah kerjasama antara retailer dengan pabrik, sehingga retailer dapat menggunakan kendaraannya sendiri untuk mengambil produk-produk yang tersimpan di gudang pusat pabrik dan dibawa ke *retail store*.
- Pabrik mengirimkan ke *wholesaler*, kemudian dari *wholesaler* ke *retail store*.
- Pabrik mengirimkan melalui cash-and-carry wholesaler, kemudian dari *cash-and-carry wholesaler* ke *retail store*.
- Pabrik mengirimkan produk ke retail store menggunakan jasa *third-party logistic*.
- Pabrik melakukan distribusi produk melalui jasa *small parcel carrier* ke *retail store*.
- Pabrik melakukan distribusi melalui broker.
-



Gambar 2.2. Alternatif saluran distribusi produk ke lokasi *retail outlet*

(Sumber: The Handbook Logistics and Distribution Management 3rd Edition, 2006)

Universitas Indonesia

2.1.3 Permasalahan Penentuan Rute dan Penjadwalan dalam Distribusi

Penentuan rute dan penjadwalan dalam aktivitas distribusi dipandang sebagai masalah yang relatif rumit. Hal ini disebabkan banyaknya faktor-faktor kendala yang dapat muncul dan harus diperhatikan sehingga menyebabkan jenis permasalahan yang berbeda untuk setiap kasus. Jenis permasalahan tersebut dapat dikategorikan dalam 4 hal, yaitu:

1. Masalah strategi

Mengacu pada aspek jangka panjang dari penentuan rute dan penjadwalan, seperti diperlukan tidaknya pengiriman suatu produk dalam jumlah yang tetap secara rutin ke sejumlah pelanggan. Hal ini berlaku untuk contoh kasus distribusi roti dan toko bahan pangan. Karakteristik utamanya adalah terdapat permintaan rutin dengan jumlah tetap yang dikirimkan ke lokasi yang sama. Maka, penjadwalan kendaraan dapat dilakukan berdasarkan data historis.

2. Masalah taktikal atau operasional

Masalah ini memperhatikan rute-rute yang harus diatur setiap hari atau setiap minggu. Umumnya hal permasalahan ini terjadi di perusahaan pengiriman bingkisan (*parcel*). Faktor penting yang perlu diperhatikan adalah jumlah permintaan yang tidak dapat diperkirakan serta lokasi yang berubah-ubah.

3. Interaktif

Kegiatan operasional pengiriman pada masa sekarang mulai direncanakan melalui basis interaktif sehingga memungkinkan seorang penjadwal untuk menggunakan komputer atau alat digital untuk menentukan rute paling efektif. Pada basis interaktif ini, data permintaan aktual lebih digunakan dibandingkan data permintaan historis, atau dapat dikatakan sebagai data *real-time*. Data ini menjadi acuan untuk menentukan rute, dan salah satu kelebihan cara ini adalah rute dapat sesegera mungkin berubah apabila dibutuhkan. Kelemahan cara ini adalah mahalnya biaya untuk menyediakan teknologi semacam ini.

4. Perencanaan

Untuk menentukan rute dan penjadwalan pengiriman dilakukan perencanaan rute dan jadwal yang kemudian disimulasikan dengan komputer, lalu dianalisa akibat dari adanya perubahan permintaan atau adanya penambahan kendaraan, adanya penambahan kendaraan dengan kapasitas yang lebih besar, atau kemungkinan adanya perubahan kebijakan.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa sebenarnya metode yang dapat digunakan untuk menentukan rute dan jadwal bervariasi tergantung dari karakteristik dan kerumitan masing-masing permasalahan, serta apakah pendekatan manual atau berbasis computer yang akan digunakan oleh perusahaan tersebut. Masing-masing metode ini dikenal sebagai algoritma penentuan rute dan penjadwalan.

2.2 *Vehicle Routing Problem (VRP)*

2.2.1 Definisi dan Karakteristik

Vehicle Routing Problem (VRP) adalah sebuah istilah atau nama sebuah formula yang mengacu pada suatu permasalahan mengenai penentuan sejumlah rute untuk sejumlah kendaraan yang berasal dari sebuah atau beberapa depot dalam aktivitas pengiriman kepada sejumlah pelanggan yang tersebar secara geografis.¹⁰ VRP diperkenalkan untuk pertama kalinya oleh Dantzig dan Ramser pada tahun 1959. VRP memegang peranan penting pada manajemen distribusi dan telah menjadi salah satu permasalahan dalam optimasi kombinasi yang dipelajari secara luas. Tujuan VRP adalah meminimalkan jarak tempuh kendaraan dan biaya transportasi dalam melakukan pengiriman ke pelanggan sesuai dengan jumlah permintaannya masing-masing.

VRP sebagai suatu permasalahan, menitikberatkan pada pendistribusian barang antara depot dan pelanggan. Pendistribusian barang memperhatikan faktor pelayanan, dalam periode waktu tertentu, untuk sekelompok pelanggan dengan sejumlah kendaraan yang berlokasi pada satu atau lebih depot, yang dijalankan

¹⁰ Berbane Dorronsoro Diaz (2004). *What is VRP?* <<http://neo.lcc.uma.es>>

oleh sekelompok pengemudi, menggunakan *road network* yang sesuai. Dengan kata lain, solusi VRP meliputi penentuan sejumlah rute, yaitu masing-masing rute dilalui oleh satu kendaraan yang berawal dan berakhir di depot asalnya, sehingga permintaan semua pelanggan terpenuhi dengan tetap memenuhi kendala operasional yang ada, serta meminimumkan keseluruhan biaya transportasi.¹¹

Karakteristik utama VRP berdasarkan komponen-komponennya¹² dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Jaringan jalan, biasanya direpresentasikan dalam sebuah *graph* (diagram) yang terdiri dari *arc* (lengkung atau bagian-bagian jalan) dan *vertex* (titik lokasi pelanggan dan depot). Tiap lengkung diasosiasikan dengan biaya (jarak) dan waktu perjalanan (tergantung jenis kendaraan, kondisi/karakteristik jalan, dan periode pelintasan)
2. Pelanggan, 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 pelanggan tidak dapat menerima pengiriman maupun pengambilan.
 - Waktu yang dibutuhkan untuk menurunkan atau memuat barang (*loading/unloading time*) pada lokasi pelanggan, biasanya tergantung dari jenis kendaraan.
 - Pengelompokan (*subset*) kendaraan yang tersedia untuk melayani pelanggan (sehubungan dengan keterbatasan akses atau persyaratan pemuatan dan penurunan barang).
 - Prioritas atau pinalti sehubungan dengan kemampuan kendaraan untuk melayani permintaan.

¹¹ Paolo Toth dan Daniele Vigo, *The Vehicle Routing Problem*, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, 2001, h.2

¹² Ibid, h.2

3. Depot, 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 pelanggan dan kendaraan. Beberapa kendala operasional yang sering ditemui misalnya:

- Pada tiap rute, besar muatan yang diangkut oleh kendaraan tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan tersebut.
- Pelanggan yang dilayani dalam sebuah rute dapat hanya merupakan pengiriman atau pengambilan, atau mungkin keduanya.
- Pelanggan 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 pelanggan harus dilayani sebelum pelanggan 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.

Pada pelaksanaan sebenarnya, terdapat empat tujuan umum dalam VRP, yaitu¹³:

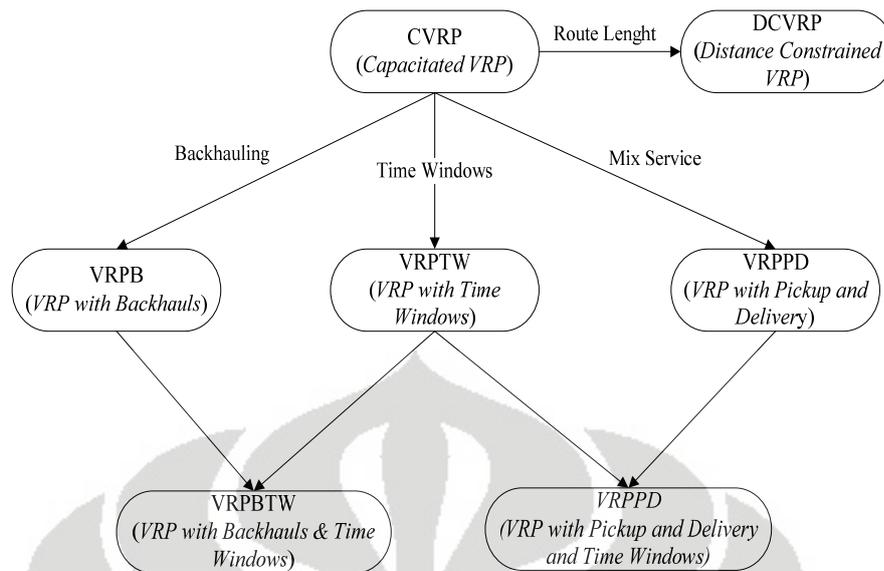
- Meminimumkan biaya transportasi global, terkait dengan jarak dan biaya tetap yang berhubungan dengan kendaraan.
- Meminimumkan jumlah kendaraan yang dibutuhkan untuk melayani semua pelanggan.
- Menyeimbangkan rute-rute dalam hal waktu perjalanan dan muatan kendaraan.
- Meminimumkan penalti akibat pelayanan yang kurang memuaskan terhadap pelanggan, seperti ketidaksanggupan melayani pelanggan secara penuh ataupun keterlambatan pengiriman.

VRP terus berkembang, hingga akhirnya mengalami perubahan-perubahan yang kemudian membuat dirinya memiliki variasi sesuai dengan permasalahan yang dihadapi. Menurut Toth dan Vigo (2002) 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 pelanggan 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.

Hubungan antar kelas-kelas VRP dapat dilihat pada sebuah bagan pada gambar 2.3 (halaman 18).

¹³ Ibid, h.4



Gambar 2.3. Permasalahan Dasar Kelas-Kelas VRP dan Keterkaitannya

(Sumber: Toth & Vigo, 2002)

2.2.2 VRP with Delivery and Pick-Up Service

2.2.2.1 Definisi dan Karakteristik

VRP with Delivery and Pick-up (VRPPD) adalah salah satu jenis VRP klasik dimana seorang pelanggan membutuhkan pelayanan pengiriman dan pengambilan barang. Fungsi tujuan dari VRPPD secara umum adalah meminimalkan biaya sistem. Pada VRPPD ini, setiap pelayanan di sebuah lokasi mencakup titik pengambilan, titik pengiriman, dan sejumlah permintaan yang harus dipenuhi.¹⁴ Sebuah karakteristik penting dari persoalan ini adalah adanya pencampuran beban kirim dan ambil, di saat yang sama, untuk rute manapun, kendaraan tidak dapat mengabaikan kendala-kendala, seperti kapasitas kendaraan dan jarak tempuh.¹⁵ Bila disederhanakan, maka terdapat beberapa batasan yang harus dipenuhi, yaitu:

- Melakukan masing-masing pengambilan (*pick up*) dan pengantaran (*delivery*) barang pada satu pelanggan hanya satu kali
- Tidak melebihi kapasitas kendaraan

¹⁴ Ibid, hal. 225

¹⁵ Erbao Cao & Mingyong Lai (2007). An Improved *Differential Evolution* for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-up Service. *Third International Conference on Natural Computation*

- Melakukan pengambilan (*pick up*) dan pengantaran (*delivery*) pada rute kendaraan yang sama

VRPPD dapat berkembang sesuai dengan permasalahan kasus yang dihadapi, misalnya apabila terdapat kendala *time windows*, maka VRPPD berkembang menjadi VRPPDTW (VRPPD *with Time Windows*) yaitu bentuk pengembangan dari VRPPD dan VRP *with Time Windows* (VRPTW).

Contoh permasalahan VRPPD adalah pada industri minuman ringan (*soft drink*) botol kosong minuman harus dikembalikan ke pabrik untuk digunakan kembali atau pada industri kelontong (*grocery stores*), palet/kontainer yang bisa digunakan kembali (*reusable*) harus dikembalikan. Pada dua kasus itu, jika hanya menggunakan VRP klasik maka akan ada 2 rute, yaitu rute pengantaran (*delivery*) dan rute pengambilan (*pick up*). Dengan menggunakan VRPPD, maka hanya akan ada satu rute, yaitu rute pengantaran dan pengambilan yang bergerak secara bersamaan (simultan).

2.2.2.2 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 berikut¹⁶:

$$\min \sum_{k=1}^k \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{ij} \quad (2.2)$$

$$s.t. \sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^k x_{ijk} = 1, j = 1, 2, \dots, n \quad (2.3)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ijk} - \sum_{i=0}^n x_{jik} = 0, j = 0, 1, \dots, n; k = 0, 1, \dots, k \quad (2.4)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0jk} \leq 1, k = 1, 2, \dots, k \quad (2.5)$$

$$\sum_{i=0}^n y_{ji} + \sum_{i=0}^n y_{ij} = p_j, \forall j \neq 0 \quad (2.6)$$

$$\sum_{i=0}^n z_{ij} - \sum_{i=0}^n z_{ji} = d_j, \forall j \neq 0 \quad (2.7)$$

$$y_{ij} + z_{ij} \leq Q \sum_{k=1}^k x_{ijk}, i, j = 0, 1, \dots, n \quad (2.8)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n d_{ij} x_{ijk} \leq Lk, k = 0, 1, 2, \dots, k \quad (2.9)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\}, y_{ij} \geq 0, z_{ij} \geq 0, i, j = 0, 1, \dots, n; k = 0, 1, \dots, k \quad (2.10)$$

Penjelasan terhadap model matematis di atas adalah sebagai berikut: pada (2.2), merupakan fungsi tujuan yaitu untuk meminimalisasi jarak tempuh total. Persamaan (2.3) sampai (2.10) merupakan batasan-batasan yang harus diperhatikan. Batasan (2.3) memastikan bahwa setiap pelanggan hanya akan dikunjungi oleh satu kendaraan, batasan (2.4) menjamin bahwa kendaraan yang sama akan tiba dan berangkat dari pelanggan yang ia layani, sementara batasan (2.5) memastikan semua kendaraan digunakan.

¹⁶ Erbao Cao & Mingyong Lai (2007). An Improved *Differential Evolution* for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-up Service. *Third International Conference on Natural Computation*

Batasan (2.6) dan (2.7) adalah rumusan untuk menghitung permintaan pengambilan dan pengantaran, batasan (2.8) menjelaskan bahwa permintaan pengambilan dan pengantaran hanya akan dipindahkan menggunakan rentang yang ada pada solusi, sementara batasan (2.9) adalah batas jarak maksimum. Dan, yang terakhir, batasan (2.10) adalah variabel keputusan.

Permasalahan VRPPD dapat diselesaikan menggunakan metode-metode penyelesaian VRP klasik dengan tetap memperhatikan fungsi objektif dan kendala-kendala sebagaimana telah dirumuskan di atas.

2.3 Metode Penyelesaian VRP

Secara umum VRP dapat diselesaikan dengan menggunakan 2 jenis pendekatan, yaitu eksak dan heuristik. Kemudian, secara umum, kelas penyelesaian heuristik dalam VRP dapat dibagi menjadi dua, yaitu heuristik klasik dan heuristik modern (metaheuristik). Heuristik klasik dikembangkan antara tahun 1960 hingga 1990, dilanjutkan dengan pengembangan algoritma metaheuristik hingga kini.

2.3.1 Pendekatan Eksak

Pada solusi eksak, dilakukan pendekatan dengan menghitung setiap solusi yang mungkin sampai satu terbaik dapat diperoleh. Terdapat beberapa algoritma eksak utama penyelesaian VRP, yaitu:

- *Branch and Bound*
- *Branch and Cut*
- *Set Covering Based*

Secara umum penggunaan metode eksak untuk penyelesaian VRP akan menghabiskan waktu yang lama. Hal tersebut dikarenakan VRP termasuk dalam permasalahan NP-hard (*Non Polynomial-hard*) dimana kompleksitas penyelesaian permasalahan akan meningkat secara eksponensial dengan semakin besarnya permasalahan. Hingga kini, belum ada algoritma eksak yang mampu menyelesaikan kasus-kasus yang terdiri lebih dari 50 pelanggan secara

konsisten¹⁷. Oleh karena itu, berbagai penelitian terhadap algoritma heuristik telah dilakukan untuk menyederhanakan penyelesaian VRP dan akan dibahas pada bagian selanjutnya.

2.3.2 Heuristik Klasik

Prosedur konstruksi dan perbaikan solusi masalah VRP yang umum digunakan saat ini berasal dari kelas heuristik klasik. Metode-metode tersebut tidak terlalu mengeksplorasi ruang pencarian solusi dan biasanya menghasilkan solusi dengan kualitas yang cukup baik dengan waktu perhitungan yang singkat. Karena penggunaannya dapat diperluas dengan menambahkan kendala-kendala yang mungkin timbul dalam kehidupan sehari-hari, maka metode-metode tersebut masih dikomersilkan.

Secara umum, terdapat tiga metode heuristik klasik VRP, yaitu:

- Heuristik konstruktif (*constructive heuristics*), yaitu penyusunan solusi yang memungkinkan dengan memperhatikan biaya solusi tersebut, tanpa dilakukan fase perbaikan.
- Heuristik dua fase (*two-phase heuristics*), dimana penyelesaian masalah dibagi menjadi dua bagian, yaitu pengelompokan (*clustering*) rute dan pengkonstruksian rute-rute tersebut. Urutan pengerjaan dapat berupa *Route First - Cluster Second*, dimana pengelompokan dilakukan setelah rute dibuat, atau *Cluster First - Route Second*, dimana rute dibuat setelah pengelompokan dilakukan.
- Metode perbaikan (*improvement method*), yaitu metode yang bertujuan untuk memperbaiki solusi yang mungkin dengan melakukan pertukaran titik dalam satu rute atau antar-rute.

Dalam metode heuristik konstruktif, terdapat dua teknik penyelesaian masalah VRP, yaitu dengan penyatuan dua rute berdasarkan kriteria penghematan dan dengan penugasan secara bertahap dari masing-masing titik ke dalam rute

¹⁷ Toth, P., & Vigo, D. (1998). Exact solution of the vehicle routing problem. *Fleet Management and Logistic*

berdasarkan biaya penugasan (*insertion cost*). Untuk teknik yang pertama, biasa digunakan algoritma penghematan (*saving algorithm*). Metode *saving* ini diperkenalkan oleh Clarke dan Wright pada tahun 1964 dan merupakan metode heuristik konstruktif yang paling populer dan sering digunakan. Kemudian, untuk teknik yang kedua, *sequential Insertion heuristics*, dapat digunakan algoritma Mole & Jameson (1976) dan algoritma Christofides, Mingozzi & Toth (1979). Kedua algoritma ini bekerja berdasarkan penugasan secara bertahap (*sequential insertion*).

Metode heuristik dua fase dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu:

1. *Cluster First – Route Second* (pengelompokan kemudian pembuatan rute), terdiri dari:
 - Metode pengelompokan elementer, yaitu dengan melakukan suatu pengelompokan dan kemudian menentukan rute pada tiap kelompok. Contoh algoritmanya adalah algoritma penyapuan (*Sweep Algorithm*), algoritma Fisher & Jaikumar (1981), dan algoritma Bramel & Simichi-Levi (1995).
 - *Truncated Branch-and-Bound* yang merupakan penyederhanaan dari algoritma eksak *Branch-and-Bound*.
 - Algoritma kelopak bunga (*Petal Algorithm*) yang menghasilkan sekeluarga besar dari kelompok-kelompok yang saling bertumpuk (*overlapping cluster*) dan rute di dalamnya, kemudian menyeleksi sejumlah rute yang memungkinkan.
2. *Route First – Cluster Second* (pembuatan rute kemudian pengelompokan). Dalam fase pertama metode ini, dibuat sebuah tur raksasa berdasarkan TSP (*Traveling salesman Problem*) yang tidak melibatkan kendala-kendala sampingan. Pada fase kedua dilakukan pemecahan tur tersebut menjadi beberapa kelompok rute yang memungkinkan.

Kelompok metode heuristik ketiga adalah metode perbaikan, dibagi menjadi metode perbaikan untuk satu rute dan metode perbaikan untuk banyak rute. Metode Perbaikan untuk satu rute menggunakan prosedur perbaikan TSP, yaitu mekanisme λ -opt. Dalam mekanisme ini, sejumlah λ titik dipindahkan dari tur, kemudian titik-titik tersebut digabungkan kembali untuk perbaikan. Sebuah

tur disebut λ -optimal apabila sudah tidak ada lagi kemungkinan untuk memperoleh tur yang lebih optimal dengan memindahkan sejumlah λ titik manapun dari rantainya dengan set λ titik lain.

Jika dilihat dari kualitas solusi yang dihasilkan, heuristik klasik berdasarkan konstruksi sederhana dan teknik perbaikan lokal tidak dapat menandingi implementasi metode heuristik modern. Namun karena kesederhanaan penerapannya, algoritma heuristik klasik seperti *Saving Algorithm* tetap menjadi metode yang paling populer dan banyak digunakan sebagai dasar dalam perangkat lunak komersil.

2.3.2.1 Sweep Method

Sweep method merupakan salah satu metode dalam penyelesaian VRP dengan pengelompokan elementer. Metode ini merupakan metode yang sederhana dalam perhitungannya, bahkan untuk memecahkan masalah dengan ukuran yang cukup besar. Keakuratan metode ini rata-rata kesalahan perhitungannya adalah sebesar 10%¹⁸. Keakuratan metode ini adalah pada cara pembuatan jalur rutanya. Prosesnya terdiri dari dua tahap, pertama titik pemberhentian ditentukan untuk kendaraan yang ada. Tahap kedua adalah menentukan urutan titik pemberhentian pada rute.

Metode ini termasuk di dalam jenis metode *cluster* atau pengelompokan, yang mana pengelompokan awal dilakukan dengan menggabungkan perhentian-perhentian yang setiap kelompok mengakomodasi volume masing-masing perhentian. Volume total perhentian dari satu rute mungkin akan melebihi kapasitas kendaraan. Jika terjadi hal tersebut maka beberapa perhentian dipindahkan ke kendaraan yang kapasitasnya belum penuh. Relokasi seperti ini dilakukan dengan menggunakan metode transportasi *linear programming*.

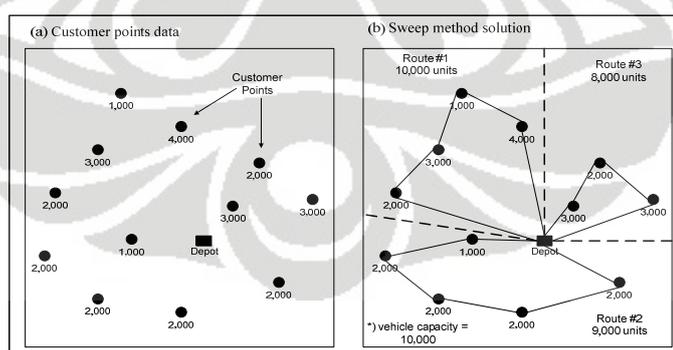
Hal yang menarik dari metode ini adalah perhentian dikelompokkan berdasarkan kedekatan dan logikanya akan menghasilkan jarak total yang rendah. Ketika volume suatu rute melebihi kapasitas kendaraan, relokasi perhentian ke rute lain dilakukan untuk mendapatkan keseimbangan optimum. Karena

¹⁸ Ronald H Ballou dan Yogesh K Agarwal "A Performance Comparison of Several Popular algorithms for Vehicle Routing and Scheduling"

pengelompokan terpisah dari pengurutan, maka kendala waktu tidak dapat diselesaikan dengan menggunakan metode ini.

Metode *sweep* dapat dilakukan dengan langkah-langkah berikut¹⁹:

1. Gambarkan lokasi semua titik kirim dan lokasi depot dalam suatu peta.
2. Buat suatu garis lurus ke arah manapun yang berpangkal dari lokasi depot. Kemudian putar (dengan titik putar adalah lokasi depot) garis tersebut searah atau berlawanan arah jarum jam sampai memotong suatu titik perhentian. Perhatikan apakah volume permintaan pada titik perhentian tersebut melebihi kapasitas kendaraan. Jika tidak, lanjutkan pergerakan rotasi garis sampai memotong titik perhentian selanjutnya. Perhatikan lagi apakah volume permintaan kumulatif melebihi kapasitas kendaraan. Jika demikian, jangan masukkan titik perhentian terakhir tersebut dalam rute. Kemudian, mulai bentuk rute baru dimulai dari titik perhentian yang terakhir tadi. Lanjutkan pergerakan rotasi penyapuan garis sampai semua titik perhentian telah masuk dalam suatu rute tertentu.
3. Setelah dilakukan *clustering* titik-titik perhentian ke dalam sejumlah rute. Maka dilanjutkan dengan menentukan urutan perhentian dalam setiap rute untuk meminimalkan jarak. Penentuan urutan perhentian ini dapat dilakukan dengan menggunakan metode *tear-drop* atau algoritma lain yang dapat memecahkan *traveling salesman problem*.



Gambar 2.4. Contoh Solusi Metode *Sweep*

(Sumber: Ballou, 2004)

¹⁹ Ronald H Ballou, *Business Logistic Management 5th Edition*, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 2004, h. 242.

2.3.2.2 *Saving Method*

Metode *Saving* ini ditemukan oleh Clarke dan Wright pada tahun 1964. Konsep dasar dari metode ini adalah melakukan penghematan jarak tempuh dengan melakukan penyatuan dua rute. Rute yang dipilih untuk digabung adalah yang memberikan penghematan (*saving*) terbesar dari jarak total yang ditempuh untuk semua rute. Penggabungan rute ini dilakukan terus sehingga tidak ada lagi penghematan yang dapat dilakukan atau sampai kapasitas kendaraan tidak dapat ditambah lagi.

Keunggulan dari metode ini adalah hambatan-hambatan dalam praktek dapat diakomodir, misalnya pengambilan dan pengiriman dalam satu rute, adanya waktu khusus untuk pengiriman, dan tipe kendaraan yang beragam. Namun metode ini juga memiliki kelemahan, yaitu waktu perhitunagn cenderung meningkat secara geometri seiring dengan bertambahnya jumlah rute atau perhentian.

Metode *saving* ini cukup fleksibel untuk menangani beberapa kendala nyata yang memiliki cakupan luas, relatif cepat dalam perhitunagn untuk persoalan dengan jumlah titik pemberhentian yang banyak dan kemampuan untuk mendapatkan hasil pemecahan masalah yang mendekati optimal²⁰. Metode ini dapat membuat rute dan mengurutkan titik-titik pemberhentian dalam rute secara bersamaan.

Tujuan dari metode *saving* adalah untuk meminimalkan total jarak yang harus ditempuh oleh seluruh kendaraan dan secara tidak langsung meminimalkan jumlah kendaraan yang dibutuhkan untuk melayani semua titik pemberhentian.

2.3.3 Metaheuristik

Heuristik modern atau metaheuristik adalah prosedur pencarian solusi umum untuk melakukan eksplorasi yang lebih dalam pada daerah yang menjanjikan dari ruang solusi yang ada. Perbedaannya dengan heuristik klasik adalah diperbolehkannya perusakan solusi atau penurunan fungsi tujuan. Kualitas solusi yang dihasilkan dari metode ini jauh lebih baik daripada heuristik klasik.

²⁰ Ronald H Ballou, *Op.Cit.*, p. 243

Beberapa contoh metaheuristik adalah *simulated annealing*, *deterministic annealing*, *genetic algorithm*, *neural network*, *ant colony system*, dan *tabu search*.

Prinsip dasar algoritma metaheuristik adalah pencarian lokal dan pencarian populasi. Dalam metode pencarian lokal, eksplorasi yang intensif dilakukan terhadap ruang solusi dengan berpindah dari satu solusi ke solusi tetangga lainnya yang potensial dalam satu lingkungan (*neighbourhood*). Algoritmanya biasa dimulai dengan solusi awal x_1 dan berpindah pada tiap iterasi t dari solusi x_t ke solusi x_{t+1} dalam satu lingkungan $N(x_t)$ dari x_t , hingga persyaratan tertentu dicapai. Jika fungsi tujuan $f(x)$ menandakan biaya dari x , maka $f(x_{t+1})$ tidak selalu lebih kecil dari $f(x_t)$. Oleh karenanya dibutuhkan kehati-hatian untuk menghindari perputaran (*cycling*) pada iterasi.

Pencarian populasi meliputi rekombinasi dari solusi-solusi terbaik untuk menghasilkan solusi-solusi turunan yang baik pula. Contohnya adalah *genetic algorithm* yang memperhatikan populasi solusi pada setiap iterasi. Tiap populasi diperoleh dari populasi sebelumnya dengan mengkombinasikan elemen-elemen terbaiknya dan membuang elemen yang buruk untuk menghasilkan populasi turunan.

Ant colony system merupakan pendekatan konstruktif dimana sejumlah solusi baru dibuat pada setiap iterasi menggunakan sebagian informasi yang didapat dari iterasi-iterasi sebelumnya. Taillard et al. (1998) mengemukakan bahwa *tabu search*, *genetic algorithm*, dan *Ant colony system* merupakan metode yang merekam informasi mengenai solusi-solusi yang ditemui selama proses pencarian berjalan dan menggunakannya untuk memperoleh solusi yang lebih baik.

Metaheuristik secara konsisten mampu menghasilkan solusi yang berkualitas tinggi jika dibandingkan dengan heuristik klasik, meskipun lebih memakan waktu yang lebih lama.

2.4 Algoritma Differential Evolution

Ada berbagai teknik yang dapat digunakan untuk melakukan optimasi. Untuk kasus-kasus dengan kendala yang banyak dibutuhkan teknik-teknik optimasi yang lebih modern seperti algoritma optimasi. Algoritma merupakan

Universitas Indonesia

suatu kumpulan perintah yang digunakan untuk menyelesaikan suatu masalah. Diantara algoritma-algoritma yang ada, algoritma *Differential Evolution* (DE) hadir sebagai algoritma baru yang cukup tangguh dalam menghadapi permasalahan dengan jumlah kendala yang banyak. Prinsip *Differential Evolution* didasarkan pada konsep evolusi biologi, yang terdiri dari proses populasi, proses mutasi, proses pindah silang, dan proses penyeleksian. *Differential Evolution* menggunakan acak sampling sehingga akan menghasilkan penyelesaian berbeda, meskipun model awalnya tidak diubah²¹. *Differential Evolution* akan menggabungkan elemen-elemen dari solusi-solusi yang telah ada untuk menciptakan solusi baru dengan mewarisi ciri-ciri yang dipunyai oleh tiap induk. Beberapa keunggulan DE adalah strukturnya yang sederhana, mudah diimplementasikan, cepat dalam mencapai tujuan, dan bersifat tangguh²². Melalui penggunaan algoritma ini, diharapkan optimasi transportasi dapat dilakukan serta tetap mampu mempertahankan kualitas pelayanan pada pelanggan.

2.4.1 Sejarah

Dalam bidang matematika dan komputasi, algoritma merupakan kumpulan perintah untuk menyelesaikan suatu masalah. Perintah-perintah ini dapat diterjemahkan secara bertahap dari awal hingga akhir. Masalah tersebut dapat berupa apa saja, dengan catatan untuk setiap masalah, ada kriteria kondisi awal yang harus dipenuhi sebelum menjalankan algoritma. Algoritma sering mempunyai langkah pengulangan (iterasi) atau memerlukan keputusan (logika Boolean dan perbandingan) sampai tugasnya selesai²³. Algoritma memiliki banyak kegunaan dimana salah satu kegunaanya adalah untuk permasalahan optimasi, sehingga algoritma jenis ini biasa disebut dengan algoritma optimasi. Algoritma banyak digunakan dalam pemecahan masalah optimasi karena pada umumnya di banyak kasus di dunia nyata, permasalahan yang timbul memiliki permasalahan yang sulit atau tidak mungkin dikerjakan dengan menggunakan teknik-teknik optimasi konvensional yang dikerjakan secara manual. Misalnya,

²¹ K.V. Price, “ An Introduction to *Differential Evolution*”, dalam D. Corne, M.Dorigo, dan F. Glover, editors, *New Ideas in Optimization*, pages 79-108. Mc Graw-Hill, UK, 1999.

²² Ibid

²³ Microsoft Encarta Premium 2006, Algorithm. (2005).Microsoft

dalam kebanyakan kasus berskala besar, permasalahan optimasi yang ada memiliki jumlah variabel yang sangat besar hingga mencapai ratusan, memiliki fungsi-fungsi, baik kendala maupun tujuan, yang bersifat non-linier sehingga memiliki banyak optima lokal, atau fungsi yang non-kontinu.

Algoritma optimasi memiliki jenis yang sangat banyak, namun menurut Wolpert dan Macready hingga saat ini belum ada suatu algoritma superior yang dapat menyelesaikan permasalahan. Selama empat dekade, belum ada penelitian yang dapat memberikan solusi algoritma yang terbaik, karena pada prakteknya masih banyak hambatan, seperti fungsi yang *non-differentiable*, non-kontinu, non-linear, multi-dimensi, memiliki banyak *constraint* (kendala), dan bersifat stokastik²⁴, hingga pada akhir tahun 1995, Storn dan Price menawarkan suatu terobosan baru, yaitu algoritma *Differential Evolution* (DE). DE pertama kali mulai dikembangkan ketika Price mencoba memecahkan permasalahan *polynomial Chebyshev* yang diajukan oleh Storn. Dalam mencoba memecahkan permasalahan tersebut, Price terinspirasi untuk menggunakan selisih dari vektor dalam mencari suatu solusi penyelesaian, hingga setelah melalui diskusi yang panjang dan simulasi dengan menggunakan program computer yang dilakukan oleh Storn dan Price, dikembangkanlah *Genetic Annealing* yang merupakan cikal bakal dari DE itu sendiri. DE merupakan algoritma yang masuk kedalam kelompok optimasi yang masuk ke dalam sub-kelompok algoritma evolusioner (EA). Sama seperti EA yang lainnya seperti *Genetic Algorithm* (GA), *Evolution Strategy*, *Learning Classifier System*, dan lain-lain, DE memiliki konsep yang terinspirasi dari teori evolusi biologi, dimana di dalamnya terdapat reproduksi, mutasi, rekombinasi, dan seleksi.

DE pertama kali dijelaskan oleh Price dan Storn di ICSI *technical report* pada tahun 1995. Satu tahun kemudian, DE sukses didemonstrasikan di *First International Contest on Evolutionary Optimization* yang diadakan bersamaan dengan *International Conference on Evolutionary Computation* yang diadakan oleh IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) dan berhasil memenangkan tempat ketiga. Terinspirasi dari hasil tersebut, Price dan Storn menulis sebuah artikel untuk jurnal Dr. Dobbs (*"Differential Evolution: A Simple*

²⁴ Rasmus K. Ursen, "*Differential Evolution Made Easy*", *Technical Report no. 01, 2005*

Evolution Strategy for Fast Optimization”) yang diterbitkan pada April 1997 dan selanjutnya mereka menerbitkan artikel lagi untuk *Journal of Global Optimization* (“*Differential Evolution: A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Space*”). Artikel-artikel ini memperkenalkan DE ke komunitas internasional dan mendemonstrasikan keunggulan yang dimiliki oleh DE dibandingkan dengan metode heuristik yang lainnya. Pada tahun 1999, Price membuat suatu ringkasan yang berisi penjelasan mengenai algoritma DE ini dalam bentuk buku yang berjudul “*New Ideas in Optimization*”²⁵.

DE telah sukses diterapkan di berbagai bidang, baik teknik maupun sains, beberapa contoh diantaranya adalah²⁶:

- Desain *filter* digital (Storn, 1996)
- Pengambilan keputusan untuk produksi bahan bakar alkohol (Wang et al., 1998)
- Proses fermentasi untuk *lot size* tertentu (Chiou dan Wang, 1999)
- Perpaduan multi sensor (Joshi dan Sanderson, 1999)
- Optimasi dinamis untuk reaksi polimer yang terus-menerus (Lee et al., 1999)
- Optimasi pertukaran panas (Babu dan Munawar, 2000)
- Perencanaan persediaan (Srikanta dan Rambabu, 2003), dan lain-lain

2.4.2 Konsep Dasar

Seperti yang dijelaskan di atas, DE bekerja dengan meniru teori evolusi biologi. DE memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan metode optimasi klasik, diantaranya adalah:

- Memiliki populasi yang berisikan calon-calon penyelesaian
- Merupakan metode non-deterministik yang menghasilkan solusi-solusi yang berbeda meskipun model awalnya tidak dirubah, karena bekerja dengan menggunakan *random sampling*.

²⁵ <http://www.icsi.berkeley.edu/~storn/code.html>

²⁶ Srikanta Routroy dan Rambabu Kodali, Op. Cit.

- Menggunakan elemen-elemen dari solusi-solusi yang telah ada untuk menciptakan solusi baru dengan cirri-ciri yang diwariskan dari elemen-elemen induknya.

Mirip dengan EA lainnya, DE menggunakan vektor-vektor yang merepresentasikan kandidat-kandidat penyelesaian dimana teknik pencariannya dilakukan sekaligus atas sejumlah solusi yang disebut dengan populasi. Populasi awal (generasi ke nol) dibentuk dengan membangkitkan bilangan acak, sedangkan populasi berikutnya merupakan hasil evolusi dari vektor-vektor yang telah melalui tahap reproduksi, mutasi, rekombinasi, dan seleksi. Setiap individu didefinisikan sebagai vektor berdimensi-D dimana vector-vektor tersebut dilambangkan sebagai $x_{i,g}$ yang merupakan anggota populasi pada generasi ke-g. Populasi dinotasikan sebagai P_x yang terdiri atas vektor-vektor tersebut yang berdimensi N_p dimana N_p merupakan ukuran populasi. Oleh karena itu, Populasi dan vektor yang menjadi calon-calon penyelesaian dapat dilambangkan ke dalam bentuk umum seperti berikut:

$$P_{x,g} = (x_i, g), i = 0, 1, \dots, N_p - 1, g = 0, 1, \dots, g_{max} \quad (2.11)$$

$$x_{i,g} = (x_j, i, g), j = 0, 1, \dots, D - 1$$

Pada setiap generasi, tiap individu calon penyelesaian akan melewati proses evaluasi dimana individu-individu tersebut akan membentuk vektor target dan dihitung fungsi objektifnya (atau seringkali disebut sebagai *fitness function*). Selain itu, individu-individu tersebut akan dilakukan proses mutasi dan pindah silang (*crossover*) agar dapat membentuk vektor *trial* yang digunakan untuk membentuk populasi anak (populasi pada generasi selanjutnya). Populasi generasi selanjutnya akan dibentuk dengan cara membandingkan fungsi objektif dari vektor induk dan anak (vektor *trial*) dimana individu dengan nilai fungsi objektif yang terbaik akan lolos ke generasi selanjutnya. Proses tersebut akan terus diulang hingga kriteria terminasi terpenuhi.

2.4.3 Tahapan Pengerjaan

Dalam proses pencarian solusi, DE akan melalui tahapan-tahapan berupa inisialisasi, mutasi, pindah silang, seleksi, dan terminasi.

2.4.3.1 Inisialisasi

Tahapan inisialisasi merupakan penetapan parameter kontrol dan populasi awal (generasi ke-0). Tujuan penetapan parameter kontrol adalah untuk menemukan solusi yang dapat diterima melalui sejumlah evaluasi fungsi dan nantinya akan berdampak pada performa DE. DE memiliki parameter kontrol yang tidak banyak, dimana hal ini merupakan salah satu keunggulan DE dibandingkan algoritma optimasi lainnya. Parameter kontrol pada DE diantaranya adalah ukuran populasi, parameter kontrol mutasi, dan parameter kontrol pindah silang.

Ukuran populasi (N_p) merupakan jumlah saluran populasi dalam satu generasi (berupa kolom matriks) yang nilainya tetap selama proses pencarian. Namun, jika proses pencarian mengalami hambatan, maka nilai dari N_p dapat dinaikkan. Umumnya, nilai dari $N_p = 10 \times D$, dimana D merupakan ukuran dimensi (berupa baris matriks). Dimensi merupakan input parameter yang nilainya akan berubah-ubah selama proses pencarian solusi. Populasi awal (berisikan individu sejumlah N_p) yang diinisialisasikan, merupakan populasi solusi awal yang dapat diperoleh dari metode heuristic maupun diperoleh dengan pengambilan sampel secara acak.

Parameter kontrol mutasi (F) merupakan parameter kontrol bernilai bilangan asli positif yang berfungsi dalam mengendalikan tingkat evolusi dari populasi. Nilai efektif dari F umumnya berada pada kisaran $[0.4, 1]$. Walaupun pada teorinya nilai dari parameter kontrol mutasi tersebut tidak memiliki batas atas (dapat lebih besar dari 1), sangat jarang nilainya lebih besar dari 1. Selain itu, nilai F yang lebih kecil dari 0.4 juga tidak efektif karena akan membawa vektor mutasi yang mendekati vektor target.

Parameter kontrol pindah silang (Cr) merupakan parameter yang digunakan dalam penentu pewarisan gen yang dimiliki oleh vektor target dan vektor mutasi dalam pembentukan vektor *trial* dengan cara membandingkannya

Universitas Indonesia

dengan bilangan acak yang dibangkitkan pada proses pindah silang. Nilai dari Cr ini berkisar pada antara $[0,1]$.

Setelah menentukan parameter kontrol, maka dilakukan evaluasi dari populasi awal yang terbentuk. Evaluasi dilakukan dengan cara menghitung nilai dari fungsi objektifnya. Evaluasi ini dilakukan sebagai ukuran dalam menentukan karakteristik dari vektor pada generasi selanjutnya.

2.4.3.2 Mutasi

Setelah melakukan inisialisasi, proses selanjutnya adalah proses mutasi. Mutasi merupakan proses untuk membentuk vektor mutasi ($v_{i,g}$) yang diperoleh dari mengalikan selisih dari dua vektor pada generasi sekarang yang dipilih secara acak dengan parameter kontrol mutasi (F) lalu dijumlahkan dengan vektor yang ketiga yang juga dipilih secara acak. Oleh karena itu, ukuran populasi minimal adalah empat. Rumus dari proses mutasi ini adalah sebagai berikut:

$$v_{i,g} = xr_{0,g} + F \cdot (xr_{1,g} - xr_{2,g}) \quad (2.12)$$

2.4.3.3 Pindah Silang

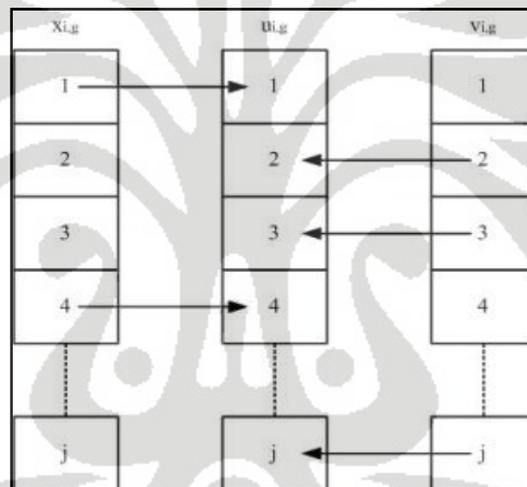
Untuk melengkapi proses mutasi, DE juga menggunakan proses pindah silang (*crossover*), atau terkadang disebut sebagai rekombinasi diskrit (*discrete recombination*)²⁷. Pindah silang merupakan proses yang bertujuan untuk memperkaya keanekaragaman gen dalam populasi yang akan memasuki generasi yang berikutnya dengan menyilangkan gen yang dimiliki oleh populasi vektor mutan dengan populasi vektor target sehingga membentuk populasi vektor *trial*. Proses pindah silang ini melibatkan parameter kontrol pindah silang (Cr). Parameter kontrol pindah silang ini merupakan elemen yang menentukan gen-gen mana saja yang diperoleh dari vektor target dan mutan untuk diwariskan kepada vektor *trial*. Penentuan ini dilakukan dengan cara membandingkan nilai Cr tersebut dengan bilangan yang dibangkitkan secara acak. Jika nilai Cr lebih besar dari bilangan acak, maka gen dari vektor mutasi akan lolos untuk memasuki

²⁷ Price, Kenneth V, Rainer M. Storn, Jouni A. Lampinen. (2005). *Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization*. Germany: Springer.

vektor *trial*, sedangkan jika nilai Cr lebih kecil atau sama dengan bilangan acak, maka gen dari vektor target yang akan lolos memasuki vektor *trial*. Berikut adalah formula umum dari proses pindah silang beserta representasi visualnya:

$$\mathbf{u}_{i,g} = u_{j,i,g} = \begin{cases} v_{j,i,g} & \text{if } (rand_j(0,1) \leq Cr \text{ or } j = j_{rand}) \\ x_{j,i,g} & \text{if } (rand_j(0,1) > Cr \text{ or } j \neq j_{rand}) \end{cases} \quad (2.13)$$

Setelah diperoleh populasi dari vektor *trial*, maka vektor *trial* itu akan dievaluasi nilai objektifnya sebagaimana evaluasi yang dilakukan terhadap vektor target dimana nilai ini digunakan pada proses selanjutnya, yaitu proses seleksi.



Gambar 2.5. Proses Terjadinya Pindah Silang

(Sumber :Ownobolu dan Davendra, 2006)

2.3.3.4 Seleksi

Tahapan ini merupakan tahapan dimana terjadi pemilihan antara vektor target dan vektor *trial* yang akan lolos untuk masuk ke generasi yang selanjutnya. Penyeleksian dilakukan dengan cara membandingkan nilai yang merupakan hasil dari evaluasi nilai objektif pada vektor target dan vektor *trial*. Vektor yang akan lolos ke generasi selanjutnya adalah vektor yang memiliki nilai evaluasi yang terbaik seperti yang ditunjukkan oleh bentuk umum di bawah ini:

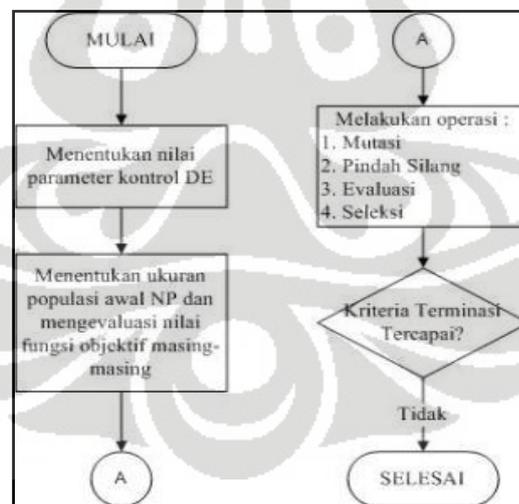
$$x_{i,g+1} = \begin{cases} u_{i,g} & \text{if } f(u_{i,g}) \leq f(x_{i,g}) \\ x_{i,g} & \text{if } f(u_{i,g}) > f(x_{i,g}) \end{cases} \quad (2.14)$$

2.3.3.5 Terminasi

Terminasi merupakan keadaan dimana proses pencarian solusi optimal berhenti. Terminasi terjadi ketika proses pencarian solusi optimal telah mencapai kriteria terminasi. Namun, bila kriteria terminasi belum terpenuhi, maka akan dibentuk lagi generasi baru dengan mengulangi langkah-langkah sebelumnya dari awal. Umumnya kriteria terminasi adalah sebagai berikut²⁸:

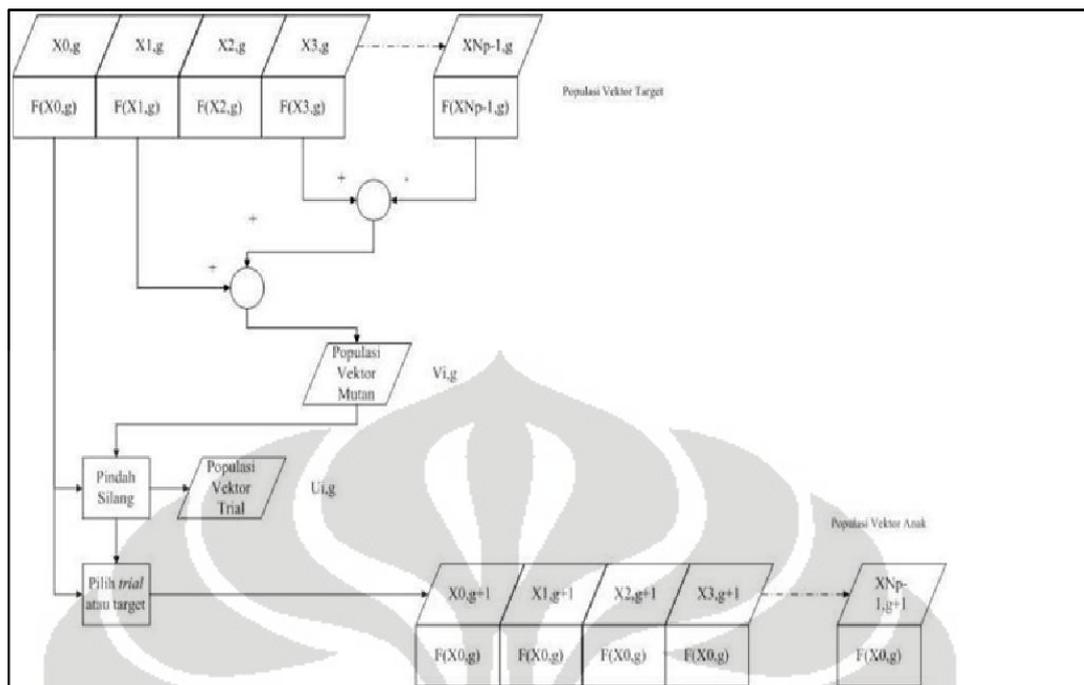
- Jumlah iterasi maksimum
- Waktu komputasi maksimum
- Mencapai keadaan konvergen (nilai dari fungsi objektif yang optimal tidak lagi berubah)

Secara lebih detil, tahapan proses pengerjaan DE ditunjukkan pada gambar 2.6. dan gambar 2.7.



Gambar 2.6. Diagram Alir Tahapan Pengerjaan DE Secara Umum

²⁸ Price, Kenneth V, Rainer M. Storn, Jouni A. Lampinen. (2005). *Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization*. Germany: Springer.



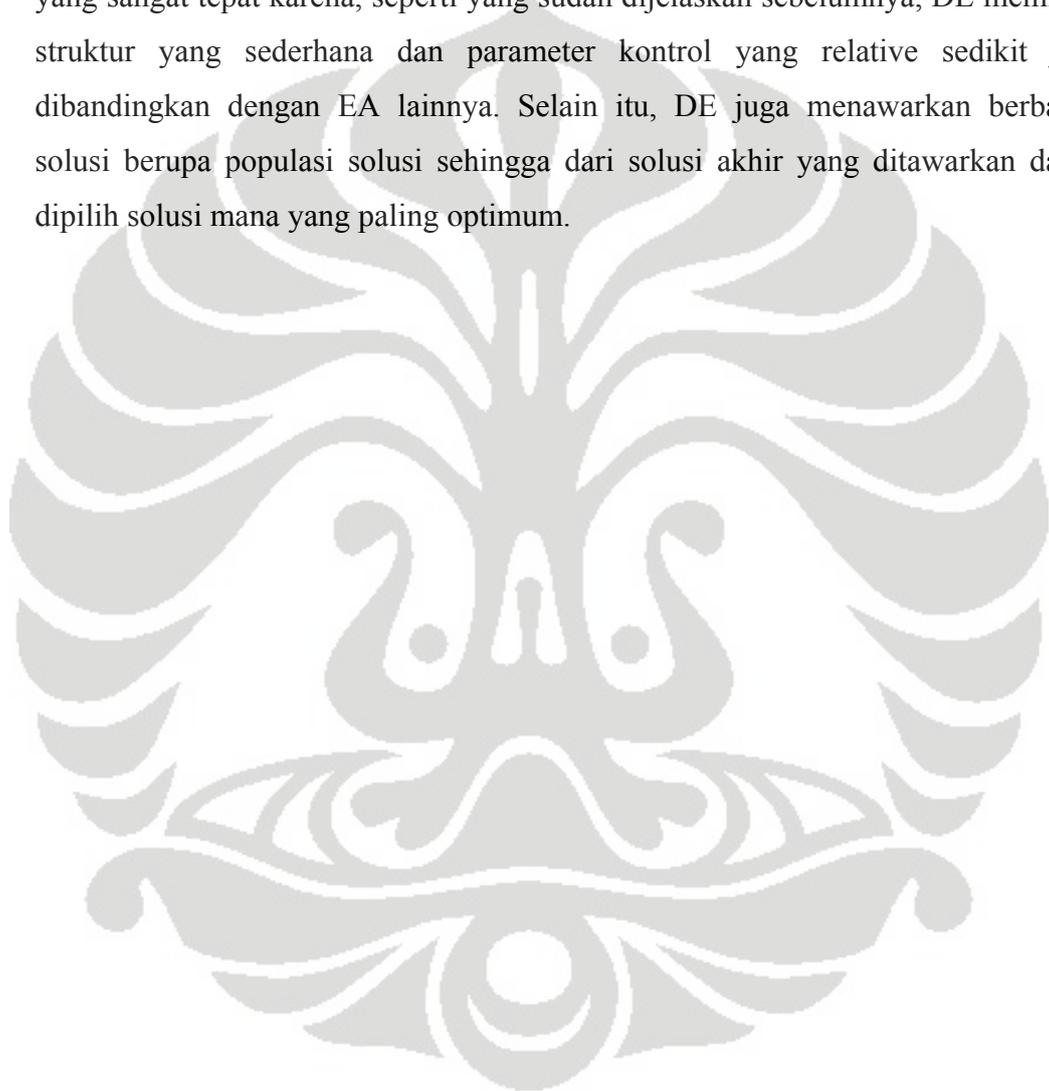
Gambar 2.7. Diagram Alir Proses Pencarian Solusi DE

2.4.4 Permasalahan Kombinatorial dengan DE

Dalam banyak kasus, seringkali permasalahan yang ditemui berupa permasalahan kombinatorial yang memiliki fungsi-fungsi yang berupa integer. Beberapa contoh permasalahan yang berupa masalah kombinatorial diantaranya adalah masalah penjadwalan, tata letak, dan *routing*. Pada masalah-masalah tersebut, variabel-variabel yang ada berupa integer dan bersifat stokastik, sehingga kemungkinan dari solusi-solusi yang ditawarkan ada banyak, sehingga kemungkinan untuk mendapatkan nilai optimum lokal pun menjadi sangat besar. Untuk kasus-kasus yang berskala kecil, umumnya permasalahan tersebut dapat dipecahkan dengan *Integer Linear Programming* (ILP), namun untuk kasus yang lebih besar, solusi yang ditawarkan dapat menjadi amat banyak. Misalnya, dalam kasus *routing*, ada banyak sekali kemungkinan dalam menentukan urutan jalur terpendek dari satu tempat ke tempat lainnya jika jumlah tempat yang harus dilewati ada puluhan atau ratusan. Kasus seperti ini sulit untuk dipecahkan dengan menggunakan teknik optimasi konvensional seperti ILP karena banyaknya kemungkinan kombinasi penyelesaian yang tersedia dapat menyebabkan hasil

optimum yang diperoleh dapat berupa nilai optimum lokal, bukan optimum global.

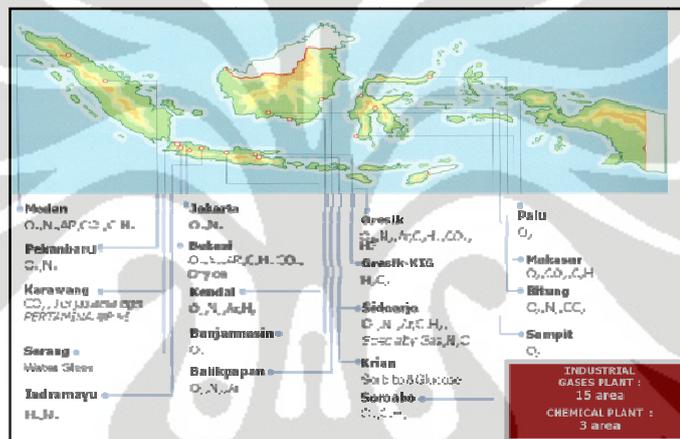
Oleh karena itu, untuk menyelesaikan permasalahan kombinatorial yang rumit diperlukan pendekatan algoritmik seperti DE, dimana pendekatan algoritmik dapat membawa solusi penyelesaian menjauhi nilai-nilai optima lokal. Pemecahan permasalahan optimasi kombinatorial dengan menggunakan DE merupakan solusi yang sangat tepat karena, seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, DE memiliki struktur yang sederhana dan parameter kontrol yang relative sedikit jika dibandingkan dengan EA lainnya. Selain itu, DE juga menawarkan berbagai solusi berupa populasi solusi sehingga dari solusi akhir yang ditawarkan dapat dipilih solusi mana yang paling optimum.



BAB 3 PENGUMPULAN DATA

3.1 Profil Perusahaan

PT. S merupakan perusahaan produsen gas industri nasional yang berdiri selama 34 tahun. 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 Nusantara.



Gambar 3.1. Area Pabrik Gas Industri di Indonesia

(Sumber: Perusahaan, 2009)

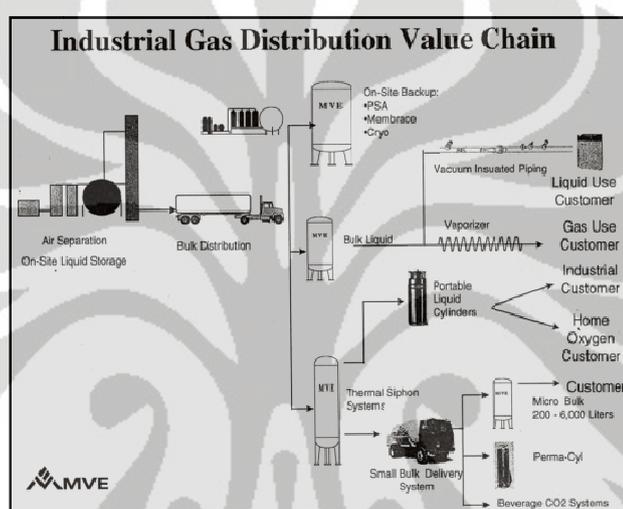


Gambar 3.2. Area Filling Station di Indonesia

(Sumber: Perusahaan, 2009)

Bisnis perusahaan gas 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.

Gambar di bawah ini adalah bagan yang menunjukkan distribusi gas industri di perusahaan gas



Gambar 3.3. Diagram Alir Distribusi Gas Industri pada Perusahaan Gas

(Sumber: Perusahaan, 2009)

3.2 Sistem Pengiriman Gas Tabung

Penelitian skripsi 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*).

Penjadwalan distribusi dilakukan berdasarkan pesanan harian. Setiap hari, perusahaan akan menerima permintaan dari pelanggan untuk dilakukan pengiriman sejumlah gas tabung dan pengambilan sejumlah tabung kosong yang

terdapat di pelanggan. Permintaan tersebut akan diterima dalam bentuk lembaran faks yang akan dicatat oleh *Sales Counter* dalam bentuk *Delivery Order (DO)*, kemudian DO tersebut akan diteruskan ke bagian Distribusi untuk diproses, sehingga dapat dilakukan pemilahan produk-produk yang akan dikirimkan sesuai dengan tujuan pengiriman, penghitungan total permintaan per lokasi, pengalokasian gas-gas tabung ke dalam kendaraan, dan pemeriksaan kapasitas kendaraan. Setelah dokumen-dokumen yang diperlukan dalam proses distribusi selesai diverifikasi, maka pengiriman produk dapat dilakukan. Secara ringkas, proses administrasi dan pelaksanaan pengiriman gas tabung dapat dilihat dalam diagram alir pada gambar 3.4 (halaman 41).

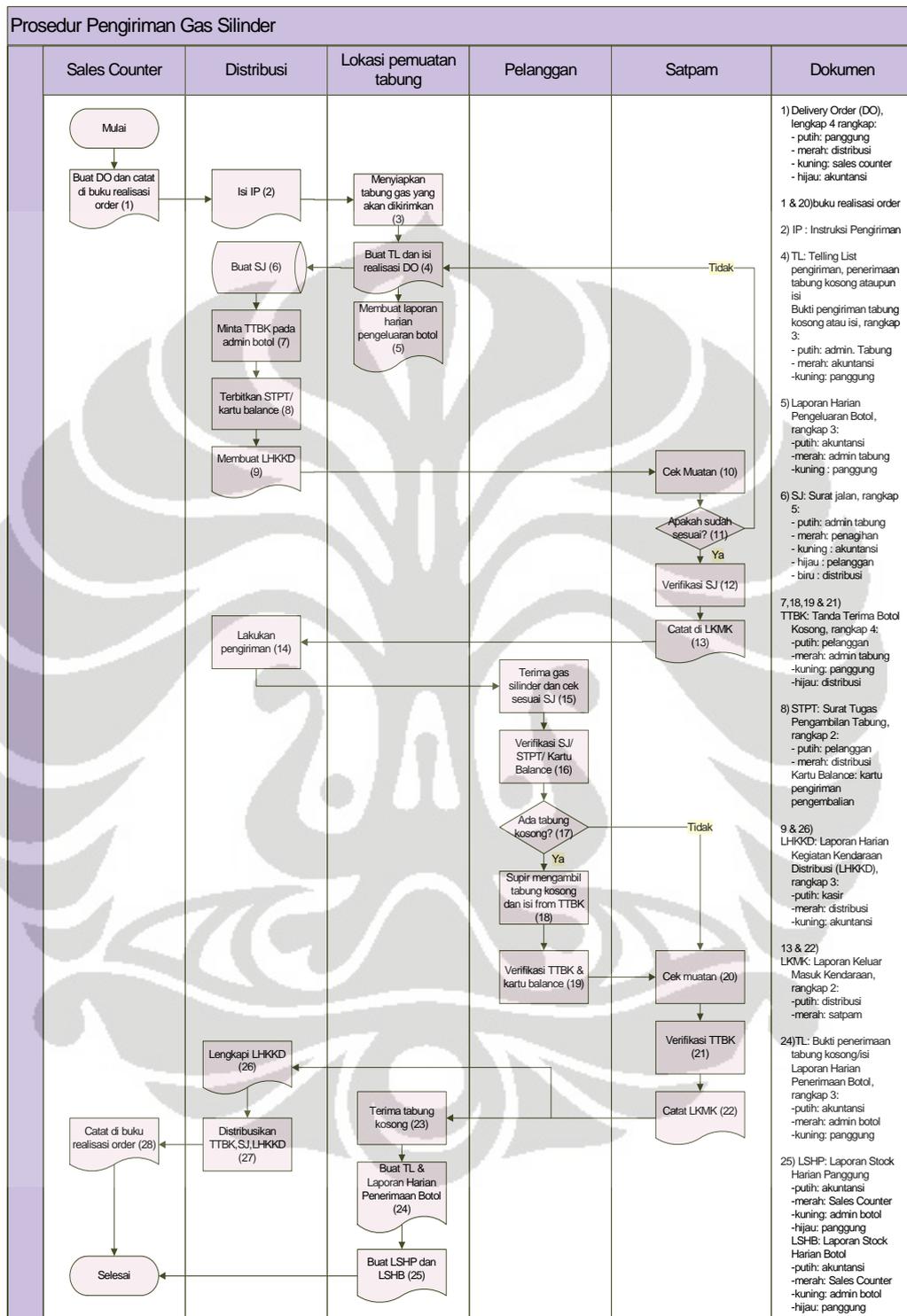
Pada saat melakukan pengiriman, pengemudi yang akan menentukan urutan pelanggan yang akan dilayani berdasarkan pengalaman dan pengetahuannya terhadap lokasi dan jalur-jalur yang harus dilewati. Umumnya, pengemudi melayani pelanggan yang berlokasi lebih dekat dahulu baru bergerak menjauh. Apabila ada permintaan tambahan, rute ini masih dapat berubah. Selama kapasitas kendaraan masih memenuhi dan lokasi pelanggan tidak menyimpang dari rute awal, maka permintaan tersebut dapat dilayani.

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. Setelah menyelesaikan proses administrasi, maka pengemudi dapat melanjutkan pengiriman ke lokasi berikutnya atau kembali ke depot.

3.3 Data yang Diperlukan

Untuk menyelesaikan permasalahan VRP di perusahaan gas ini, maka diperlukan data yang menggambarkan keadaan pelaksanaan distribusi yang

selama ini berlangsung di perusahaan. Dari data-data tersebut, maka dapat dilakukan pencarian solusi yang optimal, serta dapat dilakukan analisa



Gambar 3.4. Diagram Alir Prosedur Pengiriman Gas Tabung

(Sumber: Perusahaan, 2009)

perbandingan antara pelaksanaan distribusi yang selama ini berlangsung di perusahaan terhadap hasil pencarian solusi yang baru menggunakan metode *Differential Evolution*.

Data yang dibutuhkan antara lain adalah data lokasi depot dan lokasi pelanggan, armada pengiriman, produk, permintaan, *time windows* dan *service time* masing-masing pelanggan, kecepatan kendaraan, jarak antar pelanggan, rute pengiriman, dan biaya distribusi.

3.2.1 Lokasi Depot

Depot adalah titik awal keberangkatan semua kendaraan yang mengirimkan produk. Untuk pengiriman gas tabung, depot terletak di Jakarta Barat, yaitu salah satu *filling station* perusahaan gas. Depot beroperasi dari hari Senin sampai Sabtu. Hari Senin sampai Jumat, depot buka dari pukul 08:00 hingga 17:00, sedangkan untuk hari Sabtu, dari pukul 08:00 – 12:00. Kegiatan pengiriman berlangsung normal untuk hari Senin sampai Jumat, sedangkan untuk hari Sabtu tidak selalu terjadi pengiriman normal seperti pada hari Senin - Jumat.

Kendaraan mulai berangkat melakukan pengiriman produk pada pukul 09:00 dan kembali pada pukul 17:00. Apabila terjadi keadaan khusus, misalnya kemacetan di luar keadaan biasa atau kecelakaan yang menyebabkan kendaraan kembali lebih dari jam operasi depot, kendaraan masih diperbolehkan kembali ke depot lebih dari jam operasi tersebut.

3.2.2 Pelanggan

Pelanggan perusahaan gas ini terbagi menjadi 2 bagian besar yaitu 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 bab pengumpulan data ini, hanya ditampilkan beberapa nama

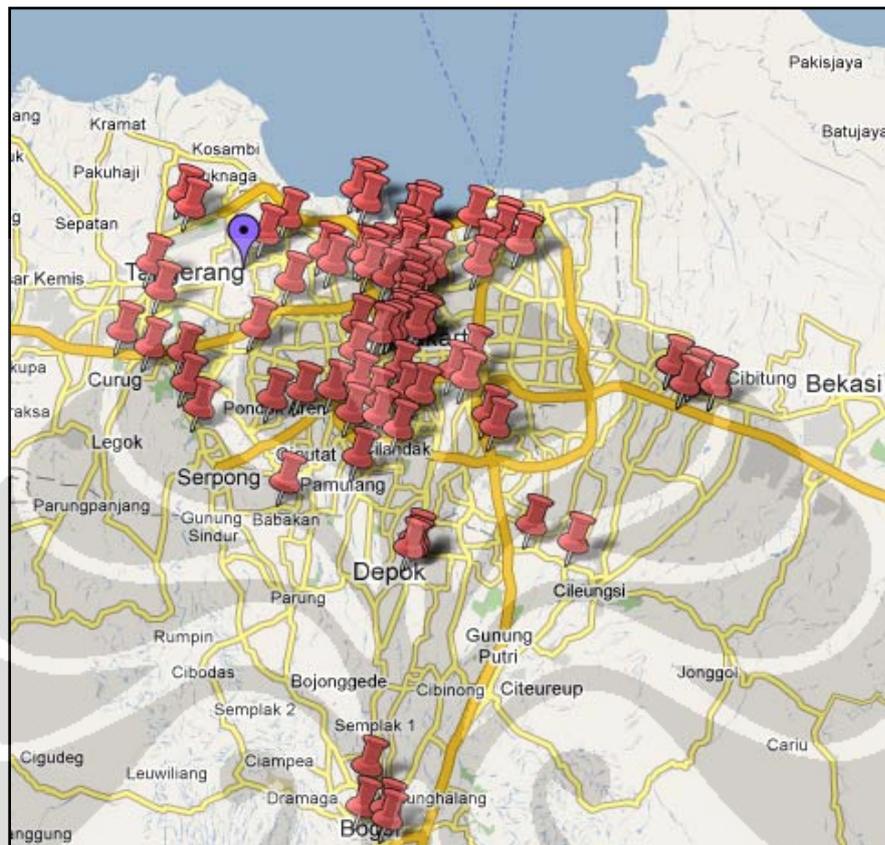
pelanggan seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 3.1 mengingat jumlahnya yang sangat banyak. Selengkapnya dapat dilihat di Lampiran.

Tabel 3.1. Daftar Nama Pelanggan *Outlet* Perusahaan Gas

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

(Sumber: Perusahaan, diolah)

Gambar di bawah ini merupakan peta yang menunjukkan lokasi-lokasi pelanggan *outlet* di wilayah Jabodetabek.



Gambar 3.5. Lokasi Pelanggan *Outlet*

Keterangan gambar:



Lokasi depot



Lokasi pelanggan *outlet*

Pelanggan industri dan rumah sakit perusahaan gas adalah perusahaan – perusahaan dan rumah sakit - 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.

Universitas Indonesia

Nama-nama pelanggan industri dan rumah sakit yang pengirimannya dilakukan oleh depot dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan lokasi-lokasi pelanggan industri dan rumah sakit dapat dilihat pada Gambar 3.6.

Tabel 3.2. Daftar Pelanggan Industri dan Rumah Sakit Perusahaan Gas

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

(Sumber: Perusahaan gas, diolah)



Gambar 3.6. Peta Lokasi Pelanggan Industri dan Rumah Sakit

Keterangan gambar:



Lokasi pelanggan industri dan rumah sakit



Lokasi depot

3.2.3 Armada Pengiriman

Perusahaan memiliki 3 jenis kendaraan untuk melakukan pengiriman, yaitu kendaraan berjenis mobil *pick-up*, truk engkel, dan truk *double*. Dua buah kendaraan berjenis mobil *pick-up* dialokasikan untuk melakukan pengiriman ke *outlet-outlet* restoran, hotel, dan kafe. Pertimbangan perusahaan dalam menggunakan mobil *pick-up* untuk melayani pelanggan *outlet*, hotel, dan kafe, adalah lokasi *outlet* restoran yang umumnya berada di pusat perbelanjaan. Oleh sebab itu, armada pengiriman harus mampu melewati batas atas tempat parkir *basement* yang dimiliki oleh pusat-pusat perbelanjaan tersebut.

Truk engkel sebanyak 2 buah dan 1 buah truk *double* dialokasikan untuk melakukan pengiriman ke industri dan rumah sakit. Keuntungan menggunakan truk dalam melakukan pengiriman gas tabung ke industri dan rumah sakit adalah kapasitas truk yang besar, sehingga memungkinkan untuk memenuhi permintaan

pelanggan industri dan rumah sakit yang umumnya berjumlah besar. Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan spesifikasi masing-masing jenis kendaraan.

Tabel 3.3. Data Armada Pengiriman 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: Perusahaan, 2009)

Ketiga jenis kendaraan di atas menggunakan bahan bakar solar dengan rasio bahan bakar 1:5, yaitu 1 liter untuk 5 km.

3.2.4 Spesifikasi Produk dan Kemasan

Perusahaan gas memproduksi berbagai jenis gas yaitu oksigen, nitrogen, karbondioksida, argon, udara tekan, nitro oksida, hidrogen, asetilen, ammonia, klorin, dan helium, baik dalam bentuk *liquid* yang dikirim dengan mobil tangki maupun gas yang dikemas dalam tabung. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, khusus untuk unit bisnis *filling station*, yang sekaligus adalah depot ini, menangani produk perusahaan berupa gas yang dikemas dalam tabung.

Terdapat 2 jenis kemasan tabung yang dipakai 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.

3.2.5 Permintaan

Setiap hari, perusahaan gas harus memenuhi permintaan yang jumlahnya berbeda untuk masing-masing pelanggan. Pelanggan yang melakukan pemesanan pengiriman gas maupun pengambilan tabung juga berbeda untuk setiap harinya. Pelanggan *outlet*, hotel, dan kafe hanya memesan gas CO₂ saja. Sementara itu, pelanggan industri dan rumah sakit, jenis gas yang diminta berbeda sesuai dengan kebutuhan.

Permintaan pelanggan dinyatakan dalam satuan tabung. Umumnya, pelanggan *outlet* memesan dalam jumlah yang sedikit namun frekuensi permintaannya tinggi, sementara pelanggan industri dan rumah sakit memesan dalam jumlah besar. Tabel 3.5 dan tabel 3.6 merupakan contoh data permintaan pelanggan *outlet* dan permintaan pelanggan industri dan rumah sakit dalam 1 hari di bulan April yaitu Senin, 20 April 2009. Data permintaan 1 minggu pada bulan April 2009 dapat dilihat di lampiran.

Tabel 3.4. Permintaan Pelanggan *Outlet* Hari Senin, 20 April 2009

SENIN, 20 APRIL 2009					
Tujuan Kirim	Total Pengiriman Tabung Isi	Total Pengambilan Tabung Kosong	Lokasi	Total Pengiriman per lokasi	Total Pengambilan per lokasi
A-DM	1	1	DM	1	1
P-JAY	2	2	JAY	2	2
STD	3	3	STD	3	3
A-ITMD	3	1	ITMD	8	4
PH-ITMD	2	2	WTMD	5	5
A-MDM-ITMD	3	1	MDS	2	2
A-WTMD	5	5	GNS	3	3
A-MDS	2	2	ASEN	3	3
HBGNS	3	3	CIT	12	12
A-ASEN	3	3	UNT	2	2
W-CIT	2	2	RXM	6	6
A-CIT	4	4	MTA	8	9
PH-CIT	5	5	KED	5	5
CH-CIT	1	1	GG	3	3
A-UNT	2	2	PUM	10	11
MC-RXM	2	2			
A-RXM	4	4			
A-MTA	6	6			
FS-MTA	2	3			
A-KED	5	5			
PH-GG	3	3			
CR-PUM	2	2			
A-PUM	7	7			
DK-PUM	2	2			
			TOTAL	73	71

(Sumber: Perusahaan, diolah)

Tabel 3.5. Permintaan Pelanggan Industri dan RS pada Kendaraan 1 Hari Senin, 20 April 2009

Kendaraan	No Mobil	Tujuan Kirim	Total Pengiriman Tabung Isi	Total Pengambilan Tabung Kosong
Truk Engkel (maks. 60 tabung)	1	PMG	14	36
		ROM	10	10
		ALG	10	12
TOTAL			34	58

(Sumber: Perusahaan, diolah)

3.2.6 Waktu dan kecepatan

Data waktu yang perlu diketahui adalah *time windows*, dan *service time*. *Time windows* adalah batasan waktu seorang pelanggan dapat dilayani atau masih dapat menerima kiriman produk. Melalui wawancara dengan pihak perusahaan, diketahui bahwa pelanggan *outlet* dapat menerima barang mulai dari pukul 09:00 sampai pukul 22:00, sedangkan pelanggan industri mulai dari pukul 09:00 sampai pukul 17:00. Oleh karena itu, dapat ditetapkan bahwa *time windows* untuk pelanggan *outlet* adalah pukul 09:00 – 22:00 dan untuk pelanggan industri adalah pukul 09:00 – 17:00.

Service time adalah waktu pelayanan di setiap lokasi pelanggan. *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-ratanya 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.

3.2.7 Jarak

Data jarak yang dikumpulkan adalah jarak antara depot dengan masing-masing pelanggan dan jarak antar pelanggan. Pengambilan data jarak ini

dilakukan dengan menggunakan bantuan peta digital dan catatan laporan total kilometer per hari para pengemudi setiap melakukan pengiriman.

Peta digital yang digunakan merupakan aplikasi yang dikeluarkan oleh Google, yaitu Google Maps (www.maps.google.com). Aplikasi peta digital tersebut memiliki alat bantu pengukur jarak yang bernama *distance measurement tool*. *Distance measurement tool* ini dapat digunakan untuk mengukur jarak antara dua titik yang berada di peta. Jarak yang dihasilkan dari Google Map ini relatif akurat berdasarkan perbandingan yang dilakukan terhadap hasil pengukuran *odometer* kendaraan setiap melakukan pengiriman yang dicatat oleh pengemudi dalam Laporan Harian Kegiatan Kendaraan Distribusi (LHKKD).

Pengukuran jarak antara dua titik di Google Maps dilakukan dengan mengikuti alur jalan yang ada di peta sehingga data jarak yang diperoleh dapat mendekati jarak aktual yang ditempuh oleh kendaraan. Pemilihan jalan yang menghubungkan dua titik tertentu dilakukan dengan pertimbangan jarak terdekat dan juga kondisi atau karakteristik jalan (tingkat kemacetan). Kemudian, diasumsikan jarak tempuh dari titik A ke titik B sama dengan jarak tempuh dari titik B ke titik A, sehingga matriks jarak yang dihasilkan akan simetris. 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 jarak tempuh pada matriks data merupakan data jarak sebenarnya ditambah dengan jarak hasil toleransi tingkat kemacetan. Hal ini dilakukan untuk memberi pendekatan yang lebih riil pada keadaan sebenarnya.

Matriks jarak dari depot ke masing-masing pelanggan dan antar pelanggan dapat dilihat di lampiran.

3.2.8 Rute Pengiriman

Data rute pengiriman merupakan data historis perusahaan dalam mengatur rute pengiriman harian. Rute pengiriman selama ini ditentukan berdasarkan pengalaman dan preferensi pengemudi atas asumsi kedekatan lokasi dan pertimbangan kapasitas kendaraan, maka dokumentasi rute diperoleh dari Laporan Harian Kegiatan Kendaraan Distribusi (LHKKD) yang ditulis oleh pengemudi.

Tabel di bawah ini menunjukkan rute pengiriman dari hari Senin-Jumat pada bulan April 2009 untuk pelanggan *outlet* dan pelanggan industri dan rumah sakit.

Tabel 3.6. Rute Pengiriman ke Lokasi *Outlet* Selama 5 Hari

Hari	Tanggal	Rute	Lokasi Pengiriman										Total jarak tempuh
Senin	20/04/2009	1	ITMD	WTMD	MDS	ASEN	GNS	JAY	STD	DM			56,16
		2	RXM	MTA	KED	GG	OUM	UNT	CIT				53,68
Selasa	21/04/2009	1	TP	MK	PLM	EMP	GNS	SUN					60,24
		2	ITPH	TRW	PAF	PLAZ	ITKN	MTH	HSHA				70,62
Rabu	22/04/2009	1	ITCM	PHCP	MAG	LPI	MOI	MKG					64,45
		2	PIM	POLB	CITS	DBF	CINM	CIM	BP	AB	PHCIP	PLCPL	85,4
Kamis	23/04/2009	1	KM	PCIL	TMI	KWC	PLCIB	PHPAJ	BOS	PGM	PLIB		181,34
		2	HLE	GRI	MC	AHC	PLGI	SCB	SENY				110,46
Jumat	24/04/2009	1	AMGK	MCK	WB	ITDP							86,71
		2	SCB	GRI	HLE								48,45

(Sumber: Perusahaan, diolah)

Tabel 3.7. Rute Pengiriman ke Lokasi Industri dan Rumah Sakit Selama 5 Hari

Hari	Tanggal	Rute	Lokasi Pengiriman					
Senin	20/04/2009	1	PMG	ROM	ALG			
		2	RSBA	PLMB	HGC	MMS	SLD	RSSA
		3	ALG	RSHT				
Selasa	21/04/2009	1	LCI	INC	TIS	MMS		
		2	BUT	PLMB	PMG	RSSA	URMI	ALG
		3	RSBA	RSO	RSEH	HW	GMW	RSHT
Rabu	22/04/2009	1	RSHO	MLC	RSEH	GSG	SM	
		2	SLD	ALG	PLMB	PMG	RST	
		3	INTC	MMS	HGC	TRI	SS	
Kamis	23/04/2009	1	HGC	INC	HW	SS		
		2	SAK	RSHT	ALG	PMG	GMW	LCI
		3	SPP					
Jumat	24/04/2009	1	PLMB	SM	RSBA			
		2	GSG	PMG	SLD	URMI	ALG	
		3	RSOM	RSEH	SM	MLC		

(Sumber: Perusahaan, diolah)

3.2.9 Biaya Distribusi

Biaya distribusi perusahaan diperoleh dengan melakukan perhitungan terhadap biaya variabel yang berubah apabila terjadi perubahan pada jarak tempuh, yaitu biaya bahan bakar. Biaya pengemudi dan biaya servis tidak diperhitungkan, sebab perusahaan telah menetapkan anggaran yang tetap untuk kedua jenis biaya tersebut, sehingga besarnya jarak tempuh tidak akan mempengaruhi besarnya biaya tersebut.

Mengacu pada data armada pengiriman, diketahui bahwa rasio bahan bakar kendaraan adalah 1:5, sehingga diketahui bahwa kebutuhan bahan bakar per kilometer adalah 0.2 liter. Harga bahan bakar untuk 1 liter adalah Rp. 4500,-, sehingga dapat dihitung biaya bahan bakar per kilometer adalah Rp. 900,-.

BAB 4

PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA

4.1 Pengolahan Data

Sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu mencari solusi optimal dalam menentukan rute pengiriman sehingga dapat meminimumkan jarak tempuh dan akhirnya mampu menurunkan biaya distribusi, maka perlu dilakukan penghitungan jarak tempuh dari permintaan yang diberikan kepada perusahaan. Berdasarkan data historis permintaan dan rute pengiriman, akan dilakukan penghitungan total jarak tempuh yang dihasilkan untuk pengiriman selama 5 hari, yaitu dari hari Senin, 20 April 2009 sampai dengan Jumat, 24 April 2009. Hasil penghitungan jarak selanjutnya menjadi dasar penghitungan biaya distribusi, yaitu dengan menghitung konsumsi bahan bakar. Hal ini dilakukan karena biaya bahan bakarlah yang menjadi biaya variabel, sehingga melalui perhitungan tersebut, dapat diketahui total biaya distribusi perusahaan.

4.1.1 Penyusunan Algoritma

Penyelesaian masalah VRP pada kasus perusahaan gas ini menggunakan algoritma *Differential Evolution* (DE). Untuk menuliskan algoritma DE ini bersamaan dengan melakukan pencarian solusi yang optimal, digunakan bahasa pemrograman *Visual Basic for Application* (VBA) Microsoft Excel 2007. *Source code* VBA dapat dilihat pada lampiran.

Microsoft Office Excel 2007 merupakan salah satu produk Microsoft untuk membuat aplikasi *spreadsheet* yang umum dipakai di kalangan umum. Salah satu fasilitas penting yang dimiliki oleh Microsoft Excel adalah VBA. Sama seperti program Microsoft Visual Basic (VB), VBA merupakan fasilitas pemrograman, namun VBA terintegrasi dengan produk-produk Microsoft Office. Fasilitas VBA dapat digunakan untuk melakukan otomatisasi, sehingga untuk menyelesaikan pekerjaan yang bersifat rutin dapat dilakukan dengan lebih mudah dan lebih cepat. Selain itu, VBA dapat melakukan modifikasi terhadap program Microsoft Excel sesuai kebutuhan.

Kemudahan mengakses dan menggunakan Ms. Office, khususnya Ms. Excel, baik dari sisi pembuat aplikasi maupun pengguna program, menjadi salah satu alasan dipilihnya bahasa VBA Ms. Excel. Adanya keterkaitan antara VBA dan Ms. Excel membuat interaksi keduanya menjadi cepat dan mudah, yaitu VBA dapat mengambil data yang terdapat pada *cells* Ms. Excel, menampilkan output di Ms. Excel, dan menggunakan formula-formula yang ada pada Ms. Excel.

Nilai tambah yang diperoleh dari program ini adalah hasil yang didapat tidak hanya berupa hasil solusi penghitungan jarak tempuh dengan algoritma DE, namun dilengkapi pula dengan kemampuan untuk mengintegrasikan antara *database* pelanggan dengan data-data yang dibutuhkan untuk melakukan optimasi yaitu data matriks jarak antar pelanggan, jumlah permintaan, kapasitas kendaraan, kecepatan kendaraan dan *time windows*, sehingga aplikasi ini memudahkan pengguna untuk melakukan penjadwalan dan penentuan rute pengiriman yang optimal dalam waktu yang lebih singkat. Hal ini didukung dengan keadaan perusahaan yaitu adanya perubahan permintaan setiap hari baik dari jumlah permintaan maupun pelanggan yang meminta.

Pembuatan program optimasi rute distribusi menggunakan algoritma DE dengan VBA Excel ini didasarkan pada fungsi objektif yaitu meminimumkan jarak tempuh rute, maka output yang diharapkan dari program ini berupa urutan rute pengiriman untuk setiap kendaraan yang beroperasi dan total jarak tempuh rute tersebut. Berikut ini adalah langkah-langkah pembuatan program berdasarkan algoritma DE:

1. Penetapan Parameter Kontrol

Ada tiga parameter kontrol yang ditetapkan nilainya, yaitu ukuran populasi, parameter kontrol mutasi, dan parameter kontrol pindah silang. Ukuran populasi merupakan parameter untuk menentukan jumlah solusi awal. Ukuran populasi ditentukan berdasarkan jumlah dimensi yang telah ditentukan. Jumlah dimensi ditentukan berdasarkan jumlah variabel yang ada yang digunakan untuk menentukan nilai optimal.

Pada permasalahan ini, variabel yang menentukan atau jumlah dimensi adalah jumlah pelanggan yang didatangi, akan tetapi, khusus untuk kasus pelanggan *outlet* bisa terdapat beberapa pelanggan *outlet* yang berbeda di satu titik

kirim yang sama, sehingga lokasi yang didatangi adalah satu tempat. Oleh sebab itu, untuk kasus pelanggan *outlet*, ukuran dimensi merupakan lokasi titik kirim. Sesuai dengan data permintaan yang dimiliki, maka jumlah titik kirim sebanyak 63, sehingga ukuran populasi pelanggan *outlet* adalah 126. Sementara itu, untuk pelanggan industri dan rumah sakit, jumlah lokasi titik kirim sama dengan jumlah pelanggan, sehingga jumlah dimensi sebesar 33, sehingga ukuran populasi adalah 66.

Nilai parameter mutasi (F) dan pindah silang (Cr) terbaik ditetapkan sebesar 0.4 dan 0.5 berdasarkan jurnal “*An Improved DE for The Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-up Service*”²⁹. Hal ini dapat dibuktikan dengan percobaan menggunakan sampel nilai F dan Cr, apabila terdapat nilai yang lebih baik, maka nilai yang lebih baik ini yang akan dipakai.

Percobaan dilakukan dengan untuk nilai yaitu antar 0.4-1 dan nilai Cr yaitu 0-1. Percobaan dilakukan untuk data permintaan pelanggan *outlet* pada hari Jumat, 24 April 2009. Hasil percobaan menggunakan parameter F dan Cr yang berbeda dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.1. Hasil Percobaan Nilai F dan Cr

F	CR	Hasil	F	CR	Hasil
0,4	0,5	111,005	0,8	0,5	113,951
	0,6	111,864		0,6	114,033
	0,7	111,864		0,7	111,864
	0,8	111,864		0,8	113,329
	0,9	113,329		0,9	113,951
	1	113,951		1	112,207
0,5	0,5	111,864	0,9	0,5	113,329
	0,6	113,951		0,6	113,951
	0,7	113,951		0,7	113,951
	0,8	111,864		0,8	111,864
	0,9	113,951		0,9	113,957
	1	113,329		1	113,951
0,6	0,5	113,951	1	0,5	113,951
	0,6	113,329		0,6	111,864
	0,7	111,864		0,7	113,329
	0,8	112,207		0,8	111,864
	0,9	113,329		0,9	113,951
	1	113,951		1	113,951
0,7	0,5	113,911			
	0,6	111,864			
	0,7	113,951			
	0,8	112,207			
	0,9	112,207			
	1	113,951			

²⁹ Erbao Cao & Mingyong Lai (2007). An Improved *Differential Evolution* for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-up Service. *Third International Conference on Natural Computation*

Dilihat dari tabel, parameter $F=0.4$ dan $Cr=0.5$ memberikan hasil yang paling baik menurut fungsi objektif, yaitu minimum jarak tempuh, sehingga hasil yang paling kecil adalah yang paling baik. Oleh karena itu, parameter F sebesar 0.4 dan Cr sebesar 0.4 disimpulkan memberikan hasil yang paling baik dan akan dipakai dalam pengolahan data.

Selain 3 parameter kontrol diatas, pada tahap ini juga ditentukan kriteria terminasi program. Kriteria terminasi dapat ditentukan berdasarkan jumlah iterasi maksimum ataupun waktu proses. Pada kasus ini, kriteria yang digunakan adalah jumlah iterasi maksimum. Program akan mencapai terminasi apabila telah melakukan 1000 iterasi. Pertimbangan jumlah iterasi didasarkan pada kemungkinan untuk mendapat solusi yang paling baik.

2. Menentukan Populasi Awal

Langkah selanjutya adalah membentuk populasi awal. Populasi awal merupakan sebuah matriks yang berisi sejumlah individu awal. Untuk kasus VRP, setiap individu awal akan merepresentasikan jumlah rute untuk melayani seluruh pelanggan dan urutan pengantaran di setiap rute tersebut. Populasi awal ditetapkan secara acak. Setiap individu awal dicari dengan rumus:

$$\text{Individu awal} = \text{batas_bawah} + (\text{batas_atas} - \text{batas_bawah}) \times \text{bilangan acak} \quad (4.1)$$

Pada proses ini bilangan acak yang digunakan besarnya antara 0-1. Batas bawah dan batas atas masing-masing ditetapkan sebesar -1 dan 1. Jumlah individu awal tergantung pada parameter kontrol ukuran populasi. Pada kasus ini, parameter ukuran populasi adalah dua kali jumlah pelanggan. Artinya, bila terdapat 33 pelanggan, maka jumlah individu awalnya adalah 66. Karena populasi terdiri dari 66 individu dan tiap individu terdiri dari 33 dimensi, maka populasi awal pada tanggal tersebut merupakan matriks berukuran 66×33 .

Populasi awal masih berupa bilangan acak yang besarnya antara -1 sampai 1, sehingga populasi awal ini belum merepresentasikan urutan pengiriman ke tiap pelanggan. Oleh karena itu, perlu dilakukan proses penterjemahan bilangan acak tersebut ke dalam bilangan yang merepresentasikan urutan berdasarkan besar

kecilnya bilangan, sehingga terdapat bilangan bulat yang dapat dibaca sebagai urutan.

3. Menentukan Fungsi objektif

Fungsi objektif adalah meminimumkan jarak tempuh untuk melayani seluruh pelanggan melalui penetapan rute dan urutan pengiriman dalam rute tersebut tanpa melanggar kendala-kendala permasalahan yang telah ditetapkan, yaitu:

- Untuk setiap kendaraan atau setiap rute, muatan yang diangkut kendaraan tidak dapat melebihi kapasitas kendaraan
- Pada kedatangan ke setiap pelanggan dalam sebuah rute dilakukan aktivitas pengiriman barang dan pengambilan barang sekaligus
- Setiap pelanggan hanya didatangi sebuah kendaraan
- Pelanggan hanya dapat dilayani pada *time windows* tertentu.

4. Evaluasi Fungsi Objektif

Setiap individu awal dievaluasi dengan menggunakan fungsi objektif di atas atau penentuan solusi awal. Solusi awal berperan sebagai vektor target atau vektor orang tua (Vektor A). Solusi awal ditentukan dengan menggunakan pendekatan SPV (*Smallest Position Value*), yaitu mencari nilai fungsi objektif yang paling kecil dari populasi yang ada. Pendekatan ini dilakukan supaya hasil optimal yang didapat dari algoritma *Differential Evolution* lebih terjamin untuk mendekati solusi optimal global.

5. Proses Mutasi

Proses mutasi bertujuan untuk membuat individu baru yang disebut individu mutan. Secara teori, individu ini merupakan individu awal yang mengalami perubahan nilai pada dimensinya. Oleh karena itu, untuk membuatnya, harus diambil 3 individu acak dari populasi awal. Berikut ini adalah rumus untuk membentuk individu mutan:

$$\text{Individu mutan} = a + (b-c) * 0.4 \quad (4.2)$$

Angka 0.4 merupakan parameter mutasi (F) yang telah ditentukan pada langkah nomor 1.

6. Pindah Silang

Proses pindah silang bertujuan untuk membentuk individu baru yaitu individu *trial*. Parameter atau nilai dimensi individu *trial* ini sebagian berasal dari parameter individu target dan sebagian lagi berasal dari individu mutan, dengan mempertimbangkan operator pindah silang (Cr) dan bilangan acak.

Jika bilangan acak r (antara 0 sampai 1) yang dihasilkan lebih kecil atau sama nilainya dengan Cr maka yang berpeluang menjadi nilai dimensi ke- i individu *trial* adalah nilai dimensi ke- i individu mutan. Bila hal sebaliknya yang terjadi, maka nilai dimensi ke- i individu *trial* adalah nilai dimensi ke- i individu awal.

7. Evaluasi

Setiap individu pada populasi trial akan dievaluasi seperti yang dilakukan pada individu pada populasi awal. Individu dengan nilai jarak paling kecil selanjutnya masuk ke proses seleksi.

8. Proses Penyeleksian

Proses ini merupakan tahap untuk menentukan individu yang layak masuk ke anggota generasi berikutnya, yaitu dengan cara membandingkan nilai fungsi objektif individu target dengan individu *trial*. Untuk kasus ini, individu dengan jarak terkecil yang akan terpilih.

9. Terminasi

Tahap ke-2 hingga 7 merupakan proses untuk 1 kali iterasi. Proses ini akan berulang terus sampai dengan jumlah iterasi mencapai angka 1000. Program selanjutnya akan memilih individu dengan jarak terkecil dari 1000 iterasi yang telah dilakukan.

Source code pembuatan program dapat dilihat pada bagian lampiran, sedangkan langkah pembuatan program dapat dilihat pada diagram pada gambar 4.1 (halaman 61).

Untuk mempermudah penggunaan dan menambah utilitas program, maka pada program ini ditambahkan pengaturan-pengaturan, sehingga bisa menampilkan data permintaan secara lebih sistematis dan terintegrasi dengan program optimasi DE tersebut. Manfaat pengaturan tampilan program ini sangat besar, khususnya pada kasus optimasi rute pengiriman pelanggan *outlet*. Hal ini

mempermudah pengguna untuk mengidentifikasi pelanggan-pelanggan yang melakukan permintaan dan jumlah permintaan pengiriman dan pengambilan secara rinci, kemudian menghubungkannya dengan *database*, sehingga dapat diketahui lokasi pelanggan tersebut. Hal ini memudahkan pengguna pula untuk mengetahui jumlah permintaan per lokasi, apabila terdapat permintaan dari pelanggan yang berbeda, tetapi berada pada lokasi yang sama. Permintaan per lokasi dan lokasi titik kirim inilah yang akan dibaca oleh program optimasi rute untuk diolah dengan algoritma DE.

4.1.2 Verifikasi dan Validasi Program

Sebelum program digunakan untuk menganalisa hasil optimasi jarak tempuh aktivitas pengiriman produk, terlebih dahulu harus dilakukan verifikasi dan validasi program. Verifikasi adalah proses pemeriksaan apakah logika operasional model sesuai dengan logika diagram alur. Beberapa proses verifikasi yang dilakukan dalam proses pembuatan program ini antara lain adalah sebagai berikut:

- Memastikan kebenaran logika pemikiran, yaitu kesesuaian penulisan *source code* dengan konsep algoritma *Differential Evolution* dan dapat dijalankan dengan baik
- Memastikan bahwa program sudah memasukkan semua batasan masalah yang ada
- Memastikan fungsi tujuan

Setelah proses verifikasi, selanjutnya adalah proses validasi. Validasi dilakukan untuk dapat memastikan bahwa program menghasilkan output yang benar. Artinya, hasil perhitungan yang dihasilkan oleh program bernilai sama dengan perhitungan manual. Validasi dapat dilakukan menggunakan data *dummy*.

Pada program optimasi untuk pelanggan *outlet*, data *dummy* yang dipakai adalah jumlah pelanggan sebanyak 5, matriks jarak antar 5 pelanggan, dan tabel permintaan pengiriman dan pengambilan. Data *dummy* dapat dilihat pada tabel-tabel di bawah ini.

Tabel 4.2. Data *Dummy* Matriks Jarak Pelanggan

	0	1	2	3	4	5
0	0,00	14,36	15,00	15,62	18,30	16,27
1	14,36	0,00	0,41	1,71	4,39	5,28
2	15,00	0,41	0,00	1,30	5,32	5,40
3	15,62	1,71	1,30	0,00	3,86	3,98
4	18,30	4,39	5,32	3,86	0,00	1,05
5	16,27	5,28	5,40	3,98	1,05	0,00

Tabel 4.3. Data *Dummy* Jumlah Permintaan dan Pengambilan Tiap Pelanggan

Pelanggan	Jumlah permintaan	
	Pengiriman	Pengambilan
1	15	10
2	12	11
3	10	5
4	15	5
5	13	4

Jumlah kendaraan yang digunakan adalah 2 buah dan kapasitas kendaraan yang digunakan adalah 40 tabung. Data *service time*, kecepatan kendaraan dan *time windows* disamakan dengan permasalahan pada perusahaan ini. Konfigurasi parameter yang digunakan untuk verifikasi program ini adalah sebagai berikut.

Tabel 4.4. Parameter untuk Proses Validasi

NP	2 x jumlah pelanggan
F	0,4
CR	0,5
Iterasi Maks	1000 iterasi

Hasil *run* program menunjukkan solusi rute urutan perjalanan 0-1-2-3-0 untuk mobil pertama dan 0-4-5-0 untuk mobil kedua dan jarak total perjalanan adalah 52.85 km. Selanjutnya, perlu dilakukan perhitungan manual untuk membuktikan hasil ini benar. Iterasi perhitungan manual yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pembentukan Solusi Awal

Solusi awal dibentuk dengan menggunakan sistem random. Jumlah rute acak yang harus dibentuk ada 10 buah (sesuai dengan parameter NP).

Selanjutnya, solusi awal ini dipecah berdasarkan kapasitas maksimum kendaraan dan batasan waktu. Jarak masing-masing solusi ini adalah 55.85; 57.48; 59.18; 64.14; 58.38; 54.08; 64.40; 55.72; 62.60 dan 60.31 km. Oleh karena itu, solusi yang paling kecil ditunjukkan oleh solusi pertama dengan total jarak 52.85 km.

2. Proses Mutasi

Proses mutasi dilakukan dengan cara pengambilan 2 solusi secara random sebanyak 5 kali. Pada setiap dilakukan satu kali pengambilan, individu mutan akan dibentuk dengan rumus:

$$\text{Individu mutan} = a + (b - c) * 0.4$$

Individu b dan c adalah solusi yang diambil acak, sedangkan individu a merupakan solusi awal terbaik (individu target). Nilai individu mutan ini kemudian dibulatkan dan diurutkan. Urutan inilah yang disebut dengan individu mutan. Dengan cara yang sama diperoleh 4 individu mutan yang lain.

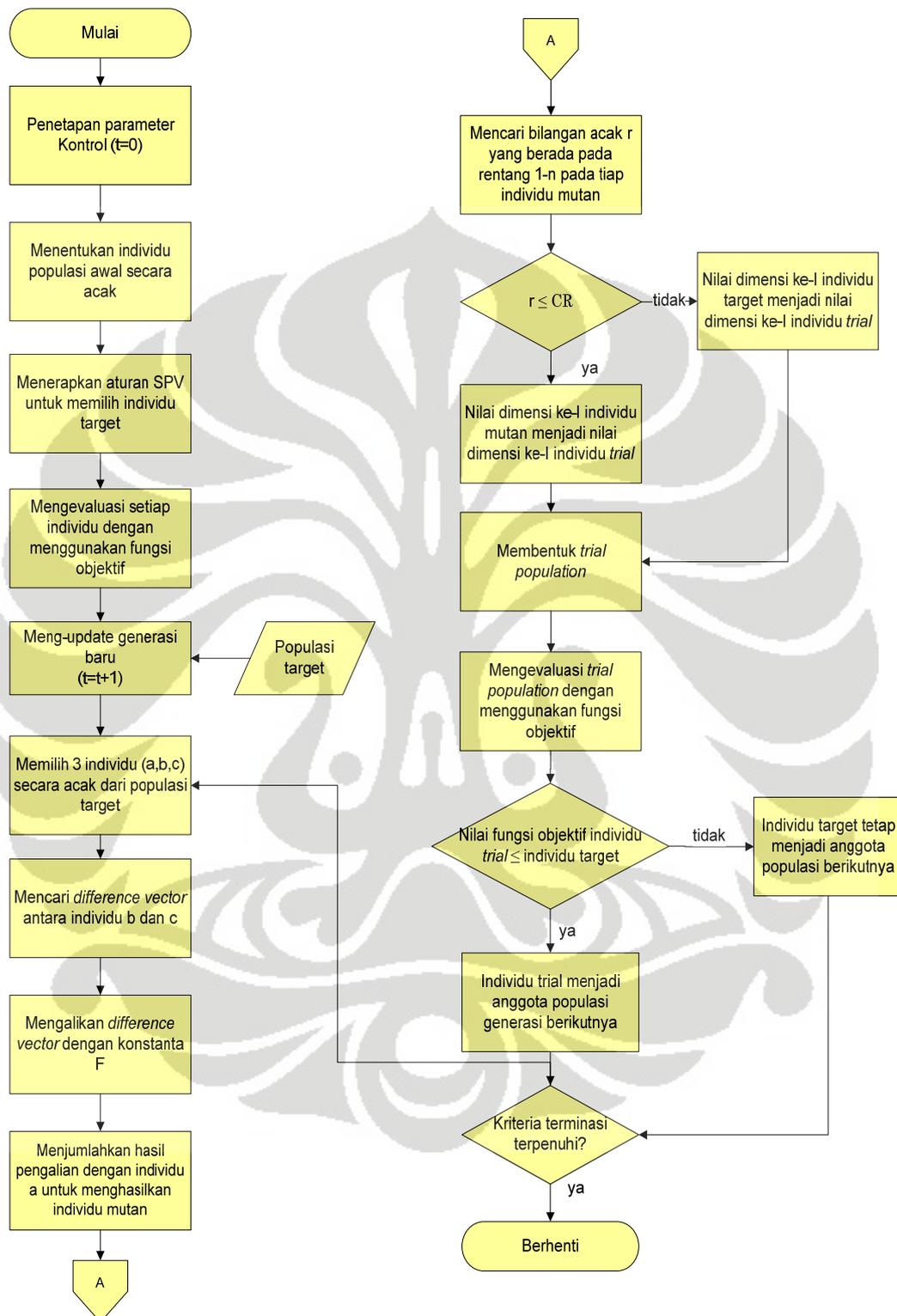
3. Proses Pindah Silang

Nilai individu target dengan individu mutan akan dipertukarkan dengan menggunakan perbandingan antara nilai Cr dan sebuah bilangan acak sehingga menghasilkan sebuah solusi baru (solusi trial). Selanjutnya, solusi trial ini dipecah berdasarkan kapasitas maksimum kendaraan dan batasan waktu. Diperoleh urutan rute 0-1-2-3-0-4-5-0, 0-1-4-5-0-2-3-0, 0-3-4-5-0-2-1-0, 0-1-4-2-0-5-3-0 dan 0-4-2-5-0-1-3-0. Jarak masing-masing solusi ini adalah 52.85, 67.99, 56.57, 59.94, dan 76.98 km.

4. Proses Seleksi

Selanjutnya, jarak tiap solusi trial dibandingkan dengan jarak individu target. Ternyata, solusi trial nomor 1 memiliki jarak yang lebih baik daripada individu target. Solusi ini memiliki urutan pengantaran **0-1-2-3-0-4-5-0**. Jadi, hasil perhitungan manual menghasilkan urutan pengantaran **0-1-2-3-0-4-5-0** dengan jarak 52.85 km.

Dapat dilihat bahwa hasil perhitungan manual diatas sama dengan hasil dari *run* program. Dengan demikian program telah tervalidasi.



Gambar 4.1. Diagram Alir Optimasi Menggunakan DE

4.1.3 Input Data

Pengolahan data akan dilakukan terhadap data historis rute distribusi perusahaan. Seperti telah dijelaskan pada bagian pengumpulan data, setiap hari perusahaan menerima permintaan dari pelanggan yang berbeda dengan jumlah permintaan yang berbeda pula. Maka, rute distribusi berbeda pula setiap harinya, dan optimasi rute yang dilakukan akan menghasilkan hasil solusi optimal rute distribusi untuk hari tertentu dimana dilakukan optimasi.

Pada pengolahan data ini digunakan data historis rute distribusi perusahaan selama 5 hari, baik untuk pelanggan *outlet* maupun pelanggan industri, yaitu dari tanggal 20 April 2009 sampai 24 April 2009. Pertimbangan yang mendasari digunakannya data tersebut berbeda antara pelanggan *outlet* dengan pelanggan industri. Untuk pelanggan *outlet*, jumlah permintaan cenderung berulang untuk setiap minggunya meskipun jumlah pelanggannya berbeda-beda. Di samping itu, terdapat perjanjian antara pelanggan *outlet* dengan perusahaan bahwa tabung yang dikirim harus sejumlah tabung kosong yang diambil, sehingga stok tabung pendek yang khusus CO₂ 8 kg ini tetap stabil, meskipun, pada keadaan khusus, jumlah pengiriman dan jumlah pengambilan dapat berbeda, namun perbedaannya tidak signifikan. Sementara itu, untuk pelanggan industri dan rumah sakit, permintaan yang terjadi cenderung fluktuatif, namun dilihat dari wilayah pengiriman yang umumnya di Tangerang dan Jakarta serta jumlah pelanggan yang tidak banyak, maka permintaan berulang untuk pelanggan yang sama. Dengan kata lain, lokasi titik kirim cenderung berulang.

Program optimasi yang dibuat pada VBA Excel, seperti yang telah dijelaskan di atas, tidak hanya berfungsi untuk mencari solusi rute yang optimal, namun juga mampu mengintegrasikan antara *database* pelanggan perusahaan dan data-data yang dibutuhkan untuk melakukan pencarian solusi. Oleh karena itu, dalam program, data-data tersebut sudah berada di dalam *sheet* pada Ms. Excel, sehingga kode program tersebut akan menarik data lewat *sheet* tersebut untuk diintegrasikan dan dihitung total jarak tempuh per harinya.

4.1.3.1 Input Data Pelanggan *Outlet*

Pada program optimasi untuk pelanggan *outlet*, input data permintaan dilakukan dengan memasukkan nama pelanggan terlebih dahulu pada form input permintaan pelanggan *outlet*, kemudian secara otomatis program akan mengidentifikasi lokasi pelanggan tersebut berdasarkan *database* lokasi pelanggan. Kemudian, permintaan untuk masing-masing pelanggan dimasukkan ke dalam kolom yang tersedia. Sesudah memasukkan data-data tersebut, maka program akan menampilkan lokasi-lokasi titik kirim dan total permintaan pengiriman maupun pengambilan per lokasi.

Dilihat pada tampilan program pada gambar 4.2, terdapat dua buah tabel, yaitu tabel permintaan dan penerimaan tiap tempat dan tabel permintaan dan penerimaan tiap lokasi. Tabel pertama merupakan tabel untuk mengisi data rinci permintaan untuk masing-masing pelanggan, sedangkan pada tabel kedua merupakan hasil rangkuman tabel pertama per lokasi. Kemudian, dapat dilihat adanya dua buah tombol kontrol yaitu "View Location" dan "Proses Pick-up". Tombol "View Location" berfungsi untuk menampilkan hasil rangkuman tabel pertama pada tabel kedua. Setelah data yang dibutuhkan untuk melakukan optimasi pada hari tersebut terkumpul, maka setelah tombol "Proses Pick-up" ditekan, proses penghitungan dengan algoritma DE dilakukan.

FORM INPUT PERMINTAAN (KENDARAAN PICK UP)

Data		NO MOBIL	KAPASITAS	VIEW LOCATION	Jumlah Lokasi
1	SCB-NOTE 8172 C	B 9703 SR	40		0.1
2	SEW-DOHER KEBAB	B 9701 SR	40		0.9
					Jumlah Iterasi
					9:58:43 PM
					4:05
					9:59:16 PM
					4:05

AN TIAP TEMPAT					PERMINTAAN DAN PENERIMAAN TIAP LOKASI			
NO	TUJUAN KIRIM	LOKASI	PERMINTAAN	PICK UP TABUNG KOSONG	No Lokasi	LOKASI	Total Permintaan Per Lokasi	Total Pick Up per lokasi
1	AMGK	AMGK	5	5	60	AMGK	8	5
2	MCK	MCK	4	4	61	MCK	10	4
3	WB-PIZZA HUT	WB	5	3	62	WB	5	3
4	ITDP-HOKBEN-DP	ITDP	4	4	63	ITDP	8	4
5	SCB-GRAND LUCKY	SCB-GRAND LUCKY	5	5	58	SCB	5	5
6	GRI-BC	GRI-BC	4	4	54	GRI	8	8
7	GRI-BLITZ MEGAPLEX	GRI-BLITZ MEGAPLEX	4	4	53	HLE	6	4
8	HLE	HLE	4	4				
9	(NONE)	(NONE)	3	3				
10	(NONE)	(NONE)	4	4				
11	(NONE)	(NONE)	4	4				
12	(NONE)	(NONE)	5	5				
13	(NONE)	(NONE)	4	7				
14	(NONE)	(NONE)	2	2				
15	(NONE)	(NONE)	2	2				

Gambar 4.2. Tampilan Form Input Permintaan Pelanggan *Outlet*

Secara singkat, untuk melakukan perhitungan data jarak ini, data yang diperlukan sebagai input adalah sebagai berikut.

- Data jarak antar semua pelanggan.
- Data permintaan harian tiap pelanggan dan kapasitas kendaraan yang digunakan untuk melakukan pengantaran. Data tersebut digunakan untuk menghitung permintaan yang harus dipenuhi pada tiap rute dan membandingkannya dengan batasan kapasitas kendaraan.
- Data mengenai kecepatan rata-rata kendaraan, *service time* dan batasan waktu (*time windows*). Data tersebut digunakan untuk menghitung waktu tempuh perjalanan tiap rute dan membandingkannya dengan batasan waktu yang ada. Untuk kecepatan rata-rata kendaraan digunakan kecepatan 50 km/ jam. Hal tersebut didasarkan dari hasil wawancara dengan para sopir kendaraan dengan mempertimbangkan karakteristik jalan dan tingkat kemacetan yang terjadi. Data ini dimasukkan ke dalam *source code* program.

4.1.3.2 Input Data Pelanggan Truk

Pada program optimasi untuk pelanggan industri dan RS, input data permintaan dilakukan dengan memasukkan nama pelanggan pada kolom input tempat tujuan, kemudian secara otomatis program akan mengidentifikasi lokasi pelanggan tersebut serta nomor kode pelanggan berdasarkan *database* lokasi pelanggan. Kemudian, permintaan untuk masing-masing pelanggan dimasukkan ke dalam kolom "Permintaan" dan "Pickup Tabung Kosong". Setelah data yang dibutuhkan untuk melakukan optimasi pada hari tersebut terkumpul, maka setelah tombol "Optimal Truck" ditekan, proses penghitungan dengan algoritma DE dilakukan.

Data-data yang dibutuhkan untuk melakukan optimasi rute distribusi produk pelanggan industri dan RS adalah sama dengan data-data yang dibutuhkan optimasi rute distribusi produk pelanggan *outlet*.

Tampilan form input permintaan pelanggan industri dan RS dapat dilihat pada gambar 4.3.

FORM INPUT PERMINTAAN (TRUCK)					
NO	JENIS KENDARAAN	NO MOBIL	KAPASITAS	Jumlah Lokasi	16
1	Truck Double	1	90	F	0,4
2	Truck Engkel	2	60	CR	0,5
3	Truck Engkel	3	60	Jumlah Iterasi	1000
				Start Time	20:16
				End Time	4:05
				5:39:07 AM	
OPTIMAL TRUCK					
No	INPUT TEMPAT TUJUAN	TEMPAT TUJUAN	PERMINTAAN	PICK UP TABUNG KOSONG	
22	LCI	LCI	8	6	
25	LCI	INC	7	0	
32	MAN	TRI	21	29	
4	MET	MMS	10	8	
16	MLC	BUT	6	1	
2	MMS	PLMB	10	15	
1	MPC	PMG	18	15	
7	PLMB	PMG	18	15	
30	PMG	RSSA	1	3	
3	RSSA	RSSA	1	3	
33	URMI	URMI	10	10	
	ALG	ALG	13	12	
	RSBA	RSBA	10	0	

Gambar 4.3. Tampilan Form Input Permintaan Pelanggan Industri dan RS

4.2 Hasil Pengolahan Data

Setelah memasukkan data dan melakukan proses olah data dengan program, maka *output* yang dihasilkan oleh program yang telah dibuat adalah total jarak tempuh, rute urutan pengiriman produk, serta jumlah muatan yang diangkut oleh setiap kendaraan lengkap dengan aliran muatan pengiriman pengambilan tabung dari satu lokasi ke lokasi lain.

Data permintaan selama 5 hari yaitu dari tanggal 20 April 2009 sampai tanggal 24 April 2009 menjadi data yang akan diolah dalam program ini. Untuk masing-masing hari, dilakukan lima kali *run* program dengan menggunakan parameter kontrol yang telah ditentukan. Kemudian dari kelima hasil *run* program yang diperoleh, dipilih satu solusi yang paling bagus, sesuai dengan fungsi objektif, yaitu yang memiliki jarak tempuh total paling kecil. Masing-masing solusi terbaik akan dibandingkan dengan rute pengiriman produk yang selama ini dijalankan oleh perusahaan. Kemudian, akan dibandingkan pula total biaya distribusi setelah dilakukan pengolahan data menggunakan program dengan total biaya distribusi harian perusahaan selama 5 hari tersebut. Di samping itu, dilakukan pula perbandingan utilitas kendaraan sebelum dan sesudah dilakukan pengolahan data.

4.2.1 Hasil Pengolahan Data Distribusi untuk Pelanggan *Outlet*

Pada permasalahan pengiriman produk ke pelanggan *outlet*, data yang menjadi input untuk penghitungan jarak tempuh dan urutan rute pengiriman adalah data per lokasi kirim, yang sudah merupakan gabungan dari data masing-masing pelanggan *outlet* selama 5 hari. Berikut ini adalah *output* jarak tempuh yang dihasilkan dari pengolahan pada lima hari pengiriman produk

Tabel 4.5 Jarak Tempuh Harian untuk 5 Kali *Run* Program

Hari/Tanggal	Jarak Tempuh Total (km)				
	Run ke-1	Run ke-2	Run ke-3	Run ke-4	Run ke-5
Senin, 20 April 2009	101,68	94,94	104,11	101,29	107,60
Selasa, 21 April 2009	128,40	133,72	136,43	139,33	133,61
Rabu, 22 April 2009	140,97	141,11	136,44	139,90	143,23
Kamis, 23 April 2009	303,11	272,63	298,81	312,83	257,55
Jumat, 24 April 2009	111,73	112,21	111,86	111,01	113,95

Pada tabel di atas, terlihat angka-angka yang dicetak tebal. Angka tersebut merupakan jarak tempuh total paling kecil untuk hari tersebut. Jarak terkecil inilah yang merupakan hasil solusi rute distribusi per hari yang diperoleh melalui perhitungan algoritma.

Berikut ini adalah salah satu tampilan output program optimasi distribusi untuk pelanggan *outlet*.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	PICK UP 1								
2	Tempat Awal	Tempat Tujuan	Jarak Tempuh	Permintaan	Tabung Diambil	Sisa Tabung di mobil	Tabung tidak terambil		
3	0	27	17,39	8	7	35	0		
4	27	25	4,39	4	4	35	0		TOTAL JARAK (KM)
5	25	23	1,36	6	1	30	0		128,3960702
6	23	24	1,81	4	2	28	0		
7	24	26	6,82	5	3	26	0		
8	26	17	16,85	4	2	24	0		
9	17	16	9,69	5	1	20	0		
10	16	0	5,29	0	0	20	0		
11			63,61	36					
12									
13	PICK UP 2								
14	Tempat Awal	Tempat Tujuan	Jarak Tempuh	Permintaan	Tabung Diambil	Sisa Tabung di mobil	Tabung tidak terambil		
15	0	18	17,45	5	3	24	0		
16	18	19	1,28	4	1	21	0		
17	19	20	13,35	4	1	18	0		
18	20	7	11,12	5	2	15	0		
19	7	21	7,24	4	2	13	0		
20	21	22	6,53	4	2	11	0		
21	22	0	14,82	0	0	11	0		
22			64,79	26					
23									
24									
25									

Gambar 4.4. Tampilan Output Program Optimasi Distribusi untuk Pelanggan *Outlet*

Tabel 4.6. Rute dan Jarak Tempuh Total Hasil Optimasi Distribusi untuk Pelanggan *Outlet*

Hari	Rute	Urutan Pengiriman									Total jarak tempuh (km)	Total jarak tempuh per hari (km)
Senin 20-Apr-2009	1	PUM	GNS	STD	ASEN	WTMD	MDS	ITMD	JAY	UNT	41,57	94,94
	2	RXM	MTA	KED	GG	DM	CIT				53,37	
Selasa 21-Apr-2009	1	HSHA	PLAZ	PAF	MTH	ITKN	ITPH				63,61	128,40
	2	PLM	EMP	MK	SM	GNS	TRW	TP			64,79	
Rabu 22-Apr-2009	1	CINM	CIM	POLB	AB	PLCPL	DBF	PIM	CITS	PHCIP	60,65	136,44
	2	BP	MOI	MAG	LPI	PHCP	ITCM	MKG			75,79	
Kamis 23-Apr-2009	1	PLCIB	TMI	PGM	PLIB	BOS	PHPAJ	SCB	SENY		203,43	257,55
	2	PLGI	KM	PCIL	MC	HLE	GRI	AHC			54,12	
Jumat 24-Apr-2009	1	MCK	WB	ITDP	AMGK	SCB					85,82	111,01
	2	HLE	GRI								25,18	

Tabel di atas menunjukkan hasil rute pengiriman dan total jarak tempuh hasil pengolahan data menggunakan algoritma DE untuk setiap harinya. Hasil yang dikeluarkan tentunya berbeda setiap hari, tergantung dari jumlah permintaan dan jumlah pelanggan yang melakukan permintaan. Di samping itu, pada total jarak tempuh, terlihat bahwa total jarak tempuh yang dihasilkan oleh optimasi menggunakan DE lebih kecil dibandingkan dengan total jarak tempuh rute pengiriman perusahaan. Untuk melihat perbandingan lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.7. Perbandingan Jarak Tempuh Rute Awal dan Rute Baru

Hari/ Tanggal	Total Jarak Tempuh (km)	
	Rute Saat Ini	Rute Baru
Senin 20 April 2009	109,84	94,94
Selasa 21 April 2009	130,86	128,40
Rabu 22 April 2009	149,85	136,44
Kamis 23 April 2009	291,80	257,55
Jumat 24 April 2009	135,16	111,01
TOTAL	817,51	728,33

Berdasarkan tabel diatas, total jarak tempuh selama satu minggu pada penggunaan rute awal adalah sebesar 817.51 km, sedangkan untuk rute baru hasil

pengolahan data adalah sebesar 728.33 km. Terjadi penurunan jarak tempuh, yaitu sebesar 89.18 km atau sebesar 10.9 %.

Hasil berikutnya adalah mengenai utilitas tiap-tiap kendaraan. Utilitas kendaraan dalam hal ini adalah seberapa besar kapasitas dari satu kendaraan yang digunakan untuk melakukan satu kali pengiriman. Meskipun kasus distribusi pada penelitian ini adalah *delivery and pick-up service*, namun utilisasi yang diperhatikan adalah pada saat pengiriman, sebab pengalokasian muatan dilakukan pada saat berangkat dari depot. Berikut ini adalah rekap hasil mengenai muatan atau jumlah pengiriman yang dilakukan tiap kendaraan dan juga persentase utilitas tiap kendaraan.

Tabel 4.8. Muatan dan Persentase Utilitas Kendaraan Hasil Optimasi pada Distribusi untuk Pelanggan *Outlet*

Hari/ Tanggal	Kendaraan	Rute Baru	
		Permintaan	Utilitas
Senin	1	39	97,50%
20-Apr-09	2	35	87,50%
Selasa	1	39	97,50%
21-Apr-09	2	39	97,50%
Rabu	1	40	100,00%
22-Apr-09	2	36	90,00%
Kamis	1	39	97,50%
23-Apr-09	2	28	70,00%
Jumat	1	25	62,50%
24-Apr-09	2	40	100,00%

4.2.2 Hasil Pengolahan Data Distribusi Pelanggan Industri dan RS

Setelah melakukan pengolahan data terhadap data permintaan pelanggan industri dan RS selama 5 hari, kemudian memilih hasil yang terbaik dari 5 kali *run* program, seperti yang dilakukan pada pengolahan data distribusi untuk pelanggan *outlet*, maka berikut ini adalah hasil pengolahan data berupa urutan pengiriman dan total jarak tempuhnya.

Tabel 4.9. Rute dan Jarak Tempuh Total Hasil Optimasi Distribusi untuk Pelanggan Industri dan RS

Hari	Rute	Urutan Pengiriman								Total jarak tempuh (km)	Total jarak tempuh per hari (km)
Senin 20-Apr-2009	1	ALG	SLD	RSSA						26,68	111,19
	2	RSOM	PMG							31,70	
	3	RSHT	MMS	ALG	PLMB	HGC	RSBA			79,48	
Selasa 21-Apr-2009	1	PLMB	INC	HW						58,31	250,41
	2	PMG	URMI	LCI	GMW	ALG				54,26	
	3	BUT	RSOM	RSEH	RSSA	MMS	RSBA	TRI	RSHT	137,84	
Rabu 22-Apr-2009	1	MMS	GSG	SS	INTC	RST				56,43	252,74
	2	SM	RSEH	MLC	TRI					91,94	
	3	ALG	SLD	RSHO	HGC	PLMB	PMG			104,37	
Kamis 23-Apr-09	1	HGC	PMG							29,01	148,12
	2	INC	SS	HW	RSSA	RSHT	GMW			85,43	
	3	SPP	ALG	LCI						33,68	
Jumat 24-Apr-09	1	MLC	SLD							26,19	191,28
	2	PLMB	GSG	RSBA						58,67	
	3	RSEH	RSOM	SM	URMI	ALG	PMG			106,42	

Tabel di atas menunjukkan hasil rute pengiriman dan total jarak tempuh hasil pengolahan data menggunakan algoritma DE untuk setiap harinya. Hasil yang dikeluarkan tentunya berbeda setiap hari, tergantung dari jumlah permintaan dan jumlah pelanggan yang melakukan permintaan. Di samping itu, pada total jarak tempuh, terlihat bahwa total jarak tempuh yang dihasilkan oleh optimasi menggunakan DE lebih kecil dibandingkan dengan total jarak tempuh rute pengiriman perusahaan. Untuk melihat perbandingan lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.10. Perbandingan Jarak Tempuh Rute Awal dan Baru Distribusi untuk Pelanggan Industri dan RS

Hari/ Tanggal	Total Jarak Tempuh (km)	
	Rute Saat Ini	Rute Baru
Senin 20 April 2009	187,73	111,19
Selasa 21 April 2009	269,75	250,41
Rabu 22 April 2009	277,03	252,74
Kamis 23 April 2009	152,17	148,12
Jumat 24 April 2009	329,84	191,28
TOTAL	1216,52	953,73

Dapat dilihat dari tabel diatas, total jarak tempuh selama satu minggu pada penggunaan rute awal adalah sebesar 1216.52 km, sedangkan untuk rute baru hasil pengolahan data adalah sebesar 953.73 km. Terjadi penurunan jarak tempuh, yaitu sebesar 262.79 km atau sebesar 21.6 %.

Hasil berikutnya adalah mengenai utilitas tiap-tiap kendaraan. Berikut ini adalah rekap hasil mengenai muatan atau jumlah pengiriman yang dilakukan tiap kendaraan dan juga persentase utilitas tiap kendaraan.

Tabel 4.11. Muatan dan Persentase Utilitas Kendaraan Hasil Optimasi Distribusi untuk Pelanggan Industri dan RS

Hari/ Tanggal	Rute	Rute Baru	
		Permintaan	Utilitas
Senin 20-Apr-09	1	48	80,00%
	2	24	40,00%
	3	85	94,44%
Selasa 21-Apr-09	1	17	28,33%
	2	54	90,00%
	3	83	92,22%
Rabu 22-Apr-09	1	58	96,67%
	2	42	70,00%
	3	88	97,78%
Kamis 22-Apr-09	1	45	75,00%
	2	45	75,00%
	3	78	86,67%
Jumat 24-Apr-09	1	20	33,33%
	2	59	98,33%
	3	80	88,89%

4.3 ANALISIS

4.3.1 Analisis Metode

4.3.1.1 Analisa Algoritma

Penyelesaian masalah VRP *Pick-up and Delivery* pada kasus ini dilakukan dengan menggunakan program VBA Excel yang berbasis pada Algoritma *Differential Evolution*. Seperti yang diuraikan pada landasan teori, algoritma DE merupakan salah satu jenis Algoritma Evolusioner (EA) yang menggunakan konsep evolusi biologi Darwin, yaitu individu yang kuat akan bertahan dan maju ke generasi berikut dan individu yang lemah akan musnah. Kuat atau lemahnya

individu ditentukan berdasarkan hasil evaluasi individu tersebut terhadap fungsi objektifnya. Pada persoalan ini, fungsi objektifnya adalah meminimumkan jarak tempuh dalam melayani permintaan seluruh pelanggan.

Proses DE diawali dengan pembentukan populasi awal. Populasi awal ini nantinya akan menentukan jalannya program DE untuk sampai pada hasil. Populasi awal inilah yang disebut pula sebagai solusi awal. Populasi awal dapat diperoleh dengan menggunakan metode penyelesaian VRP heuristik atau menggunakan bilangan acak. Pada kasus ini, populasi awal ditentukan menggunakan bilangan acak, sehingga mempermudah dan mempercepat terjadinya konvergensi, sehingga ketika masuk ke tahap seleksi dan tahap-tahap selanjutnya juga lebih mudah. Individu yang memiliki nilai fungsi objektif terbaik akan bertahan, dan selanjutnya menjadi individu target.

Setelah masuk ke proses seleksi, maka kompetisi individu target dan individu trial akan terjadi terus menerus, artinya setiap nilai hasil evaluasi fungsi objektif anak lebih baik dari individu target, maka individu anak tersebut akan menjadi individu target, demikian seterusnya. Dapat disimpulkan, bahwa populasi baru setiap generasi menghasilkan fungsi objektif yang lebih baik dari populasi sebelumnya. Apabila telah tercapai keadaan yang mendekati optimal atau konvergen, yaitu tidak ada individu yang lebih baik, maka DE akan memberikan hasil yang relatif konsisten.

Kemampuannya memberikan hasil yang relatif konsisten disaat telah mendekati optimal dalam banyak percobaan membuat DE dapat dikatakan lebih baik dari algoritma EA lainnya. Selain itu, struktur dan prosesnya yang sederhana serta parameter kontrol yang sedikit menyebabkan waktu perhitungan yang dibutuhkan juga relatif lebih singkat dibandingkan algoritma lain. Oleh sebab itu, penggunaan DE merupakan cara yang tepat untuk menyelesaikan permasalahan dengan kompleksitas yang tinggi secara lebih singkat dan mudah.

Kelemahan metode ini adalah kemungkinannya memproduksi solusi akhir, yang dalam kasus ini adalah urutan rute pengiriman dan total jarak tempuh, yang berbeda setiap melakukan *running* program, meskipun dilihat dari hasil akhirnya, perbedaan tersebut tidak signifikan dan memiliki kecenderungan untuk memunculkan kembali hasil-hasil sebelumnya apabila memang telah mendekati

keadaan optimal. Hal ini disebabkan oleh sifat DE yang memang menggunakan bilangan acak dalam prosesnya mulai dari pembentukan populasi target, mutan, hingga proses pindah silang.

4.3.1.2 Analisa Parameter

Pada saat akan memasukkan data dan melakukan pengolahan data, maka mula-mula parameter kontrol DE, yaitu nilai F, Cr, dan kriteria terminasi harus ditentukan. Ketiga parameter kontrol ini akan berpengaruh pada hasil dan *computation time*.

Penggunaan nilai F sebesar 0.4 dan Cr sebesar 0.5 dipengaruhi oleh hasil yang diberikan setelah melakukan percobaan *running* program dengan berbagai nilai F dan Cr. Hasil *running* program dengan F sebesar 0.4 dan Cr sebesar 0.5 merupakan hasil yang paling baik sesuai dengan fungsi objektif. Berdasarkan hal tersebut, maka parameter ini dipakai dalam pengolahan data. Sementara itu, untuk kriteria terminasi, digunakan jumlah iterasi maksimum. Jumlah iterasi maksimum yang dipilih adalah sebesar 1000 iterasi. Jumlah iterasi 1000 dipilih karena mampu memberikan rata-rata hasil yang baik dengan *computation time* yang relatif singkat. Hal ini dibuktikan melalui perbandingan nilai *running* program data permintaan pada tanggal 24 April 2009 dengan iterasi sebanyak 500, 1000, 1500, dan 2000. Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan hasil percobaan *running* program dengan 500, 1000, 1500, dan 2000 iterasi.

Dari tabel 4.12 (halaman 73), dapat dilihat bahwa rata-rata hasil pengolahan data yang baik sesuai dengan fungsi objektif, yaitu yang bernilai paling kecil, adalah 112.47. Hasil ini ditunjukkan oleh pengolahan data dengan iterasi sebanyak 1000. Selain itu, dilihat dari lamanya program mengolah data atau *computation time*, terlihat bahwa iterasi sebanyak 1000 menghasilkan rata-rata kecepatan *computation time* kedua tercepat, yaitu 23.6 detik. Meskipun dengan iterasi 500 *computation time* menjadi lebih singkat, namun tidak menghasilkan hasil yang paling baik. Oleh karena itu, dipilih jumlah iterasi yang menghasilkan output paling baik, yaitu 1000 iterasi.

Tabel 4.12. Perbandingan Hasil Pengolahan Data dengan Iterasi yang Berbeda

Iterasi	Computation Time (detik)	Hasil (km)	Rata-rata Computation Time (detik)	Rata-rata Hasil (km)
500	13	111,864	13,2	113,18
	13	114,832		
	13	115,144		
	14	112,207		
	13	111,864		
1000	25	111,005	23,6	112,47
	22	113,951		
	23	112,207		
	24	111,864		
	24	113,329		
1500	32	113,957	32,6	113,46
	32	112,207		
	33	113,329		
	33	113,911		
	33	113,911		
2000	42	113,951	42	112,64
	42	111,864		
	42	113,329		
	42	111,864		
	42	112,207		

4.3.2 Analisa Program

Selama melakukan pengolahan data, program dikatakan dapat berjalan dengan baik. Hal ini dibuktikan dengan hasil solusi akhir selalu lebih baik dari solusi awal. Selain itu, hasil perhitungan jarak secara manual untuk rute-rute yang dihasilkan oleh program memberikan hasil yang sama dengan kalkulasi oleh program. Keunggulan program ini pula adalah kemampuannya untuk mengintegrasikan antara *database* pelanggan dan data-data yang dibutuhkan untuk melakukan optimasi dengan algoritma, sehingga program ini sangatlah praktis dalam penggunaannya.

Kelemahan dari program ini adalah waktu *running* yang relatif lambat. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, *running time* program sangat dipengaruhi oleh beberapa hal, seperti parameter F, Cr, NP dan kriteria terminasi. Hal ini telah dibahas sebelumnya pada analisa parameter.

Selain masalah *running time*, ada beberapa kekurangan lain yang ada pada proses perhitungan jarak dengan menggunakan program ini. Kekurangan pertama adalah masalah data jarak yang digunakan. Data jarak yang digunakan dalam program merupakan jarak sesuai dengan alur jalan dengan menggunakan bantuan peta digital *Googlemaps*. Pada kenyataannya hasil keluaran *googlemaps* masih

mungkin tidak akurat. Sementara itu, hasil perhitungan jarak menurut *odometer* yang diperoleh dari perusahaan pada saat pengumpulan data tidak semuanya terinci untuk masing-masing lokasi seperti yang dibutuhkan oleh matriks jarak.

Cara yang dapat digunakan untuk menghilangkan kekurangan ini adalah dengan menghitung keadaan aktual (jalur aktual yang dilalui) berdasarkan *odometer* kendaraan, yaitu dengan menghitung selisih nilai *odometer* sebelum berangkat dan nilai *odometer* setelah sampai ditujuan. Perhitungan cara ini merupakan cara perhitungan yang paling akurat. Namun, kelemahan dari cara ini adalah prosesnya menghabiskan waktu sangat lama.

Kekurangan berikutnya adalah data waktu tempuh. Pada program ini, data waktu tempuh dicari dengan menggunakan hasil bagi antara jarak dengan kecepatan rata-rata. Untuk mendapatkan data yang lebih akurat, waktu tempuh dapat dihitung dengan menggunakan bantuan *stopwatch* selama proses pengantaran barang berlangsung. Pelaksanaan ini menghabiskan waktu yang lama karena membutuhkan berkali-kali pengambilan data.

4.3.3 Analisa Hasil Optimasi Distribusi Pelanggan *Outlet*

4.3.3.1 Analisa Rute dan Jarak Tempuh Distribusi Pelanggan *Outlet*

Berikut ini akan dibahas mengenai perbandingan rute antara rute usulan hasil optimasi dengan rute yang saat ini digunakan oleh perusahaan. Karena setiap hari perusahaan menerima permintaan yang berbeda dari pelanggan yang berbeda dan jumlah permintaan yang berbeda, maka hasil optimal yang diperoleh juga berlaku hanya pada permintaan hari itu. Perbandingan antara rute saat ini dengan rute baru dapat dilihat lebih jelas pada tabel-tabel di bawah ini.

Tabel 4.13. Perbandingan Rute Distribusi untuk Pelanggan *Outlet*, 20 April 2009

Perbandingan Rute		Lokasi Pengiriman									Total Jarak Tempuh (km)	Total Jarak Tempuh per Hari (km)
Rute Saat Ini	1	ITMD	WTMD	MDS	ASEN	GNS	JAY	STD	DM		56,16	109,84
	2	RXM	MTA	KED	GG	PUM	UNT	CIT			53,68	
Rute Baru	1	PUM	GNS	STD	ASEN	WTMD	MDS	ITMD	JAY	UNT	41,57	94,94
	2	RXM	MTA	KED	GG	DM	CIT				53,37	

Tabel 4.14. Perbandingan Rute Distribusi untuk Pelanggan Outlet, 21 April 2009

Perbandingan Rute		Lokasi Pengiriman							Total Jarak Tempuh (km)	Total Jarak Tempuh per Hari (km)
Rute Saat Ini	1	TP	MK	PLM	EMP	GNS	SUN		60,24	130,86
	2	ITPH	TRW	PAF	PLAZ	ITKN	MTH	HSHA	70,62	
Rute Baru	1	HSHA	PLAZ	PAF	MTH	ITKN	ITPH		63,61	128,40
	2	PLM	EMP	MK	SUN	GNS	TRW	TP	64,79	

Tabel 4.15. Perbandingan Rute Distribusi untuk Pelanggan Outlet, 22 April 2009

Perbandingan Rute		Lokasi Pengiriman										Total Jarak Tempuh (km)	Total Jarak Tempuh per Hari (km)
Rute Saat Ini	1	ITCM	PHCP	MAG	LPI	MOI	MKG					64,45	149,85
	2	PIM	POLB	CITS	DBF	CINM	CIM	BP	AB	PHCIP	PLCPL	85,4	
Rute Baru	1	CINM	CIM	POLB	AB	PLCPL	DBF	PIM	CITS	PHCIP		60,65	136,44
	2	BP	MOI	MAG	LPI	PHCP	ITCM	MKG				75,79	

Tabel 4.16. Perbandingan Rute Distribusi untuk Pelanggan Outlet, 23 April 2009

Perbandingan Rute		Lokasi Pengiriman								Total Jarak Tempuh (km)	Total Jarak Tempuh per Hari (km)	
Rute Saat Ini	1	KM	PCIL	TMI	KWC	PLCIB	PHPAJ	BOS	PGM	PLIB	181,34	291,8
	2	HLE	GRI	MC	AHC	PLGI	SCB	SENY			110,46	
Rute Baru	1	PLCIB	TMI	PGM	PLIB	BOS	PHPAJ	SCB	SENY		203,43	257,55
	2	PLGI	KM	PCIL	MC	HLE	GRI	AHC			54,12	

Tabel 4.17. Perbandingan Rute Distribusi untuk Pelanggan Outlet, 24 April 2009

Perbandingan Rute		Lokasi Pengiriman					Total Jarak Tempuh (km)	Total Jarak Tempuh per Hari (km)
Rute Saat Ini	1	AMGK	MCK	WB	ITDP		86,71	135,16
	2	SCB	GRI	HLE			48,45	
Rute Baru	1	MCK	WB	ITDP	AMGK	SCB	85,82	111,01
	2	HLE	GRI				25,18	

Tabel-tabel di atas menunjukkan perbandingan rute awal dan rute baru setelah dilakukan *running program*. Pada hari Senin, 20 April 2009, rute distribusi awal menunjukkan total jarak tempuh sebesar 109.84 km, sedangkan rute distribusi baru hasil pengolahan data dengan algoritma DE menunjukkan total jarak tempuh sebesar 94.94 km. Pengurangan jarak yang terjadi adalah sebesar 14.9 km atau sebesar 13,5%. Pengurangan jarak ini terbilang relatif kecil. Hal ini terjadi karena permintaan yang datang pada hari tersebut berasal dari pelanggan-

pelanggan yang jaraknya dekat satu dengan yang lain, yaitu berkisar antara 1 – 5 km. Maka, lokasi pengiriman pada hari tersebut cenderung mengelompok. Akibatnya, kombinasi alternatif solusi yang dihasilkan menjadi lebih sedikit dan pengurangan jarak yang dihasilkan juga tidak banyak.

Pada urutan rute yang selama ini diterapkan, perusahaan telah menentukan kelompok rute tertentu sesuai dengan wilayahnya. Sebagai contoh, untuk permintaan tanggal 20 April 2009, perusahaan telah mengelompokkan rute pada kendaraan 1 adalah untuk wilayah Jakarta Utara dan kendaraan 2 untuk wilayah Jakarta Barat. Namun, setelah dilakukan optimasi dengan DE, terjadi perubahan urutan rute dan pada kendaraan 1 terdapat 2 lokasi dari wilayah Jakarta Barat yang paling dekat dengan depot, sehingga jarak yang ditempuh kendaraan tersebut pada saat berangkat dan kembali ke depot merupakan jarak yang paling minimum. Di samping itu, optimasi utilisasi kendaraan membuat kendaraan 1 lebih banyak melayani lokasi pengiriman, akan tetapi dengan jarak tempuh yang lebih pendek.

Pada permintaan tanggal 21 April 2009, seperti dilihat terlihat terjadi penurunan jarak tempuh sebesar 2.46 km atau sebesar 1.8%. Kemudian, untuk permintaan pada tanggal 22 April 2009, terjadi penurunan jarak tempuh sebesar 13.41 km atau sebesar 8.95%. Keduanya juga mengalami penurunan jarak yang kecil sebab daerah pelanggan yang melakukan permintaan hari itu juga mengelompok. Pada tanggal 23 April 2009, pengurangan jarak terjadi sebesar 34.25 km atau 11.73% dari jarak tempuh awal. Sementara itu, pada tanggal 24 April 2009, pengurangan jarak yang terjadi cukup besar yaitu sebesar 24.16 km atau 17.87%.

Secara umum, pengurangan jarak antara kondisi saat ini dengan rute baru terbilang kecil. Hal ini terjadi karena lokasi-lokasi pelanggan yang melakukan permintaan pada hari tersebut berada dekat satu dengan yang lain dan mengelompok pada wilayah-wilayah tertentu, sehingga kombinasi alternatif solusi rute yang dihasilkan tidak banyak. Pengurangan jarak yang cukup besar terjadi pada hari Jumat disebabkan oleh jumlah lokasi pelanggan yang dilayani sedikit, yaitu sebanyak 7 lokasi.

Hasil perbandingan rute saat ini dan rute baru menunjukkan bahwa perusahaan sebenarnya sudah cukup optimal dalam menentukan rute dan alokasi

pemuatan barang pada kendaraan, karena hasilnya tidak berbeda signifikan dengan rute hasil optimasi. Akan tetapi, karena hasil optimasi dapat memberikan pengurangan jarak, maka sebenarnya perusahaan masih dapat mengoptimalkan lagi.

4.3.3.2 Analisis Utilitas Kendaraan *Pick-up*

Optimasi utilitas kendaraan merupakan hal yang penting dalam penentuan rute distribusi. Dengan adanya utilisasi kendaraan yang optimal, maka akan didapatkan suatu penentuan rute distribusi yang lebih baik .

Tabel 4.18. Perbandingan Utilitas Kendaraan pada Distribusi untuk Pelanggan *Outlet*

Hari/ Tanggal	Kendaraan	Rute Saat Ini		Rute Baru	
		Permintaan	Utilitas	Permintaan	Utilitas
Senin	1	37	92,50%	39	97,50%
20-Apr-09	2	37	92,50%	35	87,50%
Selasa	1	38	95,00%	39	97,50%
21-Apr-09	2	40	100,00%	39	97,50%
Rabu	1	39	97,50%	40	100,00%
22-Apr-09	2	37	92,50%	36	90,00%
Kamis	1	36	90,00%	39	97,50%
23-Apr-09	2	31	77,50%	28	70,00%
Jumat	1	30	75,00%	25	62,50%
24-Apr-09	2	35	87,50%	40	100,00%

Secara umum, nilai rata-rata utilitas kendaraan rute yang saat ini diterapkan oleh perusahaan sama dengan nilai rata-rata utilitas kendaraan rute yang baru hasil optimasi menggunakan DE, yaitu sebesar 90%. Hal ini terjadi karena jumlah kendaraan adalah tetap yaitu 2 buah. Akibatnya, dengan jumlah permintaan yang mendekati kapasitas maksimum kedua kendaraan, utilisasi kendaraan peningkatan muatan hanya akan maksimum di salah satu kendaraan dan akan menurunkan muatan di kendaraan lainnya bergantung pada jumlah permintaan pada hari tersebut.

Meskipun secara rata-rata utilitas kendaraan antara sebelum dilakukan optimasi dengan sesudah dilakukan optimasi adalah sama, namun pada rute baru,

utilisasi kendaraan lebih sering mencapai titik kapasitas maksimum, yaitu 40 tabung. Utilitas maksimum ini dapat dilihat pada Rabu, 22 April 2009 pada kendaraan 1 dan Jumat, 24 April 2009 pada kendaraan 2.

4.3.3.3 Analisis Biaya Distribusi untuk Pelanggan *Outlet*

Biaya distribusi merupakan biaya yang harus dikeluarkan untuk melakukan setiap distribusi pengiriman produk kepada pelanggan. Berdasarkan pernyataan pihak perusahaan, biaya yang terlibat dalam biaya distribusi adalah biaya bahan bakar dan biaya tol. Sementara itu, biaya pengemudi dan pemeliharaan kendaraan tidak diperhitungkan dalam biaya distribusi, sebab keduanya telah memiliki anggaran sendiri di perusahaan dan tidak mempengaruhi besarnya biaya distribusi. Di samping itu, dalam penelitian ini, biaya tol tidak diikutsertakan dalam perhitungan, sebab jalur yang dilewati sebagai patokan jarak tempuh pada penelitian ini telah disesuaikan dengan jalur yang dilewati oleh pengemudi, sehingga biaya tol juga bersifat biaya tetap. Oleh karena itu, perubahan besar biaya yang dapat diamati adalah biaya bahan bakar yang secara langsung memang mengalami perubahan apabila terdapat perubahan jarak tempuh kendaraan.

Berikut ini merupakan perbandingan antara biaya pengiriman pada rute yang saat ini digunakan oleh pihak perusahaan dan rute usulan hasil optimasi.

Tabel 4.19. Perbandingan Biaya Pengiriman Distribusi Pelanggan *Outlet*

Hari/ Tanggal	Biaya Pengiriman	
	Rute Saat Ini	Rute Baru
Senin 20 April 2009	Rp98.856	Rp85.448
Selasa 21 April 2009	Rp117.774	Rp115.556
Rabu 22 April 2009	Rp134.865	Rp122.796
Kamis 23 April 2009	Rp262.620	Rp231.795
Jumat 24 April 2009	Rp121.644	Rp99.905
TOTAL	Rp735.759	Rp655.500

Dapat dilihat pada tabel 4.33, untuk aktivitas distribusi produk selama 5 hari kerja, biaya pengiriman yang dikeluarkan pada penggunaan rute saat ini adalah sebesar Rp.735.759,- sedangkan untuk rute baru sebesar Rp.655.500,-. Dengan demikian, rute usulan ini mampu memberikan pengurangan biaya pengiriman sebesar Rp.80.259,- selama 5 hari. Apabila biaya ini diakumulasi selama 1 tahun, maka diperoleh pengurangan biaya distribusi sebesar Rp3.852.432,- atau sebesar 10,9%.

Pengurangan biaya yang dihasilkan oleh optimasi rute ini memang tidak besar. Hal ini membuktikan bahwa selama ini perusahaan sudah cukup optimal dalam melakukan penentuan rute dan kapasitas kendaraan sehingga biaya distribusi dapat dioptimalkan. Akan tetapi, karena penghematan terbukti masih dapat dihasilkan melalui optimasi ini, maka perusahaan sebenarnya masih mampu mengoptimalkan lagi biaya distribusinya dan melakukan perbaikan secara terus menerus.

4.3.4 Analisa Hasil Optimasi Distribusi Pelanggan Industri dan RS

4.3.4.1 Analisa Rute dan Jarak Tempuh Distribusi Pelanggan Industri dan RS

Berikut ini akan dibahas mengenai perbandingan rute antara rute hasil optimasi dengan rute yang saat ini digunakan oleh perusahaan dalam distribusi untuk pelanggan industri dan RS. Seperti pada distribusi untuk pelanggan *outlet*, terdapat permintaan yang berbeda dari pelanggan yang berbeda dan jumlah permintaan yang berbeda, maka hasil optimal yang diperoleh juga berlaku hanya pada permintaan hari itu. Perbandingan antara rute saat ini dengan rute baru dapat dilihat lebih jelas pada tabel-tabel di bawah ini.

Tabel 4.20. Perbandingan Rute Distribusi untuk Pelanggan Industri dan RS, 20 April 2009

Perbandingan Rute	Lokasi Pengiriman							Total Jarak Tempuh (km)	Total Jarak Tempuh per Hari (km)
Rute Saat Ini	1	PMG	ROM	ALG				57,42	187,73
	2	RSBA	PLMB	HGC	MMS	SLD	RSSA	89,25	
	3	ALG	RSHT					41,06	
Rute Baru	1	ALG	SLD	RSSA				26,68	111,19
	2	RSOM	PMG					31,70	
	3	RSHT	MMS	ALG	PLMB	HGC	RSBA	79,48	

Tabel 4.21. Perbandingan Rute Distribusi untuk Pelanggan Industri dan RS, 21 April 2009

Perbandingan Rute		Lokasi Pengiriman								Total Jarak Tempuh (km)	Total Jarak Tempuh per Hari (km)
Rute Saat Ini	1	LCI	INC	TIS	MMS					77,96	269,75
	2	BUT	PLMB	PMG	RSSA	URMI	ALG			88,72	
	3	RSBA	RSO	RSEH	HW	GMW	RSHT			103,07	
Rute Baru	1	PLMB	INC	HW						58,31	250,41
	2	PMG	URMI	LCI	GMW	ALG				54,26	
	3	BUT	RSOM	RSEH	RSSA	MMS	RSBA	TRI	RSHT	137,84	

Tabel 4.22. Perbandingan Rute Distribusi untuk Pelanggan Industri dan RS, 23 April 2009

Perbandingan Rute		Lokasi Pengiriman						Total Jarak Tempuh (km)	Total Jarak Tempuh per Hari (km)
Rute Saat Ini	1	RSHO	MLC	RSEH	GSG	SM		134,95	277,03
	2	SLD	ALG	PLMB	PMG	RST		73,82	
	3	INTC	MMS	HGC	TRI	SS		68,26	
Rute Baru	1	MMS	GSG	SS	INTC	RST		56,43	252,74
	2	SM	RSEH	MLC	TRI			91,94	
	3	ALG	SLD	RSHO	HGC	PLMB	PMG	104,37	

Tabel 4.23. Perbandingan Rute Distribusi untuk Pelanggan Industri dan RS, 24 April 2009

Perbandingan Rute		Lokasi Pengiriman						Total Jarak Tempuh (km)	Total Jarak Tempuh per Hari (km)
Rute Saat Ini	1	HGC	INC	HW	SS			43,64	152,17
	2	SAK	RSHT	ALG	PMG	GMW	LCI	47,11	
	3	SPP						61,42	
Rute Baru	1	HGC	PMG					29,01	148,12
	2	INC	SS	HW	RSSA	RSHT	GMW	85,43	
	3	SPP	ALG	LCI				33,68	

Secara umum, pengurangan jarak tempuh yang diperoleh melalui optimasi rute distribusi untuk pelanggan industri dan RS lebih besar dibandingkan pengurangan jarak yang terjadi pada rute distribusi untuk pelanggan *outlet*. Hal ini terjadi karena jarak antar pelanggan yang melakukan permintaan setiap harinya cukup jauh dan tidak mengelompok di wilayah-wilayah tertentu. Wilayah-wilayah pelanggan industri umumnya ada di kawasan industri sehingga tentunya hampir tidak mungkin antar pelanggan berada sangat berdekatan, sebab kawasan industri

di Jabotabek tidak berjumlah banyak dan biasanya terletak di daerah-daerah batas kota bukan di pusat kota seperti lokasi pelanggan *outlet*. Dilihat dari data jarak yang diperoleh, rata-rata jarak antar pelanggan industri dan RS adalah di atas 10 km. Oleh karena itu, kombinasi yang diperoleh juga lebih banyak dan optimasi menggunakan perhitungan algoritma DE memungkinkan diperolehnya pengurangan jarak tempuh yang lebih besar. Pengurangan total jarak tempuh antara rute distribusi untuk pelanggan industri dan RS sebelum dan sesudah dilakukan optimasi dengan DE selama 5 hari adalah 262.79 km atau sebesar 21.6%.

4.3.4.2 Analisa Utilitas Kendaraan Truk

Utilisasi kendaraan pada distribusi untuk pelanggan industri dan truk dilakukan terhadap 3 buah kendaraan, yaitu 2 buah truk engkel dan 1 buah truk *double*. Hal yang berbeda dari kasus pelanggan *outlet* adalah kapasitas truk *double* berbeda dengan truk engkel, dimana kapasitas truk *double* adalah 90 tabung dan truk engkel sebesar 60 tabung.

Tabel 4.24. Perbandingan Utilitas Kendaraan pada Distribusi Pelanggan Industri dan RS

Hari/ Tanggal	Rute	Rute Saat Ini		Rute Baru	
		Permintaan	Utilitas	Permintaan	Utilitas
Senin 20-Apr-09	1	34	56,67%	48	80,00%
	2	53	88,33%	24	40,00%
	3	70	77,78%	85	94,44%
Selasa 21-Apr-09	1	46	76,67%	17	28,33%
	2	58	96,67%	54	90,00%
	3	50	55,56%	83	92,22%
Rabu 22-Apr-09	1	47	78,33%	58	96,67%
	2	60	100,00%	42	70,00%
	3	81	90,00%	88	97,78%
Kamis 23-Apr-09	1	52	86,67%	45	75,00%
	2	60	100,00%	45	75,00%
	3	56	62,22%	78	86,67%
Jumat 24-Apr-09	1	59	98,33%	20	33,33%
	2	59	98,33%	59	98,33%
	3	41	45,56%	80	88,89%

Pada rute distribusi yang selama ini diterapkan oleh perusahaan, kapasitas kendaraan tidak difokuskan pada truk *double* dengan kapasitas 90 tabung. Oleh

karena itu, terlihat pada tabel, utilitas pada kendaraan 3 lebih kecil dari kendaraan lainnya. Sementara itu, optimasi rute distribusi untuk pelanggan industri dan RS lebih fokus pada truk *double* yang memiliki kapasitas 90 tabung. Hal ini secara otomatis telah diatur pada logika program sesuai dengan jumlah permintaan pada hari tersebut. Apabila jumlah permintaan lebih besar dari 90 tabung, maka secara otomatis, kendaraan dengan kapasitas terbesar akan dipakai terlebih dahulu hingga mencapai kapasitas maksimum, baru setelahnya menggunakan kendaraan dengan kapasitas yang lebih kecil. Oleh karena itu, setelah proses optimasi, peningkatan utilitas kendaraan sangat signifikan terjadi pada truk *double*.

4.3.4.3 Analisa Biaya Distribusi untuk Pelanggan Industri dan RS

Melalui proses perhitungan yang sama dengan perhitungan biaya distribusi untuk pelanggan outlet, yaitu mengalikan biaya bahan bakar per kilometer dengan total jarak tempuh, maka diperoleh perbandingan biaya distribusi untuk pelanggan industri dan RS seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.25.

Tabel 4.25. Perbandingan Biaya Distribusi untuk Pelanggan Industri dan RS

Hari/ Tanggal	Biaya Distribusi		
	Rute Saat Ini	Rute Baru	Selisih
Senin 20 April 2009	Rp168.957	Rp100.067	Rp68.890
Selasa 21 April 2009	Rp242.775	Rp225.368	Rp17.407
Rabu 22 April 2009	Rp249.327	Rp227.466	Rp21.861
Kamis 23 April 2009	Rp136.953	Rp133.308	Rp3.645
Jumat 24 April 2009	Rp296.856	Rp172.152	Rp124.704
TOTAL	Rp1.094.868	Rp858.361	Rp236.507

Dapat dilihat, untuk aktivitas distribusi produk selama 5 hari kerja, biaya pengiriman yang dikeluarkan pada penggunaan rute saat ini adalah sebesar Rp.1.094.868,- sedangkan untuk rute baru sebesar Rp.858.361,-. Dengan demikian, rute usulan ini mampu memberikan pengurangan biaya sebesar Rp.236.507,-. Apabila biaya ini diakumulasi selama 1 tahun, maka diperoleh pengurangan biaya distribusi sebesar Rp11.352.314,- atau sebesar 21,6%.

Dibandingkan dengan pengurangan biaya pada distribusi untuk pelanggan *outlet*, pengurangan biaya distribusi yang dihasilkan dari rute baru lebih besar. Hal ini sudah dipastikan sebab pengurangan jarak tempuh pelanggan industri dan RS memang lebih besar dibanding pelanggan *outlet*.

Berdasarkan aktivitas distribusi pada pelanggan outlet maupun pelanggan industri dan RS, maka dapat dijumlahkan pengurangan biaya distribusi untuk kelima kendaraan selama 5 hari yaitu sebesar Rp316.766,- , dan bila diakumulasi selama setahun adalah Rp15.204.746 atau sebesar 17.3%.



BAB 5

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi kasus penentuan rute distribusi pengiriman gas silinder di perusahaan gas dengan menggunakan algoritma *Differential Evolution* dan bantuan bahasa pemrograman VBA Excel, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

- Penentuan rute distribusi harian dengan menggunakan algoritma *Differential Evolution* ini telah menghasilkan rute distribusi baru yang lebih baik daripada rute yang selama ini digunakan oleh perusahaan. Pada distribusi untuk pelanggan *outlet*, total jarak tempuh selama 5 hari yang diperoleh adalah 817.51 km dengan penurunan jarak tempuh sebesar 89.18 km atau sebesar 10.9 %. Sementara itu, pada distribusi untuk pelanggan industri dan RS, total jarak tempuh selama 5 hari adalah 953.73 km dengan penurunan jarak tempuh sebesar 262.79 km atau sebesar 21.6%. Oleh karena itu, total pengurangan jarak tempuh untuk seluruh aktivitas distribusi yang terjadi adalah sebesar 351.96 km atau sebesar 17.3%.
- Hasil pengurangan jarak tempuh secara langsung mempengaruhi besarnya biaya distribusi. Pada distribusi untuk pelanggan *outlet*, biaya distribusi rute baru untuk pelanggan *outlet* setelah diakumulasikan selama 1 tahun adalah Rp.31.464.000,-, sehingga penurunan biaya selama setahun yang dihasilkan adalah sebesar Rp. 3.852.432,- atau sebesar 10.9%. Sementara itu, pada distribusi untuk pelanggan industri dan RS, biaya distribusi rute barunya adalah Rp. 41.201.350,-, sehingga penurunan biaya yang terjadi adalah Rp.11.352.314,- atau sebesar 21.6%. Total biaya distribusi yang dapat dihemat perusahaan selama setahun adalah Rp. 15.204.672,- atau 17.3%.

DAFTAR REFERENSI

- Ballou, R.H. (2004). *Business logistics management* (5th ed). New Jersey: Prentice-Hall Inc.
- Ballou, R.H., & Agarwal, Y.K. (1998). A performance comparison of several popular algorithms for vehicle routing and scheduling. *Journal of Business Logistics*, Vol. 9 No.1, hal 51 - 65.
- Berbane Dorronsoro Diaz, *What is VRP?*, 2004, <<http://neo.lcc.uma.es>>
- Brian Ratcliffe, *Economy and Efficiency in Transport and Distribution 2nd Edition*, London: Kogan Page, Ltd, 1987, hal 69.
- China International Electronic Commerce Network (2008, July 22). *Definition of Logistics and Supply Chain Management (SCM)*. July 23, 2008. http://en.ec.com.cn/article/enindustry/entransport/entreport/200807/631669_1.html
- Dreo, J., Petworsky, A., & Taillard, E.D. (2006). *Metaheuristics for hard optimization*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Erbao, C., & Mingyong L. (2007). *An improved differential evolution algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up service*. Third International Conference on Natural Computation.
- Erbao, C., Mingyong, L., & Kai, N. (2008, July). *A differential evolution & genetic algorithm for vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up and time windows*. Paper presented at 17th World Congress of The International Federation of Automatic Control, Seoul.
- Ghiani G., Laporte G., & Musmanno R., *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*, White Sussex: John Wiley & Sons, Ltd, 2004, hal. 1.
- Homberger, J., & Gehring, H. (2004). A Two-Phase Hybrid Metaheuristik for The Vehicle Routing Problem with *Time Windows*. *European Journal of Operation Research*, hal. 220 - 238.
- Karaboga, D. & Okdem, S. (2004). A simple and global optimization algorithm for engineering problems: Differential Evolution algorithm. *Turkey Journal Engineering*, 12, 1-8.

- Laporte, G. (n.d.). *Metaheuristics for the vehicle routing problem: Fifteen years of research*. Canada Research Chair in Distribution Management HEC Montreal.
www.hec.ca/chairedistributique/metaheuristics.pdf
- Onwubulo, C.G., & Davendra, D. (2008). *Differential evolution: A handbook for global-permutation based combinatorial optimization*. California: Springer.
- Price, K.V., Storn, M.R., & Lampinen, J.A. (2005). *Differential evolution: a practical approach to global optimization*. California: Springer.
- Rasmus K. Ursen, "Differential Evolution Made Easy", *Technical Report no. 01,2005*.
- Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2006). *The handbook of logistics and distribution management* (3rd ed.). London: Kogan Page Ltd.
- Savelsbergh, M. W. P., & Sol, M. (1995, February). The general pickup and delivery problem. *Transportation Science*, 29, 17-29
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). *The vehicle routing problem*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.