

**PENENTUAN RUTE DAN PENJADWALAN DISTRIBUSI DENGAN
METODE *INSERTION HEURISTIC* DAN METODE *INTRA-ROUTE
IMPROVEMENT***

(Studi Kasus: CV Angkasa Leather, Jombang)

**SKRIPSI
TEKNIK INDUSTRI KONSENTRASI MANAJEMEN SISTEM
INDUSTRI**

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**UMAR
NIM 115060707111002**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2015**

LEMBAR PENGESAHAN

PENENTUAN RUTE DAN PENJADWALAN DISTRIBUSI DENGAN METODE *INSERTION HEURISTIC* DAN METODE *INTRA-ROUTE IMPROVEMENT*

(Studi Kasus: CV Angkasa Leather, Jombang)

SKRIPSI

TEKNIK INDUSTRI KONSENTRASI MANAJEMEN SISTEM INDUSTRI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



UMAR
NIM 115060707111002

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 30 September 2015

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Rahmi Yuniarti, ST., MT.
NIP. 19840624 200812 2 004

Ratih Ardia Sari, ST., MT.
NIP. 19851017 20101 2 2003

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Industri

Ishardita Pambudi Tama, ST., MT., Ph.D
NIP. 19730819 199903 1 002

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan unsur-unsur plagiarasi, saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (SARJANA TEKNIK) dibatalkan serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No.20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, November 2015

Mahasiswa

UMAR

NIM. 115060707111002

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Skripsi ini dengan baik. Salah satu persyaratan akademik untuk mencapai gelar kesarjanaan pada Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang adalah lulus ujian akhir skripsi dan ujian komprehensif. Sehubungan dengan hal tersebut, skripsi ini ditulis sebagai salah satu persyaratan akademik untuk mencapai gelar kesarjanaan pada Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Skripsi ini berisi tentang penentuan rute dan penjadwalan distribusi dengan metode *insertion heuristic* dan metode *intra-route improvement* pada CV Angkasa Leather, Jombang. Suksesnya penulisan skripsi ini tentunya karena banyaknya dukungan yang penulis dapatkan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan demi terselesaikan skripsi ini. Ucapan terima kasih ini penulis ucapkan kepada:

1. Bapak Ishardita Pambudi Tama, ST., MT., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, yang telah memberi motivasi, ilmu, serta arahan kepada penulis.
2. Ibu Rahmi Yuniarti, ST., MT. sebagai Dosen Pembimbing Skripsi I yang telah memberikan perhatian dan bimbingan demi penyempurnaan skripsi ini.
3. Ibu Ratih Ardia Sari, ST., MT. sebagai Dosen Pembimbing Skripsi II yang telah memberikan perhatian dan bimbingan demi penyempurnaan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Purnomo Budi Santosa, M.Sc., Ph.D. sebagai pembimbing akademik yang telah memberi motivasi, ilmu, serta arahan kepada penulis.
5. Ibu Yeni Sumantri, Ibu Wifqi Azlia, ST., MT. selaku dosen pengamat seminar proposal yang telah memberikan kritik dan masukan demi penyempurnaan skripsi ini.
6. Bapak Sugiono, ST., MT., Ph.D. dan Ibu Wifqi Azlia, ST., MT. selaku dosen pengamat seminar hasil yang telah memberikan kritik dan masukan demi penyempurnaan skripsi ini.
7. Bapak Remba Yanuar Efranto, ST., MT. selaku KKDK Manajemen Sistem Industri yang telah memberikan dukungan dan motivasi bagi penyusunan skripsi ini.
8. Seluruh dosen Teknik Industri Universitas Brawijaya Malang, yang telah banyak mencurahkan ilmunya kepada penulis.

9. Abuya tercinta Ali dan Mama tercinta Faizah selaku kedua orang tua penulis yang senantiasa selalu memberikan doa, motivasi, dan dukungan moril maupun materiil.
10. Amirah, Raniah, Ahnaf selaku adik penulis yang selalu memberi semangat dan dukungan dalam penyusunan skripsi ini.
11. Saudara seper”kuro-an” Izmet, Rachmad alias Kekel, Farabi, Boris, Hazmi serta Mayang yang telah memberikan dukungan, motivasi dan hiburan disaat lelah, menemani suka maupun duka diaat penyusunan skripsi ini, terima kasih atas waktu dan kesabarannya.
12. Sahabat-sahabat Maulef, Bellyn, Dewi, Titahay, Dinda, Fanny, Yuki, marchel yang udah memberikan dukungan, motivasi penulis saat penyusunan skripsi ini, terima kasih atas waktunya.
13. Sahabat-sahabat “OptimusFC” dan “BalanagaFC” yang telah memberikan dukungan yang tiada hentinya kepada penulis, serta selalu menemani waktu luang bagi penulis.
14. Seluruh karyawan CV Angkasa Leather yang telah bekerja sama memberikan informasi dan bantuan dalam penelitian yang dilakukan.
15. Seluruh Bapak/Ibu Staf Pengajar Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
16. Seluruh teman-teman mahasiswa Teknik Industri angkatan 2011.

Akhir kata, penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, karenanya penulis mohon maaf apabila menemukan kesalahan dalam skripsi ini. Secara khusus penulis mengharapkan agar skripsi ini dapat memberikan wawasan dan pengetahuan yang baru bagi setiap pembacanya.

Malang, Oktober 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
SUMMARY	x
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Rumusan Masalah	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Asumsi-asumsi	5
1.6 Tujuan Penelitian.....	5
1.7 Manfaat Penelitian.....	6
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terdahulu.....	7
2.2 Distribusi	9
2.3 Transportasi	9
2.3.1 Desain Jaringan Transportasi	11
2.3.2 Moda Transportasi	12
2.4 <i>Vehicle Routing Problem</i> (VRP)	14
2.4.1 Batasan <i>Vehicle Routing Problem</i> (VRP)	14
2.4.2 Formulasi dasar VRP	16
2.4.3 Karakteristik VRP	17
2.4.4 <i>Vehicle Routing Problem Time Windows</i>	18
2.5 Metode Penyelesaian VRPTW	20
2.5.1 <i>Insertion Heuristic</i>	20

2.5.2	<i>Intra-Route Improvement Method</i>	22
-------	---	----

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Jenis Penelitian.....	23
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	23
3.3	Tahapan Penelitian	23
3.3.1	Tahap Pendahuluan	23
3.3.2	Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data	24
3.3.3	Tahap Analisa dan Kesimpulan.....	26
3.4	Diagram Alir Penelitian	26

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Gambaran Umum Perusahaan.....	29
4.1.1	Visi dan Misi	29
4.1.2	Jumlah Pekerja.....	30
4.2	Pengumpulan Data	30
4.2.1	Data Lokasi Konsumen Grosir	30
4.2.2	Data Permintaan Produk.....	32
4.2.3	Data Kendaraan	33
4.2.4	Data Waktu <i>Loading</i> dan <i>Unloading</i>	33
4.2.5	Data Jarak Wilayah Distribusi.....	33
4.2.6	Data Biaya Distribusi	34
4.3	Pengolahan Data.....	35
4.3.1	Rute Awal Distribusi	35
4.3.1.1	Perhitungan Total Waktu Distribusi.....	36
4.3.1.2	Perhitungan Biaya Transportasi.....	37
4.3.2	Penentuan Rute dengan Metode <i>Insertion Heuristic</i>	38
4.3.2.1	Penentuan Matriks Jarak.....	38
4.3.2.2	Penentuan Matriks Waktu Tempuh	39
4.3.2.3	Penentuan Node	42
4.3.2.4	Penghematan Jarak dan Waktu Tempuh	43
4.3.2.5	Penentuan node sisipan.....	45
4.3.3	Perbaikan Rute dengan metode <i>Improvement</i>	56
4.3.3.1	Metode 2-Opt.....	57

4.3.3.2 Metode 3-Opt.....	58
4.3.3.3 Metode Or-Opt.....	61
4.3.4 Solusi Akhir	63
4.3.5 Perhitungan Total Waktu Distribusi Baru	66
4.3.6 Perhitungan Biaya Transportasi.....	67
4.3.7 Penjadwalan Distribusi	68
4.4 Pembahasan	70

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	73
5.2 Saran.....	74

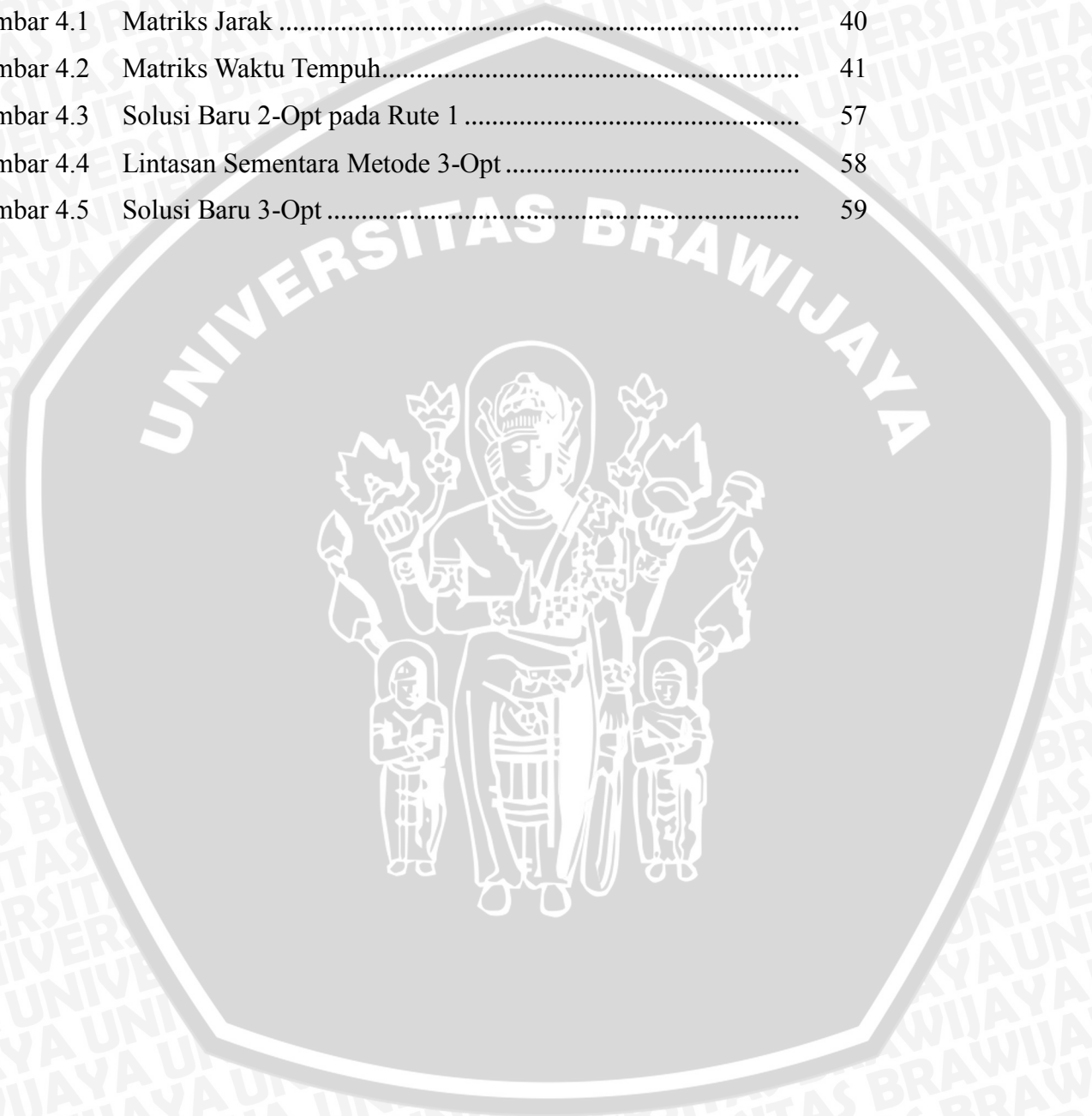
DAFTAR PUSTAKA	75
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN	77
-----------------------	-----------



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 1.1	Data pengiriman barang ke Grosir Bulan Maret 2015.....	3
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	27
Gambar 4.1	Matriks Jarak	40
Gambar 4.2	Matriks Waktu Tempuh.....	41
Gambar 4.3	Solusi Baru 2-Opt pada Rute 1	57
Gambar 4.4	Lintasan Sementara Metode 3-Opt	58
Gambar 4.5	Solusi Baru 3-Opt	59

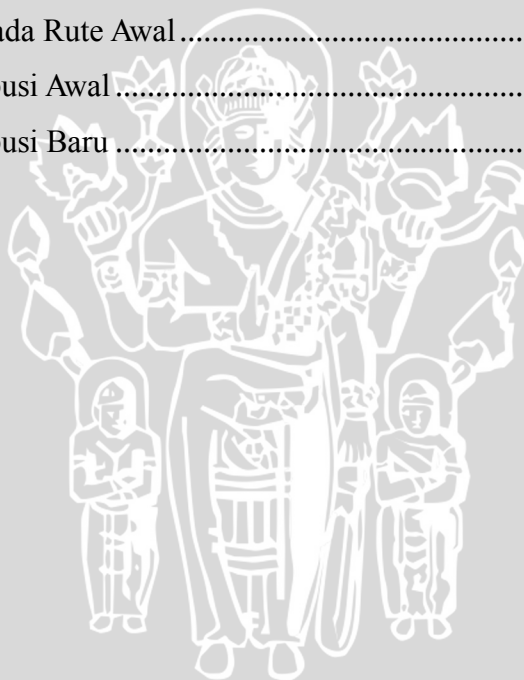


DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Diajukan	8
Tabel 4.1	Data Jumlah Karyawan.....	30
Tabel 4.2	Data Lokasi Grosir.....	31
Tabel 4.3	Rata-rata Permintaan Produk bulan Desember 2015-Mei 2014.....	32
Tabel 4.4	Data Jarak dari Gudang (G) ke Toko	34
Tabel 4.5	Data Gaji <i>Driver</i> dan Kernet.....	35
Tabel 4.6	Rute Distribusi <i>Existing</i> CV Angkasa Leather	36
Tabel 4.7	Perhitungan Total Waktu Distribusi.....	37
Tabel 4.8	Biaya Distribusi untuk Rute Awal	38
Tabel 4.9	Data Durasi Toko	42
Tabel 4.10	Penghematan Jarak	43
Tabel 4.11	Penghematan Waktu.....	44
Tabel 4.12	Node Terbaik yang Dapat Disisipkan dalam Rute.....	45
Tabel 4.13	Rute Setelah Menggunakan Metode <i>Insertion Heuristic</i>	56
Tabel 4.14	Rute 1 yang Terbentuk dengan Metode 2-Opt.....	57
Tabel 4.15	Solusi Baru 2-Opt	58
Tabel 4.16	Rute 1 yang Terbentuk dengan Metode 3-Opt.....	60
Tabel 4.17	Solusi Baru dengan 3-Opt.....	60
Tabel 4.18	Contoh Metode <i>Improvement Or-Opt</i>	61
Tabel 4.19	Rute 1 yang Terbentuk dengan Metode Or-Opt.....	62
Tabel 4.20	Solusi Baru dengan Or-Opt.....	63
Tabel 4.21	Perbandingan Total Jarak Tempuh.....	64
Tabel 4.22	Perbandingan Rute 5.....	65
Tabel 4.23	Rute Distribusi Baru	65
Tabel 4.24	Perhitungan Total Waktu Distribusi Rute Baru.....	66
Tabel 4.25	Biaya Transportasi untuk Rute Baru.....	67
Tabel 4.26	Penjadwalan Distribusi Rute 1-4	68
Tabel 4.27	Penjadwalan Distribusi Rute 5-6	69
Tabel 4.28	Perbandingan Rute <i>Existing</i> dan Rute Baru.....	70
Tabel 4.29	Perbandingan Hasil Perhitungan.....	71

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Node yang Tersisa pada Iterasi 2	77
Lampiran 2	Node yang Tersisa pada Iterasi 3	79
Lampiran 3	Node yang Tersisa pada Iterasi 4	81
Lampiran 4	Node yang Tersisa pada Iterasi 5	82
Lampiran 5	Node yang Tersisa pada Iterasi 6	83
Lampiran 6	<i>Time Windows</i> pada Rute <i>Insertion Heuristic</i>	84
Lampiran 7	Rute yang Terbentuk dengan Metode <i>Improvement 2-Opt</i>	86
Lampiran 8	Rute yang Terbentuk dengan Metode <i>Improvement 3-Opt</i>	89
Lampiran 9	Rute yang Terbentuk dengan Metode <i>Improvement Or-Opt</i>	93
Lampiran 10	<i>Time Windows</i> pada Rute Awal	99
Lampiran 11	Peta Rute Distribusi Awal	100
Lampiran 12	Peta Rute Distribusi Baru	106



RINGKASAN

UMAR, Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Oktober 2015, *Penentuan Rute dan Penjadwalan Distribusi dengan Metode Insertion Heuristic dan Metode Intra-Route Improvement (Studi Kasus: CV Angkasa Leather, Jombang)*, Dosen Pembimbing: Rahmi Yuniarti dan Ratih Ardia Sari.

CV Angkasa Leather merupakan salah satu badan usaha yang menjalankan proses distribusi makanan dan minuman ringan yang berlokasi di desa Mancar Peterongan Jombang. Dalam melakukan proses pendistribusian barang, perusahaan kurang mempertimbangkan jarak dan kapasitas alat angkut yang digunakan sehingga menyebabkan penggunaan alat angkut dalam proses pendistribusian barang kurang efisien. Penyusunan rute distribusi yang dilakukan masih menggunakan pengalaman *driver* tanpa melihat jarak tempuh dan waktu tempuh untuk mencapai lokasi tersebut sehingga hal tersebut memungkinkan terjadinya jarak total pengiriman yang lebih jauh dari seharusnya yang mengakibatkan biaya distribusi yang besar. Selain itu bervariasinya jam buka tutup toko yang terjadwal sehingga ada beberapa konsumen grosir yang mengalami keterlambatan pengiriman. Keterlambatan pengiriman tersebut dikarenakan truk datang melebihi dari jam tutup toko. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan rute distribusi untuk meminimumkan jarak dengan mempertimbangkan keterbatasan waktu pengiriman pada 34 konsumen grosir CV Angkasa Leather dan membuat penjadwalan distribusi barang ke setiap konsumen grosir.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *insertion heuristic* yang digunakan untuk menentukan rute distribusi dengan cara mengidentifikasi matriks jarak dan matriks waktu, mengalokasikan toko kedalam rute berdasarkan durasi, penghematan jarak, penghematan waktu, kapasitas kendaraan serta kendala *time windows*. Setelah mendapatkan rute dengan metode *insertion heuristic* selanjutnya dilakukan tahap perbaikan rute menggunakan metode *intra-route improvement* yaitu metode 2-opt, 3-opt, dan Or-opt. Pada tahap ini, urutan perjalanan rute yang telah dihasilkan dari solusi awal akan mengalami perpindahan. Perpindahan yang dilakukan bertujuan untuk mencari solusi yang lebih baik dari solusi awal. Setelah didapat rute yang lebih baik kemudian dilakukan penjadwalan distribusi produk untuk masing-masing konsumen grosir.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa terbentuk 6 rute baru dari 34 konsumen grosir CV Angkasa Leather. Dengan adanya rute pendistribusian yang baru, jarak tempuh kendaraan mampu diperpendek sebesar 273,4 km atau sebesar 31,2% dari jarak tempuh awal. Waktu tempuh perjalanan mampu dipercepat selama 5,46 jam dengan persentase penurunan sebesar 31,2%. Biaya transportasi dapat berkurang dari Rp. 1.503.228 perminggunya menjadi Rp. 1.300.575 perminggunya atau berkurang Rp. 202.653 atau 13,48%. Persentase pengiriman ulang barang pun akan berkurang karena rute baru yang terbentuk telah sesuai dengan jam buka tutup toko. Penjadwalan kendaraan yang dibuat dapat menjadi acuan bagi perusahaan untuk mengetahui kapan kendaraan sampai di konsumen grosir sesuai jam buka toko sehingga tidak terjadi keterlambatan pengiriman.

Kata kunci: rute distribusi, *insertion heuristic*, *intra-route improvement*, penjadwalan distribusi

SUMMARY

UMAR, Department Of Industrial Engineering, Faculty Of Engineering, Brawijaya University, October 2015, *Determination of Distribution Routes and Scheduling using Insertion Heuristic Method and Intra-Route Improvement Method (Case Study: CV Angkasa Leather, Jombang)*, Supervisor: Rahmi Yuniarti and Ratih Ardia Sari.

CV Angkasa Leather is a company that focusing its bussiness on distributing snacks and beverages which is located in Mancar, Peterongan-Jombang. In process of distributing products, company did not consider about the distance and capacity of the vehicle that leads to the used of vehicle in process of distributing products less efficient. Determination of distribution routes for the delivery products depended on the driver's experience without considering the mileage and travel time thus it allowed the total delivery distance was further than it should be and cause the rising cost of distribution. Moreover, some of the wholesale consumers had delayed in delivery products because of the time windows in each consumer. The delay in delivery due to the truck arrival that exceeded the time windows. This research aimed to determine distribution routes on 34 wholesale consumers CV Angkasa Leather which can minimize the distance by considering the time windows and made scheduling of product distribution.

The method used in this research was insertion heuristic which aims to determined the distribution route by identifying the distance matrix and time matrix, allocating store into route based on duration, saving distance, saving time, consumer demand and time windows. The route that has been formed, was improved by using intra-route improvement method namely 2-opt, 3-opt and Or-opt. At this stage, the sequence routes that has been formed, got a displacement. Displacement conducted aims to found a better solution than the initial solution. After obtained a better route then made a schedule of product distribution in each wholesale customer.

The research result showed that there was formed 6 new routes from 34 wholesale customers CV Angkasa Leather. With the new distribution routes, vehicle mileage can be shortened by 273.4 km or equivalent to 31.2% of the initial mileage. Travel time can be accelerated for 5.46 hours or 31.2%. Transportation costs can be reduced from Rp. 1.503.228 per week to Rp. 1.300.575 per week or reduced by Rp. 202.653 or 13,48%. Percentage redelivered products will be reduce because the new routes that has been formed in accordance with the time wondows. Distribution scheduling that made can be a reference for company to know when the vehicle arrive at the store according time windows so there is no delay in delivery.

Keywords: distribution routes, heuristic insertion, intra-route improvement, distribution scheduling

BAB I PENDAHULUAN

Bab I ini akan dijelaskan mengenai latar belakang masalah yang akan diteliti, identifikasi masalah, perumusan masalah, batasan masalah, asumsi, tujuan, dan manfaat dari penelitian yang digunakan sebagai dasar dalam pelaksanaan penelitian.

1.1 Latar Belakang

Supply chain management merupakan hal yang tidak asing lagi bagi perusahaan. Hampir semua perusahaan telah menerapkan *supply chain management* dalam proses bisnisnya guna meminimalisasi biaya rantai pasok. Menurut Stock dalam Damayanti (2014:1), biaya yang perlu diminimalisasi antara lain adalah biaya bahan baku, biaya transportasi, biaya fasilitas investasi, biaya produksi langsung dan tak langsung, biaya persediaan, dan sebagainya. Salah satu bagian proses *supply chain management* adalah manajemen logistik untuk merencanakan, mengimplementasikan, mengatur efisiensi dan efektivitas aliran, penyimpanan produk, pelayanan, dan informasi yang berkaitan dari bahan mentah menjadi barang jadi yang siap dikonsumsi oleh konsumen (Bowersox, 1978:13).

Transportasi dan distribusi merupakan dua hal yang sangat tidak terpisahkan. Keduanya merupakan komponen yang mempengaruhi keunggulan kompetitif suatu perusahaan. Transportasi pada sebagian besar perusahaan menghasilkan biaya yang tertinggi dalam sistem distribusi yaitu sepertiga ($\frac{1}{3}$) sampai dua pertiga ($\frac{2}{3}$) dari total biaya distribusi (Ballou, 1998:11). Penurunan biaya transportasi dapat meningkatkan keuntungan perusahaan secara tidak langsung. Dengan demikian peningkatan efisiensi melalui utilisasi secara optimal terhadap peralatan dan personel transportasi harus mendapat perhatian yang besar. Salah satu cara untuk menurunkan biaya transportasi menurut Yuniarti dan Astuti (2013:17) adalah dengan mengefisienkan sistem distribusi dan penggunaan moda transportasi yang ada. Perbaikan sistem distribusi merupakan salah satu solusi alternatif untuk menurunkan biaya logistik. Selain itu, efisiensi sistem distribusi juga dapat dilakukan dengan menentukan rute pendistribusian untuk meminimalkan total jarak tempuh, dan lama perjalanan sehingga dapat mengoptimalkan penggunaan kapasitas serta jumlah kendaraan (Sari, 2010:1). Menurut Chopra dan Meindl dalam Sari (2010:2), kebijakan operasional terpenting yang berhubungan dengan transportasi adalah penentuan rute dan penjadwalan

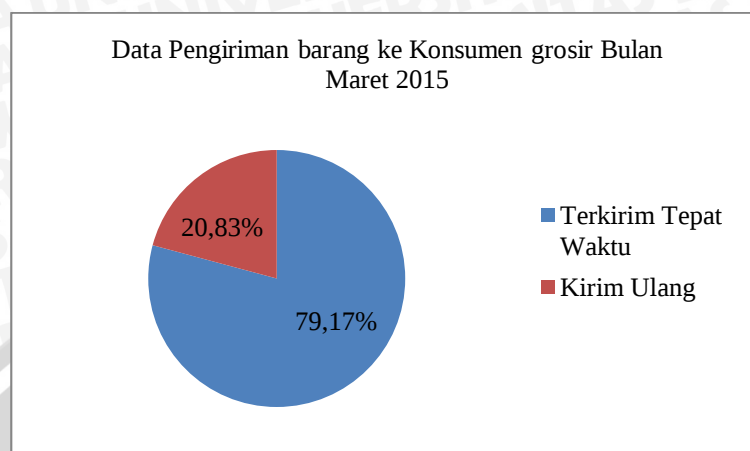
pengiriman. Menurut Chopra dan Meindl dalam Sari (2010:2), faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam pertimbangan penentuan rute dan penjadwalan pengiriman adalah tujuan pengantaran, armada (kendaraan, sumber daya manusia dan kapasitas), waktu, biaya, dan kepuasan pelanggan.

CV Angkasa Leather merupakan salah satu badan usaha yang menjalankan proses distribusi yang berlokasi di desa Mancar Peterongan Jombang. CV Angkasa Leather mendistribusikan beberapa produk dari PT Calpis Indonesia, PT Bina Karya dan PT Inafood ke konsumen grosir dan retailer yang berada di wilayah kabupaten Jombang, Mojokerto, dan Nganjuk. Sehingga peran transportasi untuk menunjang aliran bisnis di CV Angkasa Leather menjadi sangat penting. CV Angkasa Leather memiliki armada pengiriman barang berupa 4 buah truk dengan alokasi 3 truk untuk pendistribusian barang ke retailer masing-masing untuk wilayah kabupaten Jombang sebanyak 253 retailer, kabupaten Mojokerto sebanyak 296 retailer dan kabupaten Nganjuk sebanyak 175 retailer. Sedangkan 1 truk lainnya dialokasikan untuk pendistribusian barang 34 konsumen grosir dari 3 wilayah kabupaten yaitu Jombang, Mojokerto, dan Nganjuk. Keempat truk tersebut selalu difungsikan secara penuh setiap harinya. Masing-masing truk tersebut berkapasitas maksimal 20,445 m³. Pengiriman barang pada konsumen dilakukan selama hari kerja yaitu hari Senin sampai dengan hari Sabtu. Pada penelitian ini yang menjadi objek penelitian adalah konsumen konsumen grosir yang berada di wilayah kabupaten Jombang, Mojokerto, dan Nganjuk yang berjumlah 34 konsumen grosir.

Berdasarkan wawancara yang dilakukan kepada Kepala bagian Distribusi CV Angkasa Leather, permasalahan transportasi yang dihadapi adalah penentuan rute distribusi barang yang belum optimal. Dalam melakukan proses pendistribusian barang, perusahaan kurang mempertimbangkan jarak dan kapasitas alat angkut yang digunakan sehingga menyebabkan penggunaan alat angkut dalam proses pendistribusian barang kurang efektif dan efisien. Penyusunan rute distribusi yang dilakukan saat ini juga masih menggunakan pengalaman *driver* tanpa melihat jarak tempuh dan waktu tempuh untuk mencapai lokasi tersebut sehingga hal tersebut memungkinkan terjadinya jarak total pengiriman yang lebih jauh dari seharusnya.

CV Angkasa Leather masih sering mengalami keterlambatan pengiriman produk pada konsumen grosir karena untuk beberapa konsumen grosir pengiriman hanya dapat dilakukan pada jam tertentu dikarenakan jam buka dan istirahat toko yang terjadwal. Terkadang, *driver* harus menunggu sampai toko buka atau kembali ke toko tersebut yang menyebabkan jam kerja *driver* bertambah dan berdampak terhadap terjadinya jam lembur dan terjadinya

pengiriman ulang yang dilakukan pada hari Minggu oleh perusahaan. Data jumlah keterlambatan pada konsumen grosir dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Data pengiriman barang ke Konsumen grosir Bulan Maret 2015
Sumber: CV Angkasa Leather

Gambar 1.1 merupakan data pengiriman produk pada bulan Maret 2015, dapat dilihat bahwa 20,83% dari total pengiriman produk ke konsumen grosir pada bulan tersebut harus dilakukan pengiriman ulang. Masih adanya masalah keterlambatan yang sering terjadi pada konsumen grosir dikarenakan permasalahan jam buka toko, banyaknya jumlah permintaan dari konsumen grosir serta terbatasnya jumlah kendaraan, sehingga objek pada penelitian ini adalah konsumen grosir yang berada di wilayah kabupaten Jombang, Nganjuk dan Mojokerto yang berjumlah 34 konsumen grosir.

CV Angkasa Leather perlu menentukan rute dan menjadwalkan pendistribusian produk dengan penggunaan kapasitas kendaraan serta keterbatasan waktu pengiriman di beberapa konsumen karena hal tersebut akan menentukan tinggi rendahnya biaya transportasi melalui jarak yang ditempuh setiap harinya. Masalah tersebut merupakan *Vehicle Routing Problem* (VRP). VRP adalah sebuah permasalahan optimasi kombinatorial dengan banyak variasi aplikasi yang termasuk dalam kategori permasalahan *Nondeterministic Polynomial-hard* (NP-hard), masalah ini akan semakin sulit dipecahkan apabila semakin kompleks (Savelsbergh, 1985:16). Menurut Desrochers dan Solomon dalam Marina (2008:9) metode eksak seperti *dynamic programming*, *integer programming*, dan *mixed integer programming* tidak mampu menyelesaikan masalah tersebut, kecuali untuk ukuran masalah yang kecil ($n < 30$). Untuk itu, masalah VRP lebih efektif diselesaikan dengan menggunakan metode heuristik. Metode heuristik memecahkan masalah yang sulit secara lebih praktis dan cepat dibandingkan metode eksak, serta hasilnya pun menuju pada solusi yang mendekati optimal.

Salah satu metode heuristik untuk persoalan rute pendistribusian pada CV Angkasa Leather yaitu *Vehicle Route Problem with Time Windows* (VRPTW) dengan algoritma *Insertion Heuristic*. Menurut Giani, Laporte, dan Musmano (2003:274) *insertion heuristic* merupakan metode yang paling efisien untuk permasalahan VRPTW berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Solomon (1987:254). Algoritma *Insertion Heuristic* merupakan pengembangan dari metode *saving heuristic* yang dikembangkan oleh Clarke and Wright untuk persoalan VRP klasik dimana pada model VRPTW ini yang harus diselesaikan tidak hanya menentukan rute tetapi juga jadwal keberangkatan setiap kendaraan untuk meminimumkan total biaya transportasi. Setelah mendapatkan rute dengan algoritma *insertion heuristic* selanjutnya dilakukan tahap perbaikan rute dengan menggunakan metode *intra-route improvement* yang telah dikembangkan dan banyak digunakan yaitu metode 2-opt, 3-opt, dan Or-opt. Pada tahap ini, urutan perjalanan dalam satu rute yang telah dihasilkan dari solusi awal akan mengalami perpindahan. Perpindahan yang dilakukan bertujuan untuk mencari solusi yang lebih baik dari solusi awal dari segi biaya. Setelah didapat rute yang lebih baik kemudian dilakukan penjadwalan distribusi kendaraan untuk masing-masing konsumen grosir tiap harinya.

Berdasarkan penjelasan tersebut maka pada penelitian ini, metode *insertion heuristic* akan dipadukan dengan tiap metode *intra-route improvement*. Kemudian hasil yang diperoleh dari kombinasi metode tersebut akan dibandingkan untuk akhirnya diketahui metode terbaik bagi permasalahan rute kendaraan CV Angkasa Leather, yaitu metode yang menghasilkan rute-rute dengan total biaya transportasi yang paling minimum. Selanjutnya dilakukan penjadwalan distribusi barang ke tiap konsumen grosir berdasarkan rute dan waktu tempuh serta mempertimbangkan keterbatasan waktu pengiriman.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka masalah yang dapat diidentifikasi antara lain:

1. Rute pendistribusian barang ke konsumen masih ditentukan oleh *driver* tanpa mempertimbangkan jarak dan waktu tempuh untuk mencapai lokasi konsumen.
2. Adanya keterlambatan pengiriman produk pada konsumen grosir karena keterbatasan jam buka toko maka dilakukan pengiriman ulang produk.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana rute pendistribusian produk pada konsumen grosir CV Angkasa Leather?
2. Berapa jarak dan waktu tempuh yang dibutuhkan untuk pendistribusian produk pada konsumen grosir CV Angkasa Leather?
3. Bagaimana jadwal pendistribusi produk pada konsumen grosir?
4. Bagaimana perbandingan biaya yang dikeluarkan perusahaan antara kondisi *existing*?

1.4 Batasan Masalah

Agar menjadi lebih terarah, penelitian ini dibatasi pada ruang lingkup sebagai berikut:

1. Data permintaan produk dari masing-masing konsumen grosir yang digunakan adalah rata-permintaan 6 bulan terakhir.
2. Waktu pengambilan barang ke gudang sesuai dengan jam kerja gudang yaitu antara pukul 08.00 – 16.00 WIB.
3. Jalan yang dilewati oleh rute pengiriman produk adalah jalan-jalan yang dapat dilalui oleh truk-truk CV Angkasa Leather.
4. Rute yang dihasilkan adalah rute harian untuk perencanaan penjadwalan tiap minggunya.
5. Analisa perbaikan terukur yang dilakukan hanya meliputi analisa perbandingan total biaya transportasi.

1.5 Asumsi-Asumsi

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tidak ada penambahan jumlah konsumen grosir selama penelitian.
2. Semua permintaan konsumen dapat dipenuhi oleh CV Angkasa Leather.
3. Tidak ada hambatan selama perjalanan.
4. Jarak dan kondisi lalu lintas tidak mempengaruhi kecepatan rata-rata.
5. Satu liter solar untuk truk *box* dapat menempuh jarak rata-rata 9 km.

1.6 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah sebelumnya, tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan rute distribusi CV Angkasa Leather dengan menggunakan metode *Insertion Heuristic* dan metode *Intra-Route Improvement*.
2. Menghitung jarak dan waktu tempuh yang dibutuhkan pada rute dengan metode *Insertion Heuristic* dan metode *Intra-Route Improvement*.

3. Menentukan jadwal pendistribusian produk pada konsumen grosir.
4. Membandingkan hasil penelitian dengan kondisi *existing* dari perusahaan.

1.7 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini, manfaat yang akan diperoleh dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Dapat menjadi masukan perbaikan bagi perusahaan dalam menentukan rute distribusi sehingga diharapkan dapat menghemat biaya transportasi.
2. Dapat menjadi dasar perbaikan bagi perusahaan untuk meningkatkan efektifitas dan efisiensi jalur distribusi barang.
3. Dapat menjadi bahan pertimbangan dan masukan bagi perusahaan mengenai jadwal pendistribusian barang yang efektif dan efisien sehingga dapat mempercepat pengiriman.





BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam pelaksanaan penelitian ini terdapat beberapa teori atau referensi yang nantinya digunakan untuk menjadi dasar dalam pengerjaan penelitian ini. Oleh karena itu, pada bab II akan menjelaskan tentang beberapa teori atau literatur yang mendukung penelitian ini. Untuk lebih detailnya akan dipaparkan di bawah ini.

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini menggunakan teori-teori serta pustaka yang dipakai untuk membantu selama penelitian dan penyusunan laporan. Teori-teori ini diambil dari buku literatur., dari internet, dan dari laporan tugas akhir yang sudah ada. Adapun penelitian terdahulu adalah sebagai berikut:

1. Salaki, dan Rindengan (2010) melakukan penelitian untuk menentukan rute distribusi barang yang optimal dengan menggunakan *heuristic* pada permasalahan *Vehicle Routing Problem With Time Windows* (VRPTW). Pada penelitian ini rute dikonstruksi sedemikian hingga setiap konsumen dikunjungi sekali oleh satu kendaraan dan rutenya berawal dan berakhir di depot. Selanjutnya masalah ini diselesaikan dengan menggunakan metode *heuristic* dengan *software ILOG dispatcher*. Metode ini diawali dengan mengonstruksi rute menggunakan metode *nearest-to-depot* lalu dilanjutkan dengan memperbaiki rute tersebut menggunakan metode *2-opt*, *Or-opt*, *relocate*, *exchange* dan *cross*.
2. Lucyana (2011) melakukan penelitian untuk menyelesaikan permasalahan rute kendaraan di PT. X. Pada penelitian tersebut peneliti menggunakan metode *heuristic* klasik untuk menyelesaikan permasalahan rute kendaraan. Peneliti melakukan kombinasi metode-metode yang ada dan membandingkan hasil yang diperoleh sehingga dapat diketahui metode *heuristic* klasik terbaik bagi permasalahan rute kendaraan di PT. X yang menghasilkan jarak tempuh terpendek. Dari hasil penelitian ini, solusi terbaik di peroleh dengan menggabungkan metode *savings*, dan *Or-Opt*.
3. Zalynda (2013) melakukan penelitian untuk menyelesaikan permasalahan *Vehicle Routing Problem With Time Windows* (VRPTW) dengan metode *insertion heuristic* di

PT. X. Pada penelitian ini ditentukan rute pendistribusian roti untuk memperoleh jarak tempuh yang minimum dan pengiriman sesuai dengan waktu yang ditetapkan oleh tiap *outlet*. Hasil penelitian, menghasilkan 5 rute, dengan total jarak 149,3km, dimana rute yang terbentuk tidak terjadi waktu menunggu untuk dilayani maupun melewati batas waktu pelayanan di setiap *outlet* sehingga dapat meminimalkan jarak, waktu tempuh dan biaya transportasi. Dari kelima rute dapat ditempuh dengan 2 unit kendaraan, dimana kendaraan pertama akan menempuh rute 1 dan 3 sedangkan kendaraan kedua akan menempuh rute 2, 4, dan 5.

Untuk menjelaskan perbandingan penelitian ini dengan tiga penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, maka pada Tabel 2.1 akan disajikan perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian ini.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Diajukan

Penulis	Objek Penelitian	Metode				Hasil
		Clarke & Wright	Insertion Heuristic	Nearest-to-Depot	Improvement	
Salaki, dan Rindengan (2010)	Sari Roti	-	-	√	√	Distribusi produk roti ke pelanggan memerlukan 3 kendaraan masing-masing dengan total jarak tempuh 27.8516 km, 52.7287 km dan 55.8329 km. Kendaraan pertama melayani 6 pelanggan dengan total muatan 84 crate, kendaraan kedua melayani 9 pelanggan dengan total muatan 158 crate dan kendaraan ketiga melayani 9 pelanggan dengan total muatan 139 crate
Lucyana, Tarida (2011)	PT. X	√	-	-	√	Dari hasil penelitian ini, solusi terbaik di peroleh dengan menggunakan metode savings, dan Or-Opt.
Zalynda, Putri Mety (2013)	PT. X	-	√	-	-	Hasil penelitian, menghasilkan 5 rute, dengan total jarak 149,3km, dimana rute yang terbentuk tidak terjadi waktu menunggu untuk dilayani maupun melewati batas waktu pelayanan di setiap outlet sehingga dapat meminimalkan jarak, waktu tempuh dan biaya transportasi. Dari kelima rute dapat ditempuh dengan 2 unit kendaraan, dimana kendaraan pertama akan menempuh rute 1 dan 3 sedangkan kendaraan kedua akan menempuh rute 2, 4, dan 5.
Penelitian ini	CV. Angkasa Leather	-	√	-	√	Diharapkan penelitian ini dapat menghemat jarak tempuh, biaya dan, waktu distribusi serta menguangi adanya keterlambatan pengiriman produk. Selain itu, dengan menggunakan metode 2-opt, 3-opt, dan Or-opt mampu memberikan improvement serta penjadwalan dalam distribusi.

2.2 Distribusi

Distribusi adalah aktivitas yang dilakukan untuk memindahkan dan menyimpan produk dari tingkatan *supplier* hingga tingkatan konsumen dalam *supply chain* (Chopra dan Meindl, 2004:71). Distribusi akan berlangsung pada setiap tingkatan dalam *supply chain*. Aliran material mentah dan komponen berpindah dari *supplier* ke pabrik, sedangkan produk jadi akan berpindah dari pabrik ke pengguna akhir. Distribusi merupakan kunci dari semua keuntungan yang akan diterima perusahaan karena distribusi secara langsung akan mempengaruhi biaya *supply chain* dan pengalaman konsumen.

Pada *level* tertinggi, performansi distribusi akan diukur dengan dua sudut pandang yaitu kebutuhan konsumen yang terpenuhi dan biaya yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap suatu jaringan distribusi yaitu (Chopra dan Meindl, 2004:72):

1. Respon terhadap waktu, merupakan waktu antara konsumen melakukan pemesanan dan ketika konsumen menerima pesannya.
2. Varietas produk, merupakan jumlah perbedaan jenis produk atau susunan produk yang diinginkan konsumen dari suatu jaringan distribusi.
3. Ketersediaan produk, merupakan probabilitas ketersediaan produk dalam stock ketika ada pesanan dari konsumen.
4. *Customer experience*, merupakan suatu cara yang dapat digunakan oleh konsumen untuk melakukan pemesanan dan penerimaan produk mereka.
5. *Order visibility*, merupakan kemampuan dari konsumen untuk melakukan pengecekan terhadap pesannya dari penempatan hingga pengiriman.
6. *Returnability*, merupakan ketersediaan cara dimana konsumen dapat mengembalikan produk yang tidak sesuai dan kemampuan dari jaringan distribusi untuk mengatasi masalah pengembalian tersebut.

2.3 Transportasi

Salah satu komponen penting dalam logistik adalah transportasi karena tidak ada perusahaan yang dapat beroperasi tanpa memperhatikan pergerakan bahan baku atau produk jadi. Sistem logistik dibangun oleh set "fasilitas" yang dihubungkan oleh jasa transportasi. Fasilitas ini bisa berupa pabrik (*manufacture*), pusat perakitan (*assembly centres*), gudang (*warehouses*), pusat distribusi (*distribution centres*, DCs), tempat pembuangan (*dump sites*), pengecer (*retailer*) dan sebagainya. Jika transportasi tidak berjalan maka pasar tidak dapat dilayani, produk kembali ke perusahaan dalam keadaan usang atau rusak. Transportasi

mengacu pada pergerakan produk dari satu lokasi ke lokasi yang lain sebagai fungsinya untuk mengirimkan produk dari awal jaringan *supply chain* sampai pada tangan konsumen (Chopra dan Meindl, 2004:425).

Sesuai dengan namanya, persoalan transportasi pertama kali diformulasikan sebagai suatu prosedur khusus untuk mendapatkan program biaya minimum dalam mendistribusikan unit yang homogen dari suatu produk atas sejumlah titik penawaran (sumber) ke sejumlah titik permintaan (tujuan), semua ditempatkan pada sumber dan tujuan yang berbeda secara geografis (Aminudin, 2005:14). Transportasi berperan sebagai kunci dalam *supply chain* sebab suatu produk jarang diproduksi dan dikonsumsi di satu lokasi yang sama.

Menurut Chopra dan Meindl (2004:413) ada dua pihak yang berperan dalam transportasi:

1. Pihak pengirim (*shipper*),

Pihak pengirim adalah pihak yang memerlukan pemindahan produknya dari satu titik ke titik lain dalam *supply chain*. Keputusan yang dibuat misalnya desain jaringan transportasi, pemilihan alat transportasi, dan pengaturan penempatan pesanan konsumen pada alat transportasi yang ada. Tujuan dari pengirim adalah untuk meminimalisasi total biaya pemenuhan pesanan konsumen sementara tetap mencapai *responsiveness* yang diinginkan. Biaya yang diperhitungkan dalam pengambilan keputusannya adalah:

- a. Biaya transportasi, merupakan jumlah total biaya untuk berbagai pengirim yang mengirimkan produk pesanan kepada konsumen. Bagi *shipper* biaya transportasi termasuk biaya variabel selama kendaraannya bukan milik pengirim sendiri.
- b. Biaya inventori, merupakan biaya penyimpanan dari inventori yang berasal dari jaringan *supply chain* pengirim. Biaya inventori dianggap tetap ketika keputusan transportasi berjangka waktu pendek yaitu dalam kegiatan menempatkan kiriman konsumen pada pembawanya dan dianggap variabel ketika *shipper* mendesain jaringan transportasi atau merencanakan kebijakan operasi.
- c. Biaya fasilitas, adalah biaya semua fasilitas dalam jaringan *supply chain* pengirim. Biaya ini dianggap variabel dalam pengambilan keputusan desain strategis tetapi dianggap tetap untuk keputusan transportasi lainnya.
- d. Biaya proses, adalah biaya *loading* dan *unloading* dan semua biaya yang menyangkut proses dalam transportasi. Biaya proses dianggap variabel untuk semua keputusan transportasi.
- e. Biaya *service level*, adalah biaya yang timbul karena ketidakmampuan untuk memenuhi komitmen pengiriman.

2. Pihak pembawa (*carrier*)

Pihak pembawa adalah pihak yang memindahkan produk. Tujuan *carrier* adalah untuk membuat keputusan investasi dan kebijakan operasi yang memaksimalkan keuntungan dari tiap aset. Faktor yang dipertimbangkan ketika akan mengambil suatu keputusan antara lain:

- a. Biaya yang berkaitan dengan kendaraan, adalah biaya timbul karena membeli atau menyewa kendaraan yang digunakan untuk mengirim produk. Biaya ini tetap ada meskipun kendaraan digunakan atau tidak dan besarnya proporsional dengan jumlah kendaraan.
- b. Biaya operasi tetap, merupakan biaya yang berhubungan dengan terminal, *airport*, dan tenaga kerja tetap ada walaupun kendaraan tidak beroperasi. Biaya operasi tetap pada umumnya proporsional dengan ukuran dari fasilitas operasional.
- c. Biaya yang berkaitan dengan perjalanan, biaya ini mencakup gaji karyawan dan bahan bakar yang diperlukan untuk perjalanan dan besarnya bergantung pada jarak dan frekuensi pengiriman.
- d. Biaya *overhead*, biaya ini mencakup biaya perencanaan dan penjadwalan jaringan transportasi dan investasi dalam teknologi informasi.
- e. Biaya yang berkaitan dengan jumlah barang, biaya ini mencakup biaya *loading* dan *unloading* dan sebagian biaya bahan bakar yang berubah sejalan dengan jenis dan jumlah barang yang dikirimkan.

1.3.1 Desain Jaringan Transportasi

Desain dari suatu jaringan transportasi akan berpengaruh pada performansi dari jaringan *supply chain* tersebut. Beberapa pilihan rancangan jaringan transportasi yaitu sebagai berikut (Chopra dan Meindl, 2004:421):

1. *Direct shipment network*

Pada struktur jaringan ini rantai pengecernya dibuat sedemikian rupa sehingga semua pengiriman datang langsung dari *supplier* ke toko *retail*. Dengan *direct shipment network*, rute setiap pengiriman dispesifikasi dan manajer *supply chain* hanya perlu untuk memutuskan kuantitas pengiriman dan sarana transportasi yang digunakan. Jaringan ini akan mengurangi adanya *intermediate warehouse* dan pelaksanaannya sederhana.

Kelebihan yang didapatkan dengan jaringan transportasi ini yaitu adanya eliminasi dalam pergudangan dan proses operasi koordinasi yang sederhana. Jaringan ini akan lebih efektif diterapkan dalam suatu *retailer* dengan *lot size* pergantian produk yang tinggi.

2. *Direct shipping with milk runs*

Milk run merupakan jaringan dimana sebuah truk mengantarkan produk dari sebuah *supplier* ke multi *retail* atau dari multi *supplier* ke sebuah *retailer*. Manfaat jaringan ini adalah menghilangkan *intermediate warehouse* dan memiliki biaya yang rendah dan utilisasi yang tinggi karena mengkonsolidasi pengiriman multi pengiriman dalam satu truk.

3. *All shipment with central distribution centre*

Pada jaringan ini para *supplier* tidak mengirim langsung ke toko *retailer*. Rantai *retailer* dibagi berdasarkan daerah geografis dan sebuah pusat distribusi (*distribution centre*, DC) dibuat disetiap daerah tersebut. *Supplier* lalu mengirimkan pengiriman mereka ke DC dan DC kemudian melanjutkan pengirimannya ke setiap toko *retail*.

Keuntungan yang dapat diperoleh dengan jaringan transportasi ini yaitu bahwa DC dapat mengurangi biaya *supply chain* ketika *supplier* terletak jauh dari *retailer* dan biaya transportasi tinggi. Keuntungan lain yang dapat diperoleh dengan penerapan jaringan transportasi ini yaitu rendahnya *level inventori* yang dibutuhkan dan adanya aliran produk yang cepat dalam *supply chain*.

4. *Shipping via distribution center using milk runs*

Disini *milk run* digunakan dalam DC jika ukuran *lot* yang harus diantarkan ke setiap toko *retailer* kecil.

5. *Tailored network*

Jaringan ini merupakan kombinasi dari *crossdocking*, *milk run*, *truck load* (TL), dan *less-than-truckload* (LTL), bahkan dalam beberapa kasus dengan pembawa paket. Tujuannya adalah mendapatkan cara yang tepat sesuai situasi yang ada. Produk volume tinggi untuk *retailer* yang ber *volume* tinggi dapat diantar langsung dan produk ber *volume* rendah atau pengiriman untuk *retailer* ber *volume* rendah dapat dikonsolidasikan di DC terlebih dahulu.

1.3.2 Moda Transportasi

Perbedaan sifat jasa, operasi, dan biaya transportasi membedakan moda transportasi dalam lima kelompok, yaitu angkutan kereta api (*rail road railway*), jalan raya (*road/highway transportation*), angkutan udara (*air transportation*), angkutan laut (*water/sea transportation*), dan saluran pipa (*pipelines*). Masing-masing moda transportasi ini mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing terhadap kegiatan logistik di perusahaan. Berikut karakteristik yang dimiliki masing-masing moda transportasi menurut Pujawan (2005:178):

1. Kereta api, dengan karakteristik:
 - a. Membutuhkan biaya tetap tinggi, sedangkan biaya variable rendah.
 - b. Bias mengangkut barang dengan berat dan volume besar.
 - c. Fleksibilitas waktu kirim rendah dan jaringan (rel) terbatas.
2. Truk, dengan karakteristik:
 - a. Membutuhkan biaya tetap yang rendah.
 - b. Fleksibilitas waktu dan rute pengiriman yang tinggi.
 - c. Volume barang yang bisa diangkut cukup besar sesuai dengan batas kapasitas kendaraan dan kondisi prasarana fisik jalan.
3. Pesawat (udara), dengan karakteristik:
 - a. Kecepatan pengiriman produknya tinggi.
 - b. Kemampuan mengangkut barang terbatas.
 - c. Fleksibilitas rute pengiriman rendah.
4. Kapal laut (*Vessel*), dengan karakteristik:
 - a. Membutuhkan biaya tetap yang sedang, sedangkan biaya variabelnya rendah (biaya tetap lebih tinggi bila dibandingkan dengan moda transportasi melalui jalan raya, tetapi lebih rendah apabila dibandingkan melalui kereta api).
 - b. Mampu membawa barang dalam jumlah besar.
 - c. Fleksibilitas waktu kirim dan rute pengiriman rendah.
5. Saluran pipa (*pipeline*), dengan karakteristik:
 - a. Membutuhkan biaya tetap yang tinggi, sedangkan biaya variabelnya rendah.
 - b. Kapasitas dan jaringannya sangat terbatas.
 - c. Digunakan untuk mengangkut gas dan cairan.

Dalam memilih moda transportasi untuk suatu jenis produk tertentu, laimnya pengirim mempertimbangkan tujuh kriteria, yaitu:

1. Kecepatan waktu pengantaran dari tempat sumber ke tempat tujuan.
2. Frekuensi pengiriman terjadwal.
3. Keandalan dalam memenuhi jadwal pada waktunya.
4. Kemampuan menangani angkutan dari berbagai barang.
5. Banyaknya tempat singgah atau bongkar muat.
6. Biaya per ton-kilometer
7. Jaminan atas kerusakan atau kehilangan barang.

Apabila pengiriman menghendaki faktor kecepatan, maka transportasi melalui udara dan truk merupakan dua pilihan utama. Kalau perusahaan menginginkan biaya yang murah,

maka transportasi melalui kereta api dan kapal adalah pilihan utama. Untuk angkutan darat, truk muncul dengan tawaran lebih murah dibandingkan dengan kereta api, karena dapat melayani dari pintu ke pintu (*door to door service*) (Nasution, 2004:45).

2.4 Vehicle Routing Problem (VRP)

Salah satu klasifikasi masalah penentuan rute dan penjadwalan adalah *Vehicle Routing Problem* (VRP). VRP merupakan istilah yang diberikan untuk sebuah permasalahan dimana sejumlah konsumen dikunjungi oleh sejumlah kendaraan dan tiap konsumen hanya dapat dikunjungi oleh tepat satu kendaraan saja (Kallehauge dkk, 2001:67). Tujuan dari VRP adalah untuk melakukan pengiriman kepada konsumen sesuai permintaan yang telah ditentukan, melalui rute kendaraan dengan biaya minimal dimana rute kendaraan tersebut berawal dan berakhir di depot. Dalam artikel *Vehicle Routing Problems* (Gambardella, 2000:39) permasalahan ini pertama kali diformulasikan oleh Dantzig dan Ramser pada tahun 1950. Permasalahan ini digunakan untuk mendesain rute bagi kendaraan sehingga dapat mengakomodasi keterbatasan dan tujuan yang akan dicapai. Menurut Laporte (2002:109-128), VRP didefinisikan sebagai suatu *Graph* $G=(V,A)$ dimana $V=\{1,...,n\}$ merupakan sebuah set *vertex* yang mewakili konsumen-konsumen dengan depot diwakili oleh *vertex* 1 dan A adalah sebuah set *arcs*. Dimana setiap *arc* (i,j) $i \neq j$ diartikan sebagai matrik jarak non-negatif $C=(c_{ij})$. Dalam beberapa masalah c_{ij} dapat berupa *travel cost* atau *travel time*. Sedangkan $A = \{(i,j) : i,j \in V, i < j\}$ merupakan sebuah set *edge* (garis kosong). VRP terdiri dari hal-hal sebagai berikut :

1. Menentukan m *vehicle route* dengan minimasi total biaya.
2. Semua rute kendaraan mulai dan berhenti pada suatu depot
3. Setiap konsumen dikunjungi tepat satu kali oleh tepat satu kendaraan.
4. Total demand setiap rute tidak melebihi kapasitas maksimal kendaraan.
5. Panjang rute tidak melebihi batasan panjang maksimal rute yang telah ditetapkan.

2.4.1 Batasan Vehicle Routing Problem (VRP)

Vehicle Routing Problem sebagaimana aplikasi di lapangan, memiliki berbagai batasan, yaitu:

1. Kendaraan
 - a. Setiap kendaraan memiliki batasan kapasitas seperti berat/volume agar pengiriman berjalan lancar, misal truk dengan batasan kapasitas angkut.

- b. Setiap kendaraan memiliki total *working time* dari pemberangkatan hingga saat tiba kembali dalam depot, misalnya jam kerja sopir.
- c. Setiap kendaraan memiliki periode waktu tertentu ketika meninggalkan depot, khususnya untuk memastikan ruang yang tersisa dalam kendaraan untuk melakukan *resupply* dalam depot tersebut.
- d. Setiap kendaraan memiliki waktu atau saat tertentu untuk tidak melakukan apapun (waktu istirahat sopir)
- e. Setiap kendaraan memiliki batasan biaya tertentu dalam pengiriman

2. Konsumen

- a. Setiap konsumen memiliki kuantitas yang harus dikirim atau diambil.
- b. Setiap konsumen memiliki batasan waktu tertentu dalam pengiriman atau pengambilan yang disebut *time windows* konsumen. *Time windows* adalah sesuatu yang memuaskan konsumen namun memberatkan bagi perusahaan pengiriman karena mengurangi fleksibilitas waktu pengiriman.
- c. Setiap konsumen memiliki *drop time*.
- d. Setiap konsumen memungkinkan untuk *split visit* (pengiriman atau pengambilan dengan lebih dari satu kendaraan) atau tidak.
- e. Setiap konsumen memungkinkan untuk mengirim barang dengan karakter tertentu sehingga beberapa jenis kendaraan tidak dapat digunakan untuk melakukan pengiriman
- f. Setiap konsumen memiliki prioritas pengiriman.

3. Faktor lain

- a. *Multiple trips* dengan kendaraan yang sama dalam satu hari, yaitu ketika kendaraan dapat kembali ke depot lalu melakukan pengiriman atau pengambilan kembali.
- b. *Trip* dengan kendaraan yang sama dengan waktu lebih dari satu hari
- c. Kendaraan dengan berbagai kompartemen dengan tipe produk yang berbeda. Misalnya Petrol tanker biasanya memiliki kompartemen untuk *leaded*, *unleaded*, diesel, LPG.
- d. Depot lebih dari satu dan kendaraan dapat melakukan *start*, *visit*, atau berakhir dalam depot yang berbeda.

Berdasarkan permasalahan diatas pemecahan dari berbagai jenis VRP memiliki tujuan tertentu. Tiga tujuan dasar dalam VRP adalah:

1. Meminimasi jumlah armada yang digunakan (biaya yang bersifat *fix* untuk kendaraan, dan sopir yang mengendarai),

2. Meminimalkan total jarak atau waktu tempuh (biaya yang bersifat variabel dalam pengiriman)
3. Meminimasi kombinasi jumlah kendaraan yang digunakan dan total waktu tempuh.

2.4.2 Formulasi dasar VRP

VRP merupakan permasalahan kombinatorial yang didasarkan pada model *graph* $G(V,E)$. Masalah *Vehicle Routing Problem* tersebut dinotasikan sebagai berikut menurut Laporte (2002:347):

1. $V = \{v_0, v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$ menunjukkan *set Vertex*. Persamaan tersebut juga menunjukkan bahwa :
 - a. Sebuah depot ditunjukkan oleh v_0 .
 - b. $V' = V \setminus \{v_0\}$ menunjukkan kumpulan dari n kota (lokasi konsumen).
2. $A = \{(v_i, v_j) / v_i, v_j \in V; i \neq j\}$ merupakan sebuah set arah.
3. C merupakan sebuah matrik non-negatif yang merupakan biaya atau jarak c_{ij} antara konsumen v_i dan v_j .
4. d adalah vektor permintaan konsumen.
5. R_i adalah rute untuk kendaraan I
6. m merupakan jumlah kendaraan (semua serupa). Satu rute digunakan untuk satu kendaraan.

Ketika $c_{ij} = c_{ji}$ untuk semua (v_i, v_j) elemen A maka masalah ini dikatakan simetris. Jika demikian maka A dapat diganti dengan $E = \{(v_i, v_j) | v_i, v_j \in V; i < j\}$. Tiap *Vertex* v_i didalam V' diasosiasikan sebagai kuantitas q_i barang yang harus didistribusikan oleh sebuah kendaraan. Dengan demikian masalah VRP terdiri dari menentukan set m rute kendaraan dengan biaya minimal, bermula dan berakhir di sebuah depot, sedemikian hingga setiap *Vertex* V' dikunjungi tepat satu kali oleh satu kendaraan.

Untuk memudahkan perhitungan dapat didefinisikan $b(V) = \{(\sum v_i \in v d_i) / C\}$. *Service time* di simbolkan oleh δ_i didefinisikan sebagai waktu yang digunakan sebuah kendaraan untuk unload muatan dengan kuantitas q_i pada v_i . Hal ini mengakibatkan total durasi rute kendaraan (*travel* dan *service time*) tidak boleh melebihi batas waktu total D , yang diberikan. Jadi dalam masalah ini biaya c_{ij} diambil berdasarkan *travel time* antara kota (konsumen). VRP berdasarkan formulasi diatas adalah permasalahan integer programming yang termasuk dalam kategori *NP-Hard problem*, yang berarti usaha perhitungan yang dibutuhkan untuk memecahkan masalah ini akan naik secara eksponensial seiring semakin besarnya permasalahan.

Berdasarkan penjelasan diatas maka solusi yang mungkin, terdiri dari :

- a. Sebuah partisi $R_1, R_2, \dots, R_m$ dari V
- b. Sebuah permutasi s_i spesifikasikan kebutuhan konsumen dalam rute i .

Biaya yang muncul dalam sebuah rute ($R_i = \{v_0, v_1, \dots, v_{m+1}\}$), dimana $v_i \in V$ dan $v_0 = v_{m+1} = 0$ (0 menunjukkan depot), diperoleh dari:

$$C(R_i) = \sum C_{i,j+1} + \sum \delta_1 \quad (2-1)$$

Sebuah rute R_i dikatakan feasible jika kendaraan berhenti tepat sekali di tiap titik konsumen dan total durasi penempuhan rute tidak lebih dari batas yang diberikan D : $C(R_i) \leq D$. Akhirnya, biaya dari solusi yang didapatkan S adalah :

$$F_{VRP}(S) = \sum C(R_i) \quad (2-2)$$

2.4.3 Karakteristik VRP

Menurut Toth dan Vigo (2002:2) ada beberapa karakteristik dalam VRP yang perlu diperhatikan. Yang pertama adalah komponen komponen yang berkaitan dengan VRP, yaitu:

1. Pelanggan
 - a. Lokasi pelanggan
 - b. Rentang waktu dimana pelanggan boleh dilayani
 - c. Waktu yang dibutuhkan untuk bongkar muat
 - d. Perkiraan jenis kendaraan yang digunakan untuk melayani pelanggan (mempertimbangkan kondisi jalan yang ditempuh dan karakteristik permintaan yang dibawa)
2. Depot
 - a. Lokasi depot
 - b. Jam operasional depot
 - c. Kendaraan yang ada di depot

3. Pengemudi

Pengemudi yang di pekerjakan harus memenuhi syarat yang dimiliki perusahaan, seperti jam kerja harian, jam istirahat selama melakukan pelayanan kepada pelanggan, lama maksimum mengemudi, *overtime*, dan lain-lain.

4. Rute Kendaraan (jalan yang di tempuh)

Rute yang di tempuh perlu diperhatikan kondisi aslinya, apakah memungkinkan untuk dilewati atau tidak. Selain itu, perlu memperhatikan kondisi barang yang dibawa apakah memungkinkan untuk melewati rute tersebut. Hal ini bertujuan untuk mencegah waktu

perjalanan yang lama dan juga kerusakan yang mungkin timbul akibat kondisi jalan yang di tempuh.

Toth dan Vigo (2002:5) mengklasifikasikan VRP dalam beberapa jenis diantaranya sebagai berikut:

1. *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)*
2. *Vehicle Routing Problem Time Windows (VRPTW)*
3. *Vehicle Routing Problem with Backhauls (VRPB)*
4. *Vehicle Routing Problem with pickup and Delivery (VRPPD)*

2.4.4 Vehicle Routing Problem Time Windows (VRPTW)

Menurut Kallehauge dkk. (2001:69) VRPTW merupakan perluasan dari VRP, jika pada VRP ditambahkan *time window* pada masing-masing konsumen maka permasalahan tersebut menjadi VRPTW. Pada VRPTW, selain adanya kendala kapasitas kendaraan terdapat tambahan kendala yang mengharuskan kendaraan untuk melayani tiap konsumen pada *time frame* tertentu. Kendaraan boleh datang sebelum *time window "open"*, tetapi konsumen tidak dapat dilayani sampai *time window "open"*. Kendaraan tidak boleh datang setelah *time window "closed"*.

Tangiah (1995:84) mendefinisikan VRPTW sebagai permasalahan untuk menjadwalkan sekumpulan kendaraan dengan kapasitas dan *travel time* terbatas dari *central depot* ke sekumpulan konsumen yang tersebar secara geografis dengan *demand* diketahui dalam *time windows* tertentu. *Time windows* adalah *two sided*, yang berarti bahwa tiap konsumen harus dilayani saat atau setelah *earliest time*, dan sebelum *latest time* dari konsumen tersebut. Jika kendaraan datang ke konsumen sebelum *earliest time* dari konsumen tersebut, maka akan menghasilkan *idle* atau waktu tunggu. Kendaraan yang datang ke konsumen setelah *latest time* adalah *tardy* (terlambat). Terdapat pula waktu *service* yang diperlukan untuk melayani tiap konsumen. Biaya rute dari suatu kendaraan adalah total dari waktu *travel* (proporsional dengan jarak), waktu tunggu, dan waktu *service*, yang diperlukan untuk mengunjungi sekumpulan konsumen.

Variasi pada penyelesaian pada VRP menurut Toth dalam Afrianita (2011:10) adalah *Vehicle Routing Problem Time Windows (VRPTW)*. Kendala waktu atau *time windows* ini meruakan batasan waktu pada simpul-simpul yang masuk dalam graf, dimana kendala waktu tersebut harus terpenuhi, jika tidak maka simpul akan menolak untuk melayani yang disebut *hard time windows* atau ada penaltinya yang disebut *soft time windows*. Selang waktu pada masing-masing simpul dapat berbeda dan dinyatakan dalam batas waktu awal sampai akhir

pelayanan pada simpul tersebut. Formulasi VRPTW menurut Toth dalam Afrianita (2011:10), sebagai berikut:

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} x_{ijk} \quad (2-3)$$

Dengan kendala sebagai berikut:

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in \delta^+(i)} x_{ij}^k = 1, \quad i \in N \quad (2-4)$$

$$\sum_{j \in \delta^+(0)} x_{0j}^k = 1, \quad k \in K \quad (2-5)$$

$$\sum_{i \in \delta^-(j)} x_{ij}^k - \sum_{i \in \delta^+(j)} x_{ij}^k = 0, \quad k \in K, j \in N \quad (2-6)$$

$$\sum_{i \in \delta^-(n+1)} x_{i,n+1}^k = 1, \quad k \in K \quad (2-7)$$

$$x_{ij}^k (w_{ij} + s_i + t_{ij} - w_j^k) \leq 0, \quad k \in K, (i,j) \in E \quad (2-8)$$

$$a_i \leq w_i^j \leq b_i \quad k \in K, i \in V \quad (2-9)$$

$$\sum_{i \in N} q_i \sum_{j \in \delta^+(i)} x_{ij}^k \leq Q, \quad k \in K \quad (2-10)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\}, \quad k \in K, (i,j) \in E \quad (2-11)$$

Keterangan :

K = himpunan kendaraan dengan kapasitas yang sama

N = himpunan pelanggan atau konsumen = $\{1, \dots, n\}$

A = himpunan sisi berarah

C_{ij} = jarak atau biaya dari simpul i ke simpul j

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

q_i = jumlah permintaan pelanggan i

E = batas awal waktu penerimaan

L = batas akhir waktu penerimaan

W = kapasitas kendaraan

s_{ik} = waktu bagi kendaraan k mulai melayani pelanggan t

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

Pada formulasi fungsi tujuan (2-3), c_{ij} menyatakan biaya yang dikeluarkan yang diperoleh dari waktu yang ditempuh kendaraan untuk melayani simpul i lalu menuju simpul j . selanjutnya kendala (2-4) menyatakan bahwa setiap simpul pelanggan i hanya di kunjungi satu kali oleh satu kendaraan. Kendala (2-5) menyatakan bahwa setiap kendaraan hanya

digunakan satu kali dan memulai perjalanan dari depot. Kendala (2-6) menyatakan bahwa setiap kendaraan yang telah melewati beberapa simpul tidak akan kembali melewati simpul tersebut untuk kedua kalinya. Kendala (2-7) menyatakan bahwa setelah seluruh pelanggan terlewati, kendaraan harus kembali ke depot.

Kendala (2-8) menyatakan bahwa akumulasi waktu kendaraan k untuk memulai pelayanan simpul i (w_i^k) beserta waktu pelayanan simpul i (s_i) dan waktu tempuh dari simpul i ke j (t_{ij}) tidak boleh melebihi waktu untuk memulai pelayanan simpul j (w_j^k), karena jika kondisi ini tidak terpenuhi artinya simpul j tidak dapat dituju oleh simpul i (dimana waktu pelayanan untuk depot $w_0^k=0$). Kendala (2-9) menunjukkan waktu kendaraan k untuk memulai pelayanan simpul i berada pada time window yang diberikan simpul i . Kendala (2-10) menyatakan bahwa banyaknya permintaan dari beberapa simpul yang dilayani oleh kendaraan k tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan. Kendala (2-11) mengacu pada variabel keputusan yang merupakan variabel biner.

2.5 Metode Penyelesaian VRPTW

Vehicle Routing Problem adalah sebuah permasalahan optimasi kombinatorial dengan banyak variasi aplikasi yang termasuk dalam kategori permasalahan *Nondeterministic Polynomial-hard* (NP-hard), masalah ini akan semakin sulit dipecahkan apabila semakin kompleks (Savelsbergh, 1985:16). Menurut Desrochers dan Solomon dalam Marina (2008:9) metode eksak seperti *dynamic programming*, *integer programming*, dan *mixed integer programming* tidak mampu menyelesaikan masalah tersebut, kecuali untuk ukuran masalah yang kecil ($n < 30$). Untuk itu, masalah VRP lebih efektif diselesaikan dengan menggunakan metode heuristik.

Menurut Giani, Laporte, dan Musmano (2003:274) *insertion heuristic* merupakan metode yang paling efisien untuk permasalahan VRPTW berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Solomon (1987:254). Metode *insertion heuristic* tersebut dapat dikombinasikan dengan metode *improvement* untuk mendapatkan hasil yang lebih efisien.

2.5.1 Insertion Heuristic

Metode ini merupakan pengembangan dari metode *Saving Heuristic* yang dikembangkan oleh Clarke and Wright untuk persoalan VRP klasik dimana pada model VRPTW ini yang harus diselesaikan tidak hanya menentukan rute tetapi juga jadwal keberangkatan setiap kendaraan untuk meminimumkan total ongkos perjalanan dan total waktu menunggu. Menurut Ghiani, Laporte, Musmanno (2003:274) langkah-langkah dalam

memecahkan permasalahan dengan menggunakan metode *Insertion Heuristic* adalah sebagai berikut :

- Pilih satu *node* bebas (tidak termasuk depot) untuk dijadikan *node* awal dari rute yang akan dibentuk, nyatakan *node* tersebut sebagai *node i*. Pemilihan *node* awal bisa didasarkan pada jarak *node* terhadap depot atau berdasarkan jadwal waktu pelayanan. Tetapkan rute awal sebagai

$R = \{0, i, n+1\}$ dengan 0 dan $n+1$ adalah depot.

- Nyatakan rute saat ini sebagai $R = \{0, 1, i, \dots, j\}$ dimana 0 dan j adalah depot. Untuk setiap *node* bebas u , hitung total tambahan jarak yang terjadi jika *node u* disisipkan, dengan menggunakan formula :

$$Z_{11}(i, u, j) = d_{iu} + d_{uj} - \mu d_{ij} ; \mu \geq 0 \quad (2-12)$$

Dimana d_{iu} , d_{uj} , d_{ij} masing – masing adalah jarak antara *node i* dengan *node u*, *node u* dengan *node j*, *node i* dengan *node j*.

Lakukan perhitungan untuk menentukan *node (u)* sisipan kedalam rute utama (C_k) dengan cara menghitung tambahan jarak dan tambahan waktu (F_1) yang dibuat dalam satuan ongkos dengan menggunakan persamaan

$$f_1(i_{p-1}, u, i_p) = \alpha(c_{i_{p-1}u} + c_{ui_p} - \mu c_{i_{p-1}i_p}) + (1-\alpha)(b_{i_p}^u - b_{i_p}) \quad (2-13)$$

Dimana $0 \leq \alpha \leq 1, \mu \geq 0$ dan $b_{i_p}^u$ adalah waktu saat pelayanan dimulai pada konsumen I_p dimana konsumen u diletakkan diantara i_{p-1} dan i_p . Sehingga u yang disisipkan adalah u dengan minimal F_1 atau u dengan jarak dan ongkos tempuh terkecil karena ongkos proporsional terhadap waktu dan jarak.

$$f_1(i(u), u, j(u)) = \min f_1(i_{p-1}, u, i_p) \quad (2-14)$$

Jika kapasitas angkut masih cukup dan jadwal masih dalam batas waktu, maka cari u yang lain yaitu yang memiliki maksimal F_2 dengan perhitungan :

$$f_2(i(u^*), u^*, j(u^*)) = \max\{f_2(i(u), u, j(u))\} \quad (2-15)$$

dimana, F_2 adalah selisih ongkos jika tidak melakukan penyisipan (c_{ou}) pada F_1 dengan perhitungan :

$$f_2(i(u), u, j(u)) = \lambda c_{ou} - f_1(i(u), u, j(u)) \quad (2-16)$$

$\lambda \geq 0$. Masukkan konsumen u^* ke rute C_k diantara $i(u^*)$ dan $j(u^*)$ dan kembali ke langkah b. Jika u^* tidak sesuai tetapi masih ada konsumen yang diluar jalur, hitung dengan $k = k+1$. Buat rute baru C_k (seperti pada langkah a) dan kembali ke langkah b.

2.5.2 Intra-Route Improvement Method

Metode *intra-route improvement* memperbaiki solusi fisibel dengan melakukan serangkaian pertukaran sisi dan simpul dalam rute atau antarrute kendaraan dengan tujuan mengurangi biaya solusi. Metode perbaikan antar rute dapat digunakan pada perbaikan dalam rute (Laporte & Semet 2002).

1. Metode 2-opt

Metode 2-opt pertama kali dicetuskan oleh Croes pada tahun 1958. Solusi awal yang terbentuk diumpamakan sebagai sebuah lingkaran. Dua edge dihilangkan dan dua lintasan tersisa digabungkan dengan membuat lintasan baru (Savelsberg, 1990).

2. Metode 3-opt

Metode ini dikembangkan oleh Lin pada tahun 1965. Lin mengembangkan prnsi yang sama dengan metode 2-opt hanya saja Lin menggunakan tiga buah lintasan untuk melakukan perbaikan. Melalui metode ini terbentuk empat solusi baru yang menjadi bahan pertimbangan untuk memperbaiki solusi sebelumnya.

3. Metode Or-opt

Metode *Or-opt* identik dengan metode 2-opt, tetapi banyaknya jalur yang dapat dihapus dan ditambahkan lebih dari dua. Metode ini diperkenalkan oleh Or pada tahun 1976 untuk menyelesaikan TSP. Ide dasar dari metode ini adalah merelokasi beberapa simpul (pelanggan) yang berdekatan. Metode ini memperbaiki solusi awal dengan memindahkan sebuah lintasan yang berisi sejumlah node yang letaknya beriringan.



BAB III

METODE PENELITIAN

Bab III akan menjelaskan tentang bagaimana kajian dalam penelitian ini dilakukan. Metode penelitian merupakan penggambaran cara dan tahapan proses penelitian atau urutan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian, data-data yang digunakan, serta diagram alir penelitian agar proses penelitian berjalan dengan terarah dan sistematis.

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk jenis penelitian deskriptif, yaitu penelitian yang menekankan pada penyajian data, menganalisis dan menginterpretasikan data. Menurut Mardalis (1999:29) penelitian deskriptif merupakan penelitian yang menggambarkan sejumlah data yang kemudian dianalisis dengan menggunakan metode tertentu lalu diinterpretasikan berdasarkan kenyataan yang sedang berlangsung. Penelitian ini dilakukan dalam rangka untuk mencari dan mengumpulkan sejumlah data untuk memperoleh gambaran fakta-fakta yang jelas tentang berbagai keadaan dan situasi yang ada dalam perusahaan.

3.2 Tempat Dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di CV Angkasa Leather yang dimulai pada bulan Maret 2015 sampai Oktober 2015.

3.3 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa tahapan yaitu tahap pendahuluan, tahap pengumpulan dan pengolahan data, dan tahap analisa dan kesimpulan.

3.3.1 Tahap Pendahuluan

Tahap pendahuluan merupakan tahap pengumpulan informasi awal untuk mengidentifikasi, merumuskan, dan menentukan tujuan dari pemecahan masalah dengan mempertimbangkan pengetahuan berdasarkan literatur yang ada. Adapun tahapan pendahuluan adalah sebagai berikut:

1. Studi Lapangan

Langkah awal yang perlu dilakukan adalah melakukan pengamatan awal untuk mendapatkan gambaran dari kondisi sebenarnya obyek yang akan diteliti. Hal ini akan

sangat bermanfaat bagi peneliti karena dapat memberikan gambaran yang jelas tentang obyek penelitiannya. Dari hasil studi lapangan ini peneliti dapat mengetahui permasalahan yang terjadi pada perusahaan tersebut.

2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari teori dan ilmu pengetahuan yang berhubungan dengan permasalahan yang akan diteliti. Sumber literatur berasal dari buku, jurnal, dan skripsi. Sumber literatur diperoleh dari perpustakaan, perusahaan, dan internet. Dengan demikian konsep yang harus dipahami antara lain teori-teori yang berhubungan dengan distribusi, biaya transportasi, *insertion heuristic*, *2-opt*, *3-opt*, *or-opt*, penjadwalan distribusi.

3. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dilakukan dengan tujuan untuk mencari penyebab timbulnya masalah dan kemudian mencari permasalahan yang terjadi. Masalah yang diidentifikasi adalah mengenai rute pendistribusian barang yang terdapat pada CV Angkasa Leather.

4. Perumusan Masalah

Setelah melakukan identifikasi masalah, tahap selanjutnya adalah merumuskan masalah yang terjadi di perusahaan. Perumusan masalah merupakan rincian dari permasalahan yang dikaji dan nantinya akan menunjukkan tujuan dari penelitian ini.

5. Penetapan Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ditetapkan berdasarkan perumusan masalah yang telah dijabarkan sebelumnya. Hal ini dilakukan untuk menentukan batasan-batasan dalam pengolahan dan analisis hasil pengukuran selanjutnya.

3.3.2 Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data

Adapun tahapan pengumpulan dan pengolahan data adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data diartikan sebagai kegiatan yang dilakukan dalam penelitian untuk mengungkap atau menjaring fenomena, informasi atau kondisi lokasi penelitian sesuai dengan lingkup penelitian dan seluruh elemen populasi yang dapat mendukung kegiatan penelitian. Data ini akan menjadi input pada tahap pengolahan data. Metode pengumpulan data yang dilakukan adalah observasi, wawancara, dokumentasi perusahaan, arsip data objek pengamatan dan berbagai literatur. Jenis data yang dikumpulkan terdiri atas dua jenis dengan pengumpulan data sebagai berikut:

a. Data Primer

Data primer diperoleh melalui observasi dan wawancara kepada pihak-pihak yang berkepentingan di bagian produksi CV. Angkasa Leather. Data primer yang diambil adalah kapasitas maksimal kendaraan (alat angkut), jumlah kendaraan, jarak antar konsumen grosir dan jarak dari depot ke konsumen grosir, data waktu tempuh, rata-rata kecepatan, jam buka tutup toko.

b. Data Sekunder

Data sekunder didapatkan dari arsip-arsip dan dokumen yang berhubungan dengan proses produksi pada perusahaan yang berupa data *historis* perusahaan selama beberapa periode tertentu. Data yang dibutuhkan adalah profil dan struktur organisasi CV. Angkasa Leather, data wilayah distribusi, frekuensi pengiriman ke tiap konsumen grosir, dan data permintaan dari konsumen konsumen grosir.

2. Pengolahan Data

Setelah mendapatkan data yang dibutuhkan kemudian dilakukan pengolahan data dengan metode yang relevan dengan permasalahan yang dihadapi. Berikut ini merupakan tahapan pengolahan data yang dilakukan.

a. Mengidentifikasi matriks jarak.

b. Mengidentifikasi matriks waktu tempuh antar fasilitas.

c. Penentuan rute dengan algoritma *insertion heuristic*.

Langkah-langkah penentuan rute dengan algoritma *insertion heuristic* adalah sebagai berikut:

- Pilih node yang memiliki jarak terdekat dengan gudang
- Hitung penghematan jarak dan waktu tempuh untuk menentukan node selanjutnya dalam rute utama
- Gabung node dalam rute utama bila terdapat node yang memungkinkan sesuai dengan kapasitas angkut dan jumlah permintaan tiap node
- Sesuaikan *time windows* dari tiap node pada rute yang bertujuan agar *outlet* yang dipilih berada dalam interval waktu (*time windows*) yang ditentukan oleh masing-masing *outlet*. Jika ada waktu kirim berada diluar *time windows* maka node tersebut harus dikeluarkan dari rute dan diganti dengan node yang memiliki nilai terbesar berikutnya.

d. Perbaikan rute dengan metode 2-opt, 3-opt dan Or-opt.

e. Perhitungan biaya transportasi.

- f. Melakukan penjadwalan distribusi barang.

3.3.3 Tahap Analisa dan Kesimpulan

Adapun tahapan analisa dan kesimpulan data adalah sebagai berikut:

1. Analisa dan Pembahasan

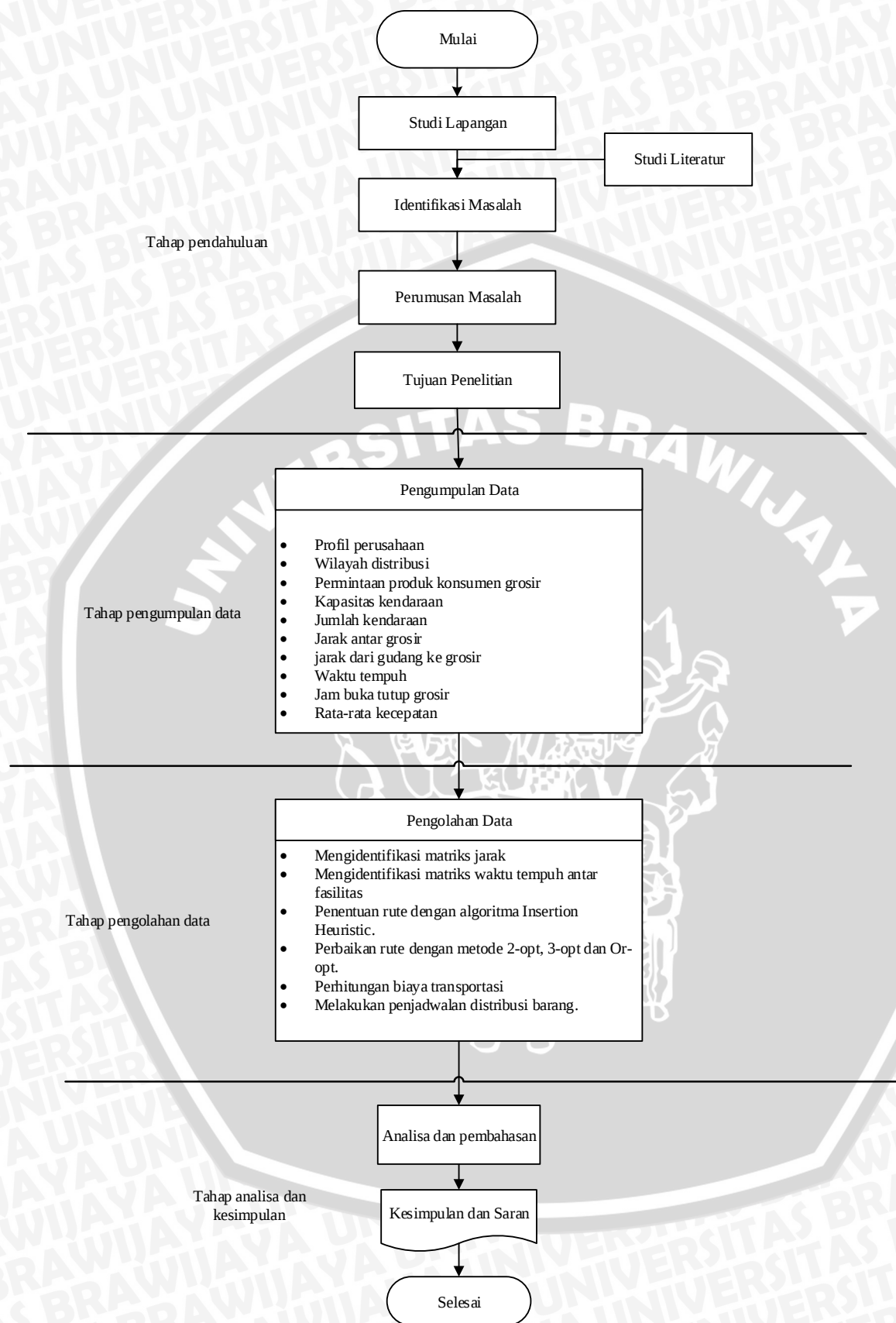
Analisa dilakukan dengan membandingkan hasil pengolahan data dengan kondisi yang ada saat ini. Analisa yang dilakukan meliputi analisis mengenai rute baru berdasarkan algoritma *Insertion Heuristic*. Kemudian dilakukan perbaikan rute dengan metode 2-opt, 3 opt dan or-opt. Dari perbandingan biaya transportasi awal dan akhir, maka akan diperoleh selisih penghematan dan presentase efisiensi. Selanjutnya dilakukan penjadwalan distribusi berdasarkan rute dan waktu tempuh yang didapat.

2. Kesimpulan dan Saran

Tahap kesimpulan dan saran merupakan tahap terakhir dari penelitian ini yang berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil pengumpulan, pengolahan dan analisa yang menjawab tujuan penelitian yang ditetapkan. Setelah itu diberikan pula saran-saran untuk penelitian mendatang yang berupa perbaikan maupun pengembangan dari penelitian yang telah dilakukan demi kemajuan bersama.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Tahap-tahap yang dilakukan dalam penelitian digambarkan dalam Gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pembahasan dari rumusan masalah dan tujuan yang telah ditetapkan sebelumnya. Setelah data-data yang dibutuhkan diperoleh, maka dilakukan pengolahan data dengan menggunakan metode *insertion heuristic* untuk penentuan rute distribusi yang optimal, serta pembahasan dari pengolahan data.

4.1 Gambaran Umum Perusahaan

CV Angkasa Leather berlokasi di Jalan Kolonel H. Ismail No. 35 Mancar, Peterongan, Jombang, Jawa Timur. CV Angkasa Leather merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang penyediaan produk makanan ringan dan minuman. CV Angkasa Leather berdiri sejak tahun 2013 yang sampai saat ini sedang berkembang dengan 3 titik distribusi meliputi wilayah Mojekerto, Jombang dan Nganjuk. Meskipun baru beberapa tahun berdiri namun sampai saat ini CV Angkasa Leather memiliki kurang lebih 34 konsumen grosir dan 724 konsumen retailer untuk ketiga titik distribusi tersebut. CV Angkasa Leather memiliki 4 armada distribusi berupa truk engkel yang dioperasikan untuk pengiriman ke konsumen grosir dan retailer. CV Angkasa Leather mendistribusikan produk makanan dan minuman dari beberapa perusahaan yaitu PT Calpis Indonesia, PT Bina Karya dan PT Inafood.

4.1.1 Visi dan Misi

CV Angkasa Leather memiliki visi yaitu, menjadi usaha dagang yang mampu memimpin situasi pasar dalam kondisi apapun dengan *sales* yang optimal. Dan misinya yaitu, memberikan pelayanan (*service*) dengan cara menyediakan kemudahan bagi konsumen, mengaplikasikan strategi *art of war* dalam menghadapi kompetitor dan dalam bekerja sama mampu tampil sebagai usaha dagang yang profesional dan pantas dengan nilai-nilai berikut.

- | | |
|----------------------|--|
| a. <i>Comitment</i> | : Berbuat sesuai kesepakatan dan janji |
| b. <i>Innovation</i> | : Menerapkan sesuatu yang baru |
| c. <i>Balance</i> | : Menjaga keseimbangan di semua aspek |
| d. <i>Excellent</i> | : Memberikan hasil yang lebih baik |

- e. *Relationship* : Menjaga hubungan kemitraan yang baik dengan semua pihak
- f. *Team Work* : Sinergi, kerjasama intra dan lintas kerja
- g. *Integrity* : Keutuhan dan ketulusan yang meliputi adil, bertanggung jawab, tidak tergantung, transparan dan jujur

4.1.2 Jumlah Pekerja

CV Angkasa Leather memiliki 35 orang pekerja yang rinciannya terdapat pada Tabel

4.1.

Tabel 4.1 Data Jumlah Karyawan

No	Posisi	Jumlah
1	<i>Operasional Manager</i>	1 orang
2	<i>Supervisor Sales</i>	2 orang
3	<i>Supervisor Admin</i>	1 orang
4	<i>Staff Admin</i>	3 orang
5	<i>Logistis</i>	8 orang
6	<i>Salesman</i>	12 orang
7	<i>Driver dan Helper</i>	8 orang
Jumlah		35 orang

Sumber: CV Angkasa Leather

Pekerja pada CV Angkasa Leather bekerja mulai pukul 08.00 WIB hingga 17.00 WIB dengan waktu istirahat selama 1 jam. Pekerja bekerja selama 6 hari kerja yaitu Senin hingga Sabtu.

4.2 Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data berupa data lokasi konsumen grosir, data permintaan produk dari tiap konsumen grosir, data jumlah kendaraan beserta kapasitasnya, dan data biaya transportasi.

4.2.1 Data Lokasi Konsumen Grosir

CV Angkasa Leather memiliki wilayah pendistribusian di wilayah Mojokerto, Jombang dan Nganjuk untuk konsumen grosir dan retailer. Untuk wilayah Jombang jumlah konsumen sebanyak 253 retailer, Mojokerto sebanyak 296 retailer, dan Nganjuk sebanyak 175 retailer. Untuk konsumen grosir berjumlah 34 pada ketiga wilayah pendistribusian tersebut. Pada penelitian ini yang menjadi objek pengamatan adalah konsumen grosir karena pada konsumen grosir sering terjadi keterlambatan pengiriman akibat jam buka tutup toko yang

terjadwal dan terbatasnya jumlah kendaraan untuk pengiriman ketiga wilayah distribusi tersebut. Tabel 4.2 menunjukkan data lokasi konsumen grosir CV Angkasa Leather untuk wilayah Jombang, Mojokerto, dan Nganjuk.

Tabel 4.2 Data Lokasi Konsumen Grosir

No	Nama Toko	Kode Toko	Alamat	Kota	Jam Operasional Toko
1	Morodadi	J1	Jl. Seroja Pasar Legi	Jombang	08.00-12.00
2	Sri Asih	J2	Jl Raya Hasyim Ashari Sebelah Abg (ICME Stikes)	Jombang	08.00-11.00
3	Mitra Sukses	J3	Jln K. Mimbar	Jombang	7.30-12.00
4	Gajah Mada	J4	Jl. A. Yani	Jombang	8.00-11.30
5	Toko18	J5	Jl. K.H. Mimbar No 58	Jombang	7.30- 11.30
6	Bu Ida	J6	Depan Pg Cukir	Jombang	9.00-16.00
7	Tiga Putra	J7	Mimbar	Jombang	7.00-12.00
8	Comodore	J8	Jl. Wahid Hasyim	Jombang	7.00-10.30
9	Lintang	J9	Ds Kapas Sukomoro Depan Sdn Kapas	Jombang	7.00-12.00
10	Reli jaya	J10	Dpan MI Bandung Jogoroto	Jombang	7.00-11.00
11	Sholikin	J11	Pasar Mojoagung R 28	Jombang	7.00-12.00
12	Orions	J12	Blimbing, Gudo	Jombang	8.00-11.30
13	Pak Khoirul	J13	Pasar Badas Bag Utara	Jombang	8.00-11.30
14	Sumber Manis	J14	Jl. Raya Tapen Kabuh	Jombang	8.00-16.00
15	MT toko	J15	Jalan Raya Mojoagung	Jombang	8.00-12.00
16	Ela Jaya	J16	Jogoroto	Jombang	7.30-12.00
17	Bravo	J17	Jl Yos Sudarso Jombang	Jombang	08.00-15.00
18	Alif.Sumobito	J18	Depan Pasar Sumobito	Jombang	7.00-11.00
19	Mukhtar Bandung	J19	Ry Bandung Jombang	Jombang	8.00-14.00
20	Permata Snack	J20	Gumulan Kesamben	Jombang	8.00-13.00
21	Pujiatin ngoro	J21	Ry Supriadi Ngoro	Jombang	9.00-16.00
22	Sido Gede	M1	Jln Ry Perempatan Niaga Sebelum Lampu Merah Mojosari	Mojokerto	8.00-15.00
23	Samudra Snack	M2	Jalan Sadar Raya Mojoanyar (Tjiwi Kimia)	Mojokerto	8.00-16.00
24	Bu Riana	M3	Sebelum SPN Bangsal Ds Puloniti	Mojokerto	8.00-16.00
25	Hoky Jaya I	M4	Jalan Raya Trowulan	Mojokerto	8.00-11.30
26	Pak Soleh	M5	Dusun Kedungsumur Canggal Jetis	Mojokerto	8.00-14.00
27	Leo Toko	M6	Jl Niaga Mojosari	Mojokerto	8.30-11.30
28	Imam Snack	M7	Sukorejo, Lolawang (TK Dewi Sartika)	Mojokerto	8.00-16.00
29	Gatot	M8	Pasar Gedeg	Mojokerto	7.00-13.00
30	Toko 99	N1	Depan Terminal Berbek (Bebek Sumberwindu)	Nganjuk	08.00-16.00
31	Pak Agus	N2	Depan Pasarhewan Dondong Guyangan	Nganjuk	7.30-16.00
32	Harsono Nggetas	N3	Desa Nggetas	Nganjuk	7.30-14.00
33	Pak Mustain Warujayeng	N4	Pasar Wonosari Sumber Kepuh Warujayeng	Nganjuk	8.00-12.00
34	Pak Matori nganjuk	N5	Desa Ngupul Bagor Pasar Bagor	Nganjuk	7.30-14.00

Sumber: CV Angkasa Leather

4.2.2 Data Permintaan Produk

Jumlah permintaan produk pada CV Angkasa Leather tergantung pada jumlah yang diminta tiap konsumen grosir. Pengiriman produk dilakukan sekali setiap minggunya. Data permintaan produk yang digunakan pada penelitian ini adalah rata-rata permintaan bulan Desember 2014 sampai bulan Mei 2015 yang dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Rata-Rata Permintaan Produk bulan Desember 2014 - Mei 2015

Kode Toko	Nama Toko	Permintaan (m ³)
J1	Morodadi	4,332064
J2	Sri Asih	3,308502
J3	Mitra Sukses	3,606129
J4	Gajah Mada	4,654127
J5	Toko18	3,729482
J6	Bu Ida	3,554103
J7	Tiga Putra	4,033384
J8	Comodore	3,598788
J9	Lintang	3,365633
J10	Reli jaya	3,174911
J11	Sholikin	2,88112
J12	Orions	3,369329
J13	Pak Khoirul	3,1039
J14	Sumber Manis	3,360164
J15	MT toko	3,568865
J16	Ela Jaya	3,904451
J17	Bravo	2,742712
J18	Alif.Sumobito	2,711966
J19	Muktar Bandung	2,87924
J20	Permata Snack	2,377652
J21	Pujiatin ngoro	2,749945
M1	Sido Gede	2,663537
M2	Samudra Snack	3,24897
M3	Bu Riana	2,78837
M4	Hoky Jaya I	3,729961
M5	Morisa Bakery / pak Soleh	2,489841
M6	Leo Toko	2,702968
M7	Imam Snack	2,181937
M8	Gatot	2,446099
N1	Toko 99	2,954109
N2	Pak Agus	2,482102
N3	Harsono Nggetas	2,60459
N4	Pak Mustain Warujayeng	2,88704
N5	Pak Matori nganjuk	2,071162

Sumber: CV Angkasa Leather

Pada Tabel 4.3 merupakan data rata-rata permintaan produk pada bulan Desember 2014- Mei 2015, dapat dilihat bahwa toko Gajah Mada merupakan toko dengan permintaan yang paling tinggi yaitu $4,654127 \text{ m}^3$, sedangkan toko Pak Matori merupakan toko dengan permintaan paling rendah yaitu $2,071162 \text{ m}^3$.

4.2.3 Data Kendaraan

Moda transportasi yang digunakan CV Angkasa Leather untuk mendistribusikan barang ke konsumen grosir adalah armada jenis ISUZU ELF. Berdasarkan hasil wawancara dengan *driver* CV Angkasa Leather, kecepatan rata-rata kendaraan adalah 50 km/jam. CV Angkasa Leather memiliki 4 kendaraan dengan jenis yang sama. 3 buah kendaraan dialokasikan untuk pendistribusian produk ke konsumen retail sedangkan 1 buah lainnya dialokasikan untuk pendistribusian ke konsumen grosir. Kendaraan yang digunakan adalah ISUZU ELF dengan kapasitas maksimal kendaraan sebesar $20,425 \text{ m}^3$.

4.2.4 Data Waktu *Loading* dan *Unloading*

CV Angkasa Leather melakukan *loading* barang yang akan dikirim satu hari sebelumnya pada saat kendaraan selesai melakukan distribusi barang. Kegiatan *loading* barang dilakukan oleh karyawan gudang selama ± 1 jam. Sedangkan kegiatan *unloading* barang dilakukan di setiap toko oleh *driver* dan kernet selama ± 30 menit pada masing-masing toko.

4.2.5 Data Jarak Wilayah Distribusi

Data jarak distribusi antara toko dan gudang serta jarak antar toko untuk konsumen grosir digunakan sebagai *input* dalam penentuan rute menggunakan metode *Insertion Heuristic*. Data jarak wilayah distribusi tersebut diperoleh menggunakan aplikasi *Google Maps* dengan pertimbangan jarak terpendek. Tabel 4.4 menunjukkan data jarak dari gudang ke masing konsumen grosir.

Tabel 4.4 Data Jarak dari Gudang (G) ke Toko

Kode Toko	Nama Toko	Jarak (km)
J1	Morodadi	5,3
J2	Sri Asih	6,1
J3	Mitra Sukses	5,5
J4	Gajah Mada	5,3
J5	Toko18	5,6
J6	Bu Ida	11,8
J7	Tiga Putra	5,3
J8	Comodore	5
J9	Lintang	23
J10	Reli jaya	8,3
J11	Sholikin	27,1
J12	Orions	16
J13	Pak Khoirul	26,8
J14	Sumber Manis	21,5
J15	MT toko	18,4
J16	Ela Jaya	8,5
J17	Bravo	7,4
J18	Alif.Sumobito	8,3
J19	Muktar Bandung	9,3
J20	Permata Snack	12,8
J21	Pujiatin ngoro	23,6
M1	Sido Gede	37,7
M2	Samudra Snack	31,5
M3	Bu Riana	28,3
M4	Hoky Jaya I	14,3
M5	Morisa Bakery / pak Soleh	32,3
M6	Leo Toko	37,6
M7	Imam Snack	47,3
M8	Gatot	28,2
N1	Toko 99	45,6
N2	Pak Agus	48,2
N3	Harsono Nggetas	44,3
N4	Pak Mustain Warujayeng	44
N5	Pak Matori nganjuk	51,3

Pada Tabel 4.4 dapat diketahui bahwa toko Comodore (J8) merupakan toko yang paling dekat dengan Gudang (G) dengan jarak 5 km, sedangkan toko Pak Matori (N5) merupakan toko yang jaraknya paling jauh dengan Gudang (G) dengan jarak 51,3 km.

4.2.6 Data Biaya Transportasi

Pada penelitian ini biaya transportasi dihitung dari biaya bahan bakar yang digunakan oleh kendaraan untuk melakukan pendistribusian ke toko yang dituju dan gaji *driver* serta kernet. Biaya bahan bakar yang dikeluarkan tergantung pada jarak yang ditempuh kendaraan, semakin jauh jarak yang ditempuh maka semakin besar pula biaya yang harus dikeluarkan untuk bahan bakar. Setiap kendaraan membutuhkan 1 *driver* dan 1 kernet. Pada penelitian ini biaya yang dimasukkan meliputi gaji *driver*, gaji kernet yang terdapat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data Gaji *Driver* dan Kernet

No	Posisi	Gaji Perhari
1	<i>Driver</i>	Rp. 70.000
2	Kernet	Rp. 70.000

Sumber: CV Angkasa Leather

4.3 Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data penelitian yang telah disajikan pada sub-bab pengumpulan data. Pengolahan data berupa perhitungan total jarak dari rute awal distribusi, melakukan perhitungan rute distribusi menggunakan *Insertion Heuristic*, yang kemudian dilakukan perbaikan menggunakan metode 2-opt, 3-opt dan or-opt dan melakukan penjadwalan distribusi produk.

4.3.1 Rute Awal Distribusi

Rute awal distribusi produk CV Angkasa Leather sebelum menggunakan metode *Insertion Heuristic* tidak mempertimbangkan jarak tempuh dan waktu tempuh untuk mencapai lokasi toko. Rute distribusi yang dilakukan hanya berdasarkan pengalaman *driver*. Rute awal pendistribusian produk tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.6. Peta rute pendistribusian awal dapat dilihat pada Lampiran 11. Contoh perhitungan total jarak yang ditempuh pada rute 1 berdasarkan matriks jarak pada Gambar 4.1 adalah sebagai berikut.

Jarak dari Gudang (G) ke Toko Gajah Mada (J4) = 5,3 km (1)

Jarak dari Toko Gajah Mada (J4) ke Toko Mitra Sukses (J3) = 0,6 km (2)

Jarak dari Toko Mitra Sukses (J3) ke Toko Sumber Manis (J14) = 17,1 km (3)

Jarak dari Toko Sumber Manis (J14) ke Toko Pujiatin Ngoro (J21) = 39,1 km (4)

Jarak dari Toko Pujiatin Ngoro (J21) ke Toko Pak Matori (N5) = 55,3 km (5)

Jarak dari Toko Pak Matori (N5) ke Toko Pak Agus (N2) = 3,8 km (6)

Jarak dari Toko Pak Agus (N2) ke Gudang (G) = 48,2 km (7)

Total jarak = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) + (6) + (7)
 = 5,3 + 0,6 + 17,1 + 39,1 + 55,3 + 3,8 + 48,2 = 169,4 km

Tabel 4.6 Rute Distribusi *Existing* CV Angkasa Leather

Rute	Urutan	Jarak (km)	Kapasitas (m ³)
1	G- J4- J3 - J14 - J21 - N5 - N2 - G	169,4	17,578
2	G - J2 - J9 - M4 - M5 - M2 - G	121,9	17,48853
3	G - J1- J15 - M6 - M1 - M8 - M7 - G	155,7	17,89547
4	G - J5 - J6 - J10 - J12 - N1 - G	124,8	16,78193
5	G - J8 - J7 - J16 - J13 - J11 - M3 - G	126,2	19,42319
6	G - N4- N3 - J20 - J18 - J17 - J19 - G	176,1	16,2032
TOTAL		874,1	87,79232
Rata-rata		145,683	17,55846

Pada Tabel 4.6 dapat diketahui bahwa pada rute distribusi *existing* didapatkan jarak tempuh untuk rute adalah 169,4 km, jarak tempuh untuk rute 2 sebesar 121,9 km, jarak tempuh untuk rute 3 sebesar 155,7 km, jarak tempuh untuk rute 4 sebesar 124,8 km, jarak tempuh untuk rute 5 sebesar 126,2 km, untuk rute 6 sebesar 176,1 km, sehingga total jarak pendistribusian pada rute awal (*existing*) adalah sebesar 874,1 km dan rata-rata permintaan tiap rutenya adalah 17,55846 m³.

4.3.1.1 Perhitungan Total Waktu Distribusi

Perhitungan total waktu distribusi pada rute awal dilakukan dengan menjumlahkan waktu *set up* kendaraan, waktu pelayanan dan waktu tempuh tiap rutenya. Waktu *set up* dilakukan setiap harinya selama 15 menit sebelum kendaraan berangkat untuk memastikan kondisi kendaraan. Waktu pelayanan disetiap toko didapatkan dari waktu *unloading* barang selama 30 menit ditambah waktu untuk parkir kendaraan dan melakukan pengecekan dokumen selama 10 menit. Perhitungan total waktu distribusi pada rute awal terdapat pada Tabel 4.7. Contoh perhitungan total waktu distribusi pada rute awal untuk rute 1 adalah sebagai berikut.

Waktu *set up* kendaraan = 15 menit = 0,25 jam

Waktu pelayanan = 40 menit

Total waktu pelayanan untuk 1 rute = jumlah toko × waktu pelayanan

$$= 6 \text{ toko} \times 40 \text{ menit} = 240 \text{ menit} = 4 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu tempuh} &= \frac{\text{jarak tempuh}}{\text{kecepatan rata-rata kendaraan}} \\ &= \frac{169,4 \text{ km}}{50 \text{ km/jam}} = 3,39 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total waktu distribusi rute 1} &= \text{waktu set up} + \text{total waktu pelayanan} + \text{waktu tempuh} \\ &= 0,25 \text{ jam} + 4 + 3,39 \text{ jam} = 7,64 \text{ jam} \end{aligned}$$

Tabel 4.7 Perhitungan Total Waktu Distribusi

Rute	Jarak (km)	Waktu Set Up Kendaraan (jam)	Waktu Pelayanan (jam)	Waktu tempuh (jam)	Total waktu distribusi (jam)
1	169,4	0,25	4	3,39	7,64
2	121,9	0,25	3,33	2,44	6,01
3	155,7	0,25	4	3,11	7,36
4	124,8	0,25	3,33	2,5	6,08
5	126,2	0,25	4	2,52	6,5
6	176,1	0,25	4	3,52	7,77
TOTAL				17,48	41,36
Rata-rata				2,913	6,89

Pada Tabel 4.7 dapat diketahui pada rute distribusi *existing* waktu tempuh yang dibutuhkan untuk rute 1 adalah 3,39 jam dan total waktu distribusinya adalah 7,64 jam. Pada rute 2, waktu tempuh perjalanan yang dibutuhkan adalah 2,44 jam dan total waktu distribusinya adalah 6,01 jam. Pada rute 3, waktu tempuh perjalanan yang dibutuhkan adalah 3,11 jam dan total waktu distribusinya adalah 7,36 jam. Pada rute 4, waktu tempuh perjalanan yang dibutuhkan adalah 2,5 jam dan total waktu distribusinya adalah 6,08 jam. Pada rute 5, waktu tempuh perjalanan yang dibutuhkan adalah 2,52 jam dan total waktu distribusinya adalah 6,5 jam. Pada rute 6, waktu tempuh perjalanan yang dibutuhkan adalah 3,52 jam dan total waktu distribusinya adalah 7,77 jam. Sehingga total waktu distribusi keseluruhan untuk rute awal (*existing*) adalah 41,36 jam dan rata-rata waktu distribusi perharinya adalah 6,89 jam

4.3.1.2 Perhitungan Biaya Transportasi

Biaya transportasi merupakan biaya yang harus dikeluarkan oleh CV Angkasa Leather untuk melakukan proses transportasi pengiriman barang yang meliputi biaya bahan bakar dan biaya tenaga kerja. Biaya bahan bakar dihitung berdasarkan total jarak yang ditempuh dimana untuk satu liter solar. Berdasarkan hasil wawancara dengan *driver*, satu liter solar dapat menempuh jarak kurang lebih 9 km, sehingga pada penelitian ini diasumsikan setiap

9 km jarak, menghabiskan satu liter solar untuk melakukan pendistribusian barang. Harga untuk satu liter solar adalah sebesar Rp. 6.900. Biaya tenaga kerja meliputi gaji *driver* dan kernet. Rekap perhitungan biaya transportasi disajikan pada Tabel 4.8. Contoh perhitungan biaya transportasi untuk rute 1 adalah sebagai berikut.

$$\text{Bahan bakar yang dibutuhkan} = \frac{\text{jarak tempuh}}{9 \text{ km/liter}} = \frac{169,4}{9 \text{ km/liter}} = 18,82$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya bahan bakar} &= \text{Bahan bakar yang dibutuhkan} \times \text{harga solar per liter} \\ &= 18,82 \times \text{Rp. 6.900} \\ &= \text{Rp 129.858,-} \end{aligned}$$

$$\text{Biaya driver} = \text{gaji per hari} = \text{Rp 70.000,-}$$

$$\text{Biaya kernet} = \text{gaji per hari} = \text{Rp. 70.000,-}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya transportasi} &= \text{biaya bahan bakar} + \text{biaya driver} + \text{biaya kernet} \\ &= \text{Rp 129.858} + \text{Rp 70.000} + \text{Rp 70.000} \\ &= \text{Rp 269.858} \end{aligned}$$

Tabel 4.8 Biaya Transportasi untuk Rute Awal

Rute	Jarak (km)	Bahan Bakar yang dibutuhkan (liter)	Biaya bahan bakar (Rp)	Biaya driver (Rp)	Biaya Kernet (Rp)	Biaya Transportasi (Rp)
1	169,4	18,82	129.858	70.000	70.000	269.858
2	121,9	13,54	93.426	70.000	70.000	233.426
3	155,7	17,3	119.370	70.000	70.000	259.370
4	124,8	13,87	95.703	70.000	70.000	235.703
5	126,2	14,02	96.738	70.000	70.000	236.738
6	176,1	19,57	128.133	70.000	70.000	268.133
TOTAL						1.503.228

Pada Tabel 4.8 diketahui bahwa pada rute 1 biaya transportasi pengiriman barang yang dikeluarkan adalah sebesar Rp. 269.858, pada rute 2 biaya yang dikeluarkan sebesar Rp. 233.426, pada rute 3 biaya yang dikeluarkan sebesar Rp. 259.370, pada rute 4 biaya yang dikeluarkan sebesar Rp. 235.703, pada rute 5 biaya yang dikeluarkan sebesar Rp. 236.738, pada rute 6 biaya yang dikeluarkan sebesar Rp. 268.133, sehingga total biaya yang dikeluarkan CV Angkasa Leather untuk pengiriman barang perminggunya sebesar Rp. 1.503.228.

4.3.2 Penentuan Rute dengan Metode *Insertion Heuristic*

Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan metode *Insertion Heuristic* yang merupakan pengembangan dari metode *Saving Heuristic* yang dikembangkan oleh Clarke and Wright. Dalam metode ini untuk persoalan VRP klasik dimana pada model VRPTW ini yang harus diselesaikan tidak hanya menentukan rute tetapi juga jadwal keberangkatan

setiap kendaraan untuk meminimumkan total ongkos perjalanan dan total waktu menunggu (Giani dkk, 2003:274). Langkah metode ini akan dijelaskan pada sub-bab berikutnya.

4.3.2.1 Penentuan Matriks Jarak

Tahap awal yang dilakukan pada penelitian ini adalah membuat matriks jarak. Matriks jarak yang akan dibuat merupakan jarak tempuh yang harus dilalui kendaraan dari gudang ke konsumen grosir dan jarak antar konsumen grosir. Pengukuran jarak ini diperoleh menggunakan *Google Maps* dengan pertimbangan jarak yang terpendek. Satuan yang digunakan dalam matriks jarak ini adalah kilometer (km). Hasil penentuan matriks jarak disajikan pada Gambar 4.1, dimana:

G = Gudang

J_{+i} = Toko ke-i pada wilayah Jombang ($i = 1,2,3,...,21$)

M_{+i} = Toko ke-i pada wilayah Mojokerto ($i = 1,2,3,...,8$)

N_{+i} = Toko ke-i pada wilayah Nganjuk ($i = 1,2,3,...,5$)

Pada Gambar 4.1 diketahui bahwa jarak dari Toko Morodadi (J1) ke Gudang (G) adalah 5,3 km, jarak dari Toko Morodadi (J1) ke Toko 99 (N1) adalah 48,1 km dan jarak dari Toko 99 (N1) ke Gudang adalah 45,6 km.

4.3.2.2 Penentuan Matriks Waktu Tempuh

Tahap selanjutnya adalah menentukan matriks waktu tempuh dari Gudang ke setiap konsumen grosir serta waktu tempuh antar konsumen grosir. Pengukuran waktu tempuh diperoleh dengan membagi jarak tempuh pada matriks jarak yang disajikan pada Gambar 4.1 dengan kecepatan rata-rata kendaraan yaitu 50 km/jam. Hasil penentuan matriks waktu tempuh dapat dilihat pada Gambar 4.2 Contoh perhitungan waktu tempuh dari Gudang (G) ke toko 1 (J1) adalah sebagai berikut.

$$\text{Waktu tempuh} = \left(\frac{\text{Jarak}}{\text{kecepatan rata-rata}} \right) \times 60$$

$$\text{Waktu tempuh} = \left(\frac{5,3 \text{ km}}{50 \text{ km/jam}} \right) \times 60$$

$$\text{Waktu tempuh} = 6,36 \text{ menit}$$

Pada Gambar 4.2 diketahui bahwa waktu tempuh dari Toko Morodadi (J1) ke Gudang (G) adalah 6 menit, waktu tempuh dari Toko Morodadi (J1) ke Toko 99 (N1) adalah 58 menit dan waktu tempuh dari Toko 99 (N1) ke Gudang adalah 55 menit km.

4.3.2.3 Penentuan Node

Setelah didapatkan matriks jarak dan matriks waktu tempuh dari gudang ke konsumen grosir serta antar konsumen grosir selanjutnya dilakukan penentuan rute kendaraan. Penentuan rute kendaraan dilakukan dengan dengan algoritma *insertion heuristic*. Langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan node yang memiliki *time windows* dengan durasi paling singkat. Pendistribusian barang pada CV Angkasa Leather dimulai pada jam 08.00 WIB sehingga durasi pengiriman dihitung mulai dari jam 08.00 hingga toko tutup. Pada Tabel 4.9 dapat dilihat bahwa untuk Toko Morodadi (J1) jadwal pengiriman barang dapat dilakukan pukul 08.00-12.00 sehingga durasi pengiriman adalah 4 jam atau 240 menit. Pada Toko Comodore (J8) jadwal pengiriman produk dilakukan pukul 07.00-10.30 karena durasi dihitung mulai dari jam 08.00 maka durasi pengiriman yang tadinya adalah 3 jam 30 menit (210 menit) dikurangi 1 jam (60 menit) sehingga durasi pengiriman menjadi 150 menit. Pada Tabel 4.9 dapat dilihat bahwa Toko Comodore (J8) memiliki *time windows* dengan durasi tersingkat sehingga node yang dipilih adalah J8.

Tabel 4.9 Data Durasi Toko

Kode	Nama Toko	Time Windows	Durasi (menit)	Kode	Nama Toko	Time Windows	Durasi (menit)
J1	Morodadi	08.00-12.00	240	J18	Alif.Sumobito	7.00-11.00	180
J2	Sri Asih	08.00-11.00	180	J19	Muktar	8.00-14.00	360
J3	Mitra Sukses	7.30-12.00	240	J20	Permata Snack	8.00-13.00	300
J4	Gajah Mada	8.00-11.30	210	J21	Pujiatin ngoro	9.00-16.00	480
J5	Toko18	7.30- 11.30	210	M1	Sido Gede	8.00-15.00	420
J6	Bu Ida	9.00-16.00	480	M2	Samudra Snack	8.00-16.00	480
J7	Tiga Putra	7.00-12.00	240	M3	Bu Riana	8.00-16.00	480
J8	Comodore	7.00-10.30	150	M4	Hoky Jaya I	8.00-11.30	210
J9	Lintang	7.00-12.00	240	M5	Pak Soleh	8.00-14.00	360
J10	Reli jaya	7.00-11.00	180	M6	Leo Toko	8.30-11.30	210
J11	Sholikin	7.00-12.00	240	M7	Imam Snack	8.00-16.00	480
J12	Orions	8.00-11.30	210	M8	Gatot	7.00-13.00	300
J13	Pak Khoirul	8.00-11.30	210	N1	Toko 99	08.00-16.00	240
J14	Sumber Manis	8.00-16.00	480	N2	Pak Agus	7.30-16.00	480
J15	MT toko	8.00-12.00	240	N3	Harsono Nggetas	7.30-12.00	240
J16	Ela Jaya	7.30-12.00	240	N4	Pak Mustain Warujayeng	8.00-12.00	240
J17	Bravo	08.00-15.00	420	N5	Pak Matori	7.30-14.00	360

4.3.2.4 Penghematan Jarak dan Waktu Tempuh

Langkah berikutnya setelah didapatkan node dengan durasi tersingkat adalah melakukan perhitungan penghematan jarak (Z_{11}) dan waktu tempuh (Z_{12}) terhadap seluruh node. Perhitungan penghematan tersebut dilakukan untuk menentukan node sisipan antara node J8 (Toko Comodore) ke node G (Gudang) yang disesuaikan dengan kapasitas angkutan. Contoh perhitungan penghematan jarak untuk node J8 dan J1 dengan melihat matriks jarak pada Gambar 4.1 adalah sebagai berikut.

$$Z_{11} (J8,J1) = d(J8,J1) + d(J1,G) - d(J8,G)$$

$$\begin{aligned} Z_{11} (J8,J1) &= 1,2 \text{ km} + 5,3 \text{ km} - 5 \text{ km} \\ &= 1,5 \text{ km} \end{aligned}$$

Rekap perhitungan penghematan jarak (Z_{11}) disajikan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Penghematan Jarak

i	u	$d\{i,u\}$ (km)	$d\{u,A\}$ (km)	$d\{i,A\}$ (km)	Z_{11} (km)
J8	J1	1,2	5,3	5	1,5
	N1	50,4	45,6	5	91,0
	J2	2,2	6,1	5	3,3
	J3	1,5	5,5	5	2,0
	M1	42,3	37,7	5	75,0
	J4	1,3	5,3	5	1,6
	J5	1,7	5,6	5	2,3
	M2	36,9	31,5	5	63,4
	J6	7,6	11,8	5	14,4
	N2	44,6	48,2	5	87,8
	J7	1,2	5,5	5	1,7
	N3	40,4	44,3	5	79,7
	J9	19,0	23,0	5	37,0
	J10	9,1	8,3	5	12,4
	M3	32,9	28,3	5	56,2
	J11	31,7	27,1	5	53,8
	J12	11,8	16,0	5	22,8
	N4	32,6	44,0	5	71,6
	J13	23,9	26,8	5	45,7
	J14	18,6	21,5	5	35,1
	M4	20,0	14,3	5	29,3
	J15	12,5	18,4	5	25,9
	J16	9,3	8,5	5	12,8
	M5	36,9	32,3	5	64,2
	M6	42,2	37,6	5	74,8
	J17	3,4	7,4	5	5,8
	J18	12,9	8,3	5	16,2
	J19	6,6	9,3	5	10,9
	M7	49,6	47,3	5	91,9
	M8	32,8	28,2	5	56,0
	N5	48,0	51,3	5	94,3
	J20	14,8	12,8	5	22,6
	J21	19,4	23,6	5	38,0

Pada Tabel 4.10 dapat dilihat bahwa nilai penghematan jarak (Z_{11}) yang dihasilkan antara node J8 dan J1 sebesar 1,5 km yang artinya nilai tersebut merupakan jarak penghematan apabila node J1 (Toko Morodadi) apabila disisipkan diantara toko J8 (Toko Comodore) ke node G (Gudang).

Contoh perhitungan penghematan waktu tempuh (Z_{12}) untuk node J8 dan J1 dengan melihat matriks waktu pada Gambar 4.2 adalah sebagai berikut.

$$Z_{12} (J8,J1) = t (J8,J1) + \text{waktu pelayanan} + t (J1,G) - t (J8,G)$$

$$\begin{aligned} Z_{12} (J8,J1) &= 1,44 \text{ menit} + 40 \text{ menit} + 6,36 \text{ menit} - 6 \text{ menit} \\ &= 41,8 \text{ menit} \end{aligned}$$

Rekap perhitungan penghematan waktu tempuh (Z_{12}) disajikan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Penghematan Waktu

i	u	t {i,u} (menit)	t {u,A} (menit)	t {i,A} (menit)	Waktu Pelayanan (menit)	Z ₁₂ (menit)
J8	J1	1,44	6,36	6	40	41,80
	N1	60,48	54,72	6	40	149,20
	J2	2,64	7,32	6	40	43,96
	J3	1,80	6,60	6	40	42,40
	M1	50,76	45,24	6	40	130,00
	J4	1,56	6,36	6	40	41,92
	J5	2,04	6,72	6	40	42,76
	M2	44,28	37,80	6	40	116,08
	J6	9,12	14,16	6	40	57,28
	N2	53,52	57,84	6	40	145,36
	J7	1,44	7,00	6	40	42,44
	N3	48,48	53,16	6	40	135,64
	J9	22,80	27,60	6	40	84,40
	J10	10,92	9,96	6	40	54,88
	M3	39,48	33,96	6	40	107,44
	J11	38,04	32,52	6	40	104,56
	J12	14,16	19,20	6	40	67,36
	N4	39,12	52,80	6	40	125,92
	J13	28,68	32,16	6	40	94,84
	J14	22,32	25,80	6	40	82,12
	M4	24,00	17,16	6	40	75,16
	J15	15,00	22,08	6	40	71,08
	J16	11,16	10,20	6	40	55,36
	M5	44,28	38,76	6	40	117,04
	M6	50,64	45,12	40	6	129,76
	J17	4,08	8,88	40	6	46,96
	J18	15,48	9,96	40	6	59,44
	J19	7,92	11,16	40	6	53,08
	M7	59,52	56,76	40	6	150,28
	M8	39,36	33,84	40	6	107,20
	N5	57,60	61,56	40	6	153,16
	J20	17,76	15,36	40	6	67,12
	J21	23,28	28,32	40	6	85,60

Pada Tabel 4.11 dapat dilihat bahwa nilai penghematan waktu tempuh yang dihasilkan antara node J8 dan J1 sebesar 41,8 menit yang artinya nilai tersebut merupakan waktu penghematan apabila node J1 (Toko Morodadi) apabila disisipkan diantara toko J8 (Toko Comodore) ke node G (Gudang).

4.3.2.5 Penentuan Node Sisipan

Node J8 merupakan node dengan durasi tersingkat sehingga rute 1 yang terbentuk adalah Gudang-Toko Comodore-Gudang (G-J8-G). Kemudian dilakukan penyisipan node terbaik di rute 1 yang akan disisipkan antara node J8 (Toko Comodore) ke node G (Gudang) dengan mengambil node yang memiliki nilai Z_1 terkecil dengan mempertimbangkan kapasitas dan *time windows*. Nilai Z_1 dan Z_2 dapat dilihat pada Tabel 4.12 berikut.

Tabel 4.12 Node Terbaik yang Dapat Disisipkan dalam Rute

u	$Z_1(i,u,j)$	i(u)	j(u)	$Z_2(i,u,j)$
J1	5,53	J8	G	-0,2
N1	96,82	J8	G	-51,2
J2	7,37	J8	G	-1,3
J3	6,04	J8	G	-0,5
M1	80,50	J8	G	-42,8
J4	5,63	J8	G	-0,3
J5	6,35	J8	G	-0,7
M2	68,67	J8	G	-37,2
J6	18,69	J8	G	-6,9
N2	93,56	J8	G	-45,4
J7	5,77	J8	G	-0,3
N3	85,29	J8	G	-41,0
J9	41,74	J8	G	-18,7
J10	16,65	J8	G	-8,3
M3	61,32	J8	G	-33,0
J11	58,88	J8	G	-31,8
J12	27,26	J8	G	-11,3
N4	77,03	J8	G	-33,0
J13	50,61	J8	G	-23,8
J14	39,80	J8	G	-18,3
M4	33,89	J8	G	-19,6
J15	30,42	J8	G	-12,0
J16	17,06	J8	G	-8,6
M5	69,48	J8	G	-37,2
M6	80,30	J8	G	-42,7
J17	9,92	J8	G	-2,5
J18	20,52	J8	G	-12,2
J19	15,12	J8	G	-5,8
M7	97,74	J8	G	-50,4
M8	61,12	J8	G	-32,9
N5	100,19	J8	G	-48,9
J20	27,05	J8	G	-14,3
J21	42,76	J8	G	-19,2

Berdasarkan Tabel 4.12 diketahui bahwa nilai Z_1 untuk node J1 adalah 5,53 dan nilai Z_2 untuk node J1 adalah -0,2. Kedua nilai Z_1 dan Z_2 tersebut digunakan untuk menentukan node terbaik yang dapat disisipkan dalam rute dimana node terbaik yang dipilih dilihat dari nilai Z_1 yang paling kecil kemudian dilanjutkan dengan node yang memiliki nilai Z_2 terbesar.

Perhitungan nilai Z_1 dihitung berdasarkan nilai Z_{11} dan Z_{12} pada Tabel 4.9 dan 4.10. Contoh perhitungan Z_1 dan Z_2 pada node J1 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Z_1(J8,J1) &= (\alpha_1 \times Z_{11}) + (\alpha_2 \times Z_{12}) \\ &= (0,9 \times 1,5) + (0,1 \times 41,8) \\ &= 5,53 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_2(J8,J1) &= d(G, J1) - Z_1(J8,J1) \\ &= 5,3 - 5,53 = -0,2 \end{aligned}$$

Dalam penelitian ini digunakan $\alpha=0,9$ untuk penghematan jarak dan $\alpha=0,1$ untuk penghematan waktu tempuh. Hal ini dikarenakan dalam penelitian ini lebih ditekankan pada penghematan jarak disamping juga tetap memperhatikan waktu tempuh. Setelah dilakukan perhitungan Z_2 maka langkah selanjutnya yaitu dengan menentukan rute awal yaitu memulai dengan konsumen grosir yang durasi bukanya tersingkat, kemudian memilih Z_1 yang terkecil dan selanjutnya dipilih dengan nilai Z_2 yang terbesar dengan memperhatikan kapasitas truk dan jam buka tutup konsumen grosir yang masih mencukupi.

a. Iterasi 1

Untuk menentukan posisi node terbaik di rute 1 yang akan disisipkan diantara node J8 (Toko Comodore) dan node G (Gudang), diambil node yang memiliki nilai Z_1 terkecil pada Tabel 4.12. Node yang terpilih adalah node J1 (Toko Morodadi) dengan nilai Z_1 adalah 6,05 sehingga rute 1 yang terbentuk adalah G-J8-J1-G. Permintaan pada node J8 (Toko Comodore) sebesar $3,598788 \text{ m}^3$ dan permintaan pada node J1 (Toko Morodadi) sebesar $4,332064 \text{ m}^3$, maka total permintaannya adalah $7,931428 \text{ m}^3$. Dengan kapasitas kendaraan angkut sebesar 20,445 maka node tersebut layak disisipkan pada rute 1.

Kapasitas kendaraan masih tersisa, maka node selanjutnya disisipkan dengan mengambil nilai Z_2 terbesar secara berurutan sampai kapasitas angkut tercukupi. Nilai Z_2 terbesar pada Tabel 4.12 adalah node J7 (Toko Tiga Putra) dengan permintaan sebesar $4,033384 \text{ m}^3$ sehingga total permintaannya menjadi $11,96424 \text{ m}^3$ ($\text{Permintaan J8} + \text{J1} + \text{J7} = 3,598788 \text{ m}^3 + 4,332064 \text{ m}^3 + 4,033384 \text{ m}^3 = 11,96424 \text{ m}^3$) maka rute 1 yang terbentuk menjadi G-J8-J1-J7-G.

Selanjutnya dilakukan penyisipan toko kembali karena kapasitas kendaraan masih tersisa. Node yang disisipkan adalah node yang memiliki nilai Z_2 terbesar selanjutnya pada Tabel 4.12 yaitu node J4 (Toko Gajah Mada) dengan permintaan sebesar $4,654127 \text{ m}^3$. Total permintaan yang diangkut adalah sebesar $16,61836 \text{ m}^3$ ($J8+J1+J7+J4= 3,598788 \text{ m}^3 + 4,332064 \text{ m}^3 + 4,033384 \text{ m}^3 + 4,654127 \text{ m}^3 = 16,61836 \text{ m}^3$), total kapasitas kendaraan per satu kali angkut adalah $20,445 \text{ m}^3$, maka dapat dilakukan penyisipan node selanjutnya dengan mengambil nilai Z_2 terbesar selanjutnya yaitu J3 (Toko Mitra Sukses) dengan permintaan sebesar $3,606129 \text{ m}^3$ sehingga total permintannya menjadi $20,22449 \text{ m}^3$ (Permintaan $J8+J1+J7+J4+J3 = 3,598788 \text{ m}^3 + 4,332064 \text{ m}^3 + 4,033384 \text{ m}^3 + 4,654127 \text{ m}^3 + 3,606129 \text{ m}^3 = 20,22449 \text{ m}^3$). Karena kapasitas kendaraan sudah terpenuhi maka rute 1 yang diperoleh adalah sebagai berikut.

Rute 1 = G (Gudang) - J8 (Toko Comodore) - J1 (Toko Morodadi) - J7 (Toko Tiga Putra) - J4 (Toko Gajah Mada) – J3 (Toko Mitra Sukses) – G (Gudang)

Dengan total permintaan sebesar,

$$\begin{aligned} Demand &= J8 + J1 + J7 + J4 + J3 \\ &= 3,598788 \text{ m}^3 + 4,332064 \text{ m}^3 + 4,033384 \text{ m}^3 + 4,654127 \text{ m}^3 + 3,606129 \text{ m}^3 \\ &= 20,22449 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Langkah berikutnya adalah menyesuaikan *time windows* pada tiap node di rute 1 yang bertujuan agar waktu kirim ke toko tersebut masih berada dalam interval waktu (*time windows*) yang ditentukan oleh masing-masing toko yang terdapat pada Lampiran 6. Jika ada waktu kirim yang berada di luar *time windows* maka node tersebut harus dikeluarkan rute dan diganti dengan node yang memiliki nilai Z_2 terbesar berikutnya. Pada rute 1 yang telah didapatkan semua node berada dalam interval waktu (*time windows*) yang terdapat pada Tabel 4.9 sehingga tidak ada node yang dikeluarkan dari rute. Karena masih ada node yang tersisa selanjutnya dilakukan penentuan rute kedua dengan langkah yang sama.

b. Iterasi 2

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah menentukan node yang memiliki *time windows* dengan durasi tersingkat dari node yang tersisa seperti yang terlihat pada Lampiran 1. Node yang memiliki durasi tersingkat berikutnya berdasarkan Lampiran 1 adalah node J10 (Toko Reli Jaya) sehingga rute 2 yang terbentuk adalah Gudang-Toko Reli Jaya-Gudang (G-J10-G). Kemudian dilakukan penyisipan node terbaik di rute 2 yang akan disisipkan antara node J10 (Toko Reli Jaya) ke node G (Gudang) dengan mengambil node yang memiliki nilai Z_1 terkecil dari rute yang terisa pada Lampiran 1 dengan mempertimbangkan

kapasitas dan *time windows*. Node yang terpilih adalah node J5 (Toko 18) dengan nilai Z_1 adalah 6,85 sehingga rute 2 yang terbentuk adalah G-J10-J5-G. Permintaan pada node J10 (Toko Reli Jaya) sebesar $3,174911 \text{ m}^3$ dan permintaan pada node J5 (Toko 18) sebesar $3,729482 \text{ m}^3$, maka total permintaannya adalah $6,904393 \text{ m}^3$. Dengan kapasitas kendaraan angkut sebesar 20,445 maka node tersebut layak disisipkan pada rute 2.

Kapasitas kendaraan masih tersisa, maka node selanjutnya disisipkan dengan mengambil nilai Z_2 terbesar secara berurutan sampai kapasitas angkut tercukupi. Nilai Z_2 terbesar dari node yang tersisa selanjutnya pada Lampiran 1 adalah node J2 (Toko Sri Asih) dengan permintaan sebesar $3,308502 \text{ m}^3$ sehingga total permintaannya menjadi $10,2129 \text{ m}^3$ (Permintaan $J10+J5+J2 = 3,174911 \text{ m}^3 + 3,729482 \text{ m}^3 + 3,308502 \text{ m}^3 = 10,2129 \text{ m}^3$) maka rute 2 yang terbentuk menjadi G-J10-J5-J2-G.

Selanjutnya dilakukan penyisipan toko kembali karena kapasitas kendaraan masih tersisa. Node yang disisipkan adalah node yang memiliki nilai Z_2 terbesar selanjutnya pada Lampiran 1 yaitu node J17 (Toko Bravo) dengan permintaan sebesar $2,742712 \text{ m}^3$. Total permintaan yang diangkut adalah sebesar $12,95561 \text{ m}^3$ (Permintaan $J10+J5+J2+J17 = 3,174911 \text{ m}^3 + 3,729482 \text{ m}^3 + 3,308502 \text{ m}^3 + 2,742712 \text{ m}^3 = 12,95561 \text{ m}^3$), total kapasitas kendaraan per satu kali angkut adalah $20,445 \text{ m}^3$, maka dapat dilakukan penyisipan node selanjutnya dengan mengambil nilai Z_2 terbesar selanjutnya yaitu J19 (Toko Muktar Bandung) dengan permintaan sebesar $2,87924 \text{ m}^3$ sehingga total permintaannya menjadi $15,83485 \text{ m}^3$ (Permintaan $J10+J5+J2+J17+J19 = 3,174911 \text{ m}^3 + 3,729482 \text{ m}^3 + 3,308502 \text{ m}^3 + 2,742712 \text{ m}^3 + 2,87924 \text{ m}^3 = 15,83485 \text{ m}^3$). Karena kapasitas kendaraan masih tersisa maka dilakukan kembali penyisipan node pada rute 2 tersebut.

Node yang disisipkan diambil dengan melihat Z_2 terbesar selanjutnya setelah node J19 yaitu node J6 (Toko Ida) dengan permintaan sebesar 3,554103. Sehingga total permintaan menjadi $19,38895 \text{ m}^3$ (Permintaan $J10+J5+J2+J17+J19+J6 = 3,174911 \text{ m}^3 + 3,729482 \text{ m}^3 + 3,308502 \text{ m}^3 + 2,742712 \text{ m}^3 + 2,87924 \text{ m}^3 + 3,554103 \text{ m}^3 = 19,38895 \text{ m}^3$). Karena kapasitas kendaraan sudah terpenuhi maka rute 2 yang diperoleh adalah sebagai berikut.

Rute 2 = G (Gudang) – J10 (Reli Jaya) – J5 (Toko 18) – J2 (Toko Sri Asih) – J17 (Toko Bravo) – J19 (Toko Muktar Bandung) – J6 (Toko Ida) – G (Gudang)

Dengan total permintaan sebesar,

$$\begin{aligned} Demand &= J10 + J5 + J2 + J17 + J19 + J6 \\ &= 3,174911 \text{ m}^3 + 3,729482 \text{ m}^3 + 3,308502 \text{ m}^3 + 2,742712 \text{ m}^3 + 2,87924 \text{ m}^3 + 3,554103 \text{ m}^3 \\ &= 19,38895 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Langkah berikutnya adalah menyesuaikan *time windows* pada tiap node di rute 2 yang bertujuan agar waktu kirim ke toko tersebut masih berada dalam interval waktu (*time windows*) yang di tentukan oleh masing-masing toko yang terdapat pada Lampiran 6. Jika ada waktu kirim yang berada diluar *time windows* maka node tersebut harus dikeluarkan rute dan diganti dengan node yang memiliki nilai Z_2 terbesar berikutnya. Pada rute 2 yang telah didapatkan semua node berada dalam interval waktu (*time windows*) yang terdapat pada Tabel 4.9 sehingga tidak ada node yang dikeluarkan dari rute. Karena masih ada node yang tersisa maka dilakukan kembali penentuan rute ketiga.

c. Iterasi 3

Node yang memiliki durasi tersingkat dari node yang tersisa, dapat dilihat pada Lampiran 2, adalah node J18 (Toko Alif Sumobito) sehingga rute 3 yang terbentuk adalah Gudang-Toko Alif Sumobito-Gudang (G-J18-G). Kemudian dilakukan penyisipan node terbaik di rute 3 yang akan disisipkan antara node J18 (Toko Alif Sumobito) ke node G (Gudang) dengan mengambil node sisa yang memiliki nilai Z_1 terkecil pada Lampiran 2 dengan mempertimbangkan kapasitas dan *time windows*. Node yang terpilih adalah node J16 (Toko Ela Jaya) dengan nilai Z_1 adalah 17,56 sehingga rute 3 yang terbentuk adalah G-J18-J16-G. Permintaan pada node J18 (Toko Alif Sumobito) sebesar 2,711966 dan permintaan pada node J16 (Ela Jaya) sebesar 3,904451, maka total permintaannya adalah 6,616417 m³. Dengan kapasitas kendaraan angkut sebesar 20,445 maka node tersebut layak disisipkan pada rute 3.

Kapasitas kendaraan masih tersisa, maka node selanjutnya disisipkan dengan mengambil nilai Z_2 terbesar secara berurutan sampai kapasitas angkut tercukupi. Nilai Z_2 terbesar dari node yang tersisa pada Lampiran 2 adalah node J12 (Toko Orions) dengan permintaan sebesar 3,369329 m³ sehingga total permintaannya menjadi 9,985746 m³ (Permintaan J18+J16+J12 = 2,711966 m³ + 6,616417 m³ + 3,369329 m³ = 9,985746 m³) maka rute 3 yang terbentuk menjadi G-J18-J16-J12-G.

Selanjutnya dilakukan penyisipan toko kembali karena kapasitas kendaraan masih tersisa. Node yang disisipkan adalah node yang memiliki nilai Z_2 terbesar selanjutnya pada Lampiran 2 yaitu node J15 (Toko MT) dengan permintaan sebesar 3,568865 m³. Total permintaan yang diangkut adalah sebesar 13,55461 m³ (Permintaan J18+J16+J12+J15 = 2,711966 m³ + 6,616417 m³ + 3,369329 m³ + 3,568865 m³ = 13,55461 m³), total kapasitas kendaraan per satu kali angkut adalah 20,445 m³, maka dapat dilakukan penyisipan node selanjutnya dengan mengambil nilai Z_2 terbesar selanjutnya yaitu J20 (Toko Permata Snack)

dengan permintaan sebesar $2,377652 \text{ m}^3$ sehingga total permintannya menjadi $15,93226 \text{ m}^3$ (Permintaan $J18+J16+J12+J15+J20= 2,711966 \text{ m}^3 + 6,616417 \text{ m}^3 + 3,369329 \text{ m}^3 + 3,568865 \text{ m}^3 + 2,377652 \text{ m}^3 = 15,93226 \text{ m}^3$). Karena kapasitas kendaraan masih tersisa maka dilakukan kembali penyisipan node pada rute 3 tersebut.

Node yang disisipkan diambil dengan melihat Z_2 terbesar selanjutnya setelah node J20 yaitu node J14 (Toko Sumber Manis) dengan permintaan sebesar 3,360164. Sehingga total permintaan menjadi $19,29243 \text{ m}^3$ (Permintaan $J18+J16+J12+J15+J20+J14= 2,711966 \text{ m}^3 + 6,616417 \text{ m}^3 + 3,369329 \text{ m}^3 + 3,568865 \text{ m}^3 + 2,377652 \text{ m}^3 + 3,360164 \text{ m}^3 = 19,29243 \text{ m}^3$). Karena kapasitas kendaraan sudah terpenuhi maka rute 3 yang diperoleh adalah sebagai berikut.

Rute 3 = G (Gudang) – J18 (Toko Alif Sumobito) – J16 (Toko Ela Jaya) – J12 (Toko Orions) – J15 (MT Toko) – J20 (Toko Permata Snack) – J14 (Toko Sumber Manis) – G (Gudang)

Dengan total permintaan sebesar,

$$\begin{aligned} Demand &= J18+J16+J12+J15+J20+J14 \\ &= 2,711966\text{m}^3+6,616417\text{m}^3+3,369329\text{m}^3+3,568865\text{m}^3+2,377652\text{m}^3+ 3,360164\text{m}^3 \\ &= 19,29243 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Langkah berikutnya adalah menyesuaikan *time windows* pada tiap node di rute 3 yang bertujuan agar waktu kirim ke toko tersebut masih berada dalam interval waktu (*time windows*) yang di tentukan oleh masing-masing toko yang terdapat pada Lampiran 6. Jika ada waktu kirim yang berada diluar *time windows* maka node tersebut harus dikeluarkan rute dan diganti dengan node yang memiliki nilai Z_2 terbesar berikutnya. Pada rute 3 yang telah didapatkan semua node berada dalam interval waktu (*time windows*) yang terdapat pada Tabel 4.9 sehingga tidak ada node yang dikeluarkan dari rute. Karena masih ada node yang tersisa selanjutnya dilakukan penentuan rute keempat.

d. Iterasi 4

Node yang memiliki durasi tersingkat dari node yang tersisa pada Lampiran 3 adalah node J13 (Toko Khoirul) sehingga rute 4 yang terbentuk adalah Gudang-Toko Khoirul-Gudang (G-J13-G). Kemudian dilakukan penyisipan node terbaik di rute 4 yang akan disisipkan antara node J13 (Toko Khoirul) ke node G (Gudang) dengan mengambil node sisa yang memiliki nilai Z_1 terkecil pada Lampiran 3 dengan mempertimbangkan kapasitas dan *time windows*. Node yang terpilih adalah node M4 (Toko Hoki Jaya) dengan nilai Z_1

adalah 34,39 sehingga rute 4 yang terbentuk adalah G-J13-M4-G. Permintaan pada node J13 (Toko Khoirul) sebesar $3,1039 \text{ m}^3$ dan permintaan pada node M4 (Toko Hoki Jaya) sebesar $3,729961 \text{ m}^3$, maka total permintaannya adalah $6,833861 \text{ m}^3$. Dengan kapasitas kendaraan angkut sebesar $20,445 \text{ m}^3$ maka node tersebut layak disisipkan pada rute 4.

Kapasitas kendaraan masih tersisa, maka node selanjutnya disisipkan dengan mengambil nilai Z_2 terbesar secara berurutan sampai kapasitas angkut tercukupi. Nilai Z_2 terbesar dari node yang tersisa pada Lampiran 3 adalah node J9 (Toko Lintang) dengan permintaan sebesar $3,365633 \text{ m}^3$ sehingga total permintaannya menjadi $10,19949 \text{ m}^3$ (Permintaan $J13+M4+J9 = 3,1039 \text{ m}^3 + 3,729961 \text{ m}^3 + 3,365633 \text{ m}^3 = 10,19949 \text{ m}^3$) maka rute 4 yang terbentuk menjadi G-J13-M4-J9-G.

Selanjutnya dilakukan penyisipan toko kembali karena kapasitas kendaraan masih tersisa. Node yang disisipkan adalah node yang memiliki nilai Z_2 terbesar selanjutnya pada Lampiran 3 yaitu node J21 (Toko Pujiatin) dengan permintaan sebesar $2,749945 \text{ m}^3$. Total permintaan yang diangkut adalah sebesar $12,94944 \text{ m}^3$ (Permintaan $J13+M4+J9+J21 = 3,1039 \text{ m}^3 + 3,729961 \text{ m}^3 + 3,365633 \text{ m}^3 + 2,749945 \text{ m}^3 = 12,94944 \text{ m}^3$), total kapasitas kendaraan per satu kali angkut adalah $20,445 \text{ m}^3$, maka dapat dilakukan penyisipan node selanjutnya dengan mengambil nilai Z_2 terbesar selanjutnya yaitu J11 (Toko Sholikin) dengan permintaan sebesar $2,88112 \text{ m}^3$ sehingga total permintaannya menjadi $15,83056 \text{ m}^3$ (Permintaan $J13+M4+J9+J21+J11 = 3,1039 \text{ m}^3 + 3,729961 \text{ m}^3 + 3,365633 \text{ m}^3 + 2,749945 \text{ m}^3 + 2,88112 \text{ m}^3 = 15,83056 \text{ m}^3$). Karena kapasitas kendaraan masih tersisa maka dilakukan kembali penyisipan node pada rute 4 tersebut.

Node yang disisipkan diambil dengan melihat Z_2 terbesar selanjutnya setelah node J11 yaitu node M8 (Toko Gatot) dengan permintaan sebesar $2,446099$. Sehingga total permintaan menjadi $18,27666 \text{ m}^3$ (Permintaan $J13+M4+J9+J21+J11 + M8 = 3,1039 \text{ m}^3 + 3,729961 \text{ m}^3 + 3,365633 \text{ m}^3 + 2,749945 \text{ m}^3 + 2,88112 \text{ m}^3 + 2,446099 \text{ m}^3 = 18,27666 \text{ m}^3$). Selanjutnya dipilih node M3 (Toko Bu Riana) dengan permintaan sebesar $2,78837 \text{ m}^3$ sehingga total kapasitas menjadi $21,06503 \text{ m}^3$. Karena melebihi kapasitas maksimal kendaraan maka node tersebut tidak disisipkan sehingga rute yang diperoleh adalah

Rute 4 = G (Gudang) – J13 (Toko Khoirul) – M4 (Toko Hoki Jaya) – J9 (Toko Lintang) – J21 (Toko Pujiatin) – J11 (Toko Sholikin) – M8 (Toko Gatot) – G (Gudang)

Dengan total permintaan sebesar,

$Demand = J13+M4+J9+J21+J11 + M8$

$$= 3,1039 \text{ m}^3 + 3,729961 \text{ m}^3 + 3,365633 \text{ m}^3 + 2,749945 \text{ m}^3 + 2,88112 \text{ m}^3 + 2,446099 \text{ m}^3$$

$$= 18,27666 \text{ m}^3$$

Langkah berikutnya adalah menyesuaikan *time windows* pada tiap node di rute 4 yang bertujuan agar waktu kirim ke toko tersebut masih berada dalam interval waktu (*time windows*) yang di tentukan oleh masing-masing toko. Jika ada waktu kirim yang berada diluar *time windows* maka node tersebut harus dikeluarkan rute dan diganti dengan node yang memiliki nilai Z_2 terbesar berikutnya. Pada rute 4 yang didapatkan, node J11 dan M8 tidak berada dalam interval waktu (*time windows*) pengiriman, dapat dilihat pada Lampiran 6. Karena kendaraan tiba di node J21 (Toko Pujiatin) pada pukul 14.58 sedangkan interval waktu pengiriman pada node J21 adalah pukul 07.00-12.00. Begitu pula dengan node M8 dimana kendaraan tiba di node M8 pada pukul 15.00 sedangkan interval waktu pengiriman adalah pukul 07.00-13.00 sehingga kedua node tersebut tidak disisipkan kedalam rute dan diganti dengan node yang memiliki nilai Z_2 terbesar selanjutnya setelah node tersebut yaitu node M3 (Toko Bu Riana) dengan permintaan sebesar $2,78837 \text{ m}^3$ sehingga total kapasitas menjadi $15,73781 \text{ m}^3$. Walaupun kapasitas kendaraan masih tersisa, namun waktu pengiriman tidak mencukupi lagi untuk dilakukan pengiriman barang sehingga untuk rute 4 berakhir pada node M3. Rute 4 yang diperoleh adalah sebagai berikut.

Rute 4 = G (Gudang) – J13 (Toko Khoirul) – M4 (Toko Hoki Jaya) – J9(Toko Lintang) – J21 (Toko Pujiatin) – M3 (Toko Bu Riana) – G (Gudang)

Dengan total permintaan sebesar,

$$\text{Demand} = J13 + M4 + J9 + J21 + M3$$

$$= 3,1039 \text{ m}^3 + 3,729961 \text{ m}^3 + 3,365633 \text{ m}^3 + 2,749945 \text{ m}^3 + 2,78837 \text{ m}^3$$

$$= 15,73781 \text{ m}^3$$

e. Iterasi 5

Node yang memiliki durasi dari node yang tersisa pada Lampiran 4 adalah node M6 (Toko Leo) sehingga rute 5 yang terbentuk adalah Gudang-Toko Leo-Gudang (G-M6-G). Kemudian dilakukan penyisipan node terbaik di rute 5 yang akan disisipkan antara node M6 (Toko Leo) ke node G (Gudang) dengan mengambil node sisa yang memiliki nilai Z_1 terkecil pada Lampiran 4 dengan mempertimbangkan kapasitas dan *time windows*. Node yang terpilih adalah node J11 (Toko Sholikin) dengan nilai Z_1 adalah 59,38 sehingga rute 5 yang terbentuk adalah G-M6-J11-G. Permintaan pada node M6 (Toko Leo) sebesar $2,702968 \text{ m}^3$ dan permintaan pada node J11 (Toko Sholikin) sebesar 2,88112, maka total permintaannya adalah $5,584088 \text{ m}^3$. Dengan kapasitas kendaraan angkut sebesar $20,445 \text{ m}^3$ maka node tersebut layak disisipkan pada rute 5.

Kapasitas kendaraan masih tersisa, maka node selanjutnya disisipkan dengan mengambil nilai Z_2 terbesar secara berurutan sampai kapasitas angkut tercukupi. Nilai Z_2 terbesar dari node yang tersisa pada Lampiran 4 adalah node M8 (Toko Gatot) dengan permintaan sebesar $2,446099 \text{ m}^3$ sehingga total permintaannya menjadi $8,030187 \text{ m}^3$ (Permintaan $M6+J11+M8 = 2,702968 \text{ m}^3 + 2,88112 \text{ m}^3 + 2,446099 \text{ m}^3 = 8,030187 \text{ m}^3$) maka rute 4 yang terbentuk menjadi G-M6-J11-M8-G.

Selanjutnya dilakukan penyisipan toko kembali karena kapasitas kendaraan masih tersisa. Node yang disisipkan adalah node yang memiliki nilai Z_2 terbesar selanjutnya pada Lampiran 4 yaitu node N4 (Toko Mustain) dengan permintaan sebesar $2,88704 \text{ m}^3$. Total permintaan yang diangkut adalah sebesar $10,91723 \text{ m}^3$ (Permintaan $M6+J11+M8+N4 = 2,702968 \text{ m}^3 + 2,88112 \text{ m}^3 + 2,446099 \text{ m}^3 + 2,88704 \text{ m}^3 = 10,91723 \text{ m}^3$), total kapasitas kendaraan per satu kali angkut adalah $20,445 \text{ m}^3$, maka dapat dilakukan penyisipan node selanjutnya dengan mengambil nilai Z_2 terbesar selanjutnya yaitu M2 (Toko Samudra) dengan permintaan sebesar $3,24897 \text{ m}^3$ sehingga total permintaannya menjadi $14,1662 \text{ m}^3$ (Permintaan $M6+J11+M8+N4+M2 = 2,702968 \text{ m}^3 + 2,88112 \text{ m}^3 + 2,446099 \text{ m}^3 + 2,88704 \text{ m}^3 + 3,24897 \text{ m}^3 = 14,1662 \text{ m}^3$). Karena kapasitas kendaraan masih tersisa maka dilakukan kembali penyisipan node pada rute 5 tersebut.

Node yang disisipkan diambil dengan melihat Z_2 terbesar selanjutnya setelah node M2 yaitu node M5 (Toko Pak Soleh) dengan permintaan sebesar $2,489841 \text{ m}^3$. Sehingga total permintaan menjadi $16,65604 \text{ m}^3$ (Permintaan $M6+J11+M8+N4+M2+M5 = 2,702968 \text{ m}^3 + 2,88112 \text{ m}^3 + 2,446099 \text{ m}^3 + 2,88704 \text{ m}^3 + 3,24897 \text{ m}^3 + 2,489841 \text{ m}^3 = 16,65604 \text{ m}^3$). Selanjutnya disisipkan node N3 (Toko Harsono) dengan permintaan sebesar $2,60459 \text{ m}^3$ sehingga total kapasitas menjadi $19,26063 \text{ m}^3$ sehingga rute yang diperoleh adalah

Rute 5 = G (Gudang) – M6 (Toko Leo) – J11 (Toko Sholikin) – M8 (Toko Gatot) – N4 (Toko Mustain) – M2 (Toko Samudra) – M5 (Toko Pak Soleh) - N3 (Toko Harsono) - G (Gudang)

Dengan total permintaan sebesar,

$$Demand = M6+J11+M8+N4+M2+M5+N3$$

$$= 2,702968 \text{ m}^3 + 2,88112 \text{ m}^3 + 2,446099 \text{ m}^3 + 2,88704 \text{ m}^3 + 3,24897 \text{ m}^3 + 2,489841 \text{ m}^3 + 2,60459 \text{ m}^3$$

$$= 19,26063 \text{ m}^3$$

Langkah berikutnya adalah menyesuaikan *time windows* pada tiap node di rute 5 yang bertujuan agar waktu kirim ke toko tersebut masih berada dalam interval waktu (*time windows*) yang di tentukan oleh masing-masing toko. Jika ada waktu kirim yang berada

diluar *time windows* maka node tersebut harus dikeluarkan rute dan diganti dengan node yang memiliki nilai Z_2 terbesar berikutnya. Pada rute 5 yang didapatkan, node N4, M5, dan N3 tidak berada dalam interval waktu (*time windows*) pengiriman, dapat dilihat pada Lampiran 6. Karena kendaraan tiba di node N4 (Toko Mustain) pada pukul 12.44 sedangkan interval waktu pengiriman pada node N4 adalah pukul 08.00-12.00. Pada node M5 kendaraan tiba di node M5 (Toko Pak Soleh) pada pukul 15.14 sedangkan interval waktu pengiriman adalah pukul 08.00-14.00. Begitu pula dengan node N3 dimana kendaraan tiba di node N3 pada pukul 17.24 sedangkan interval waktu pengiriman adalah pukul 7.30-14.00. Sehingga ketiga node tersebut tidak disisipkan kedalam rute dan diganti dengan node yang memiliki nilai Z_2 terbesar selanjutnya setelah node tersebut yaitu node M1 (Toko Sido Gede) dengan permintaan sebesar $2,663537 \text{ m}^3$ dan Node M7 (Toko Imam) dengan permintaan sebesar $2,181937 \text{ m}^3$ sehingga total kapasitas menjadi $18,61447 \text{ m}^3$. Walaupun kapasitas kendaraan masih tersisa, namun waktu pengiriman tidak mencukupi lagi untuk dilakukan pengiriman barang sehingga untuk rute 5 berakhir pada node M7. Rute 5 yang diperoleh adalah sebagai berikut.

Rute 5 = G (Gudang) – M6 (Toko Leo) – J11 (Toko Sholikin) – M8(Toko Gatot) – M2 (Toko Samudra) – M5 (Toko Pak Soleh) +M1 (Toko Sido Gede) + M7 (Toko Imam) – G (Gudang)

Dengan total permintaan sebesar,

$$\begin{aligned} \text{Demand} &= M6+J11+M8+M2+M5+M1+M7 \\ &= 2,702968\text{m}^3+2,88112\text{m}^3+2,446099\text{m}^3+3,24897\text{m}^3+2,489841\text{m}^3+2,66353\text{m}^3+ \\ &\quad 2,181937 \text{ m}^3 \\ &= 18,61447 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

f. Iterasi 6

Node yang memiliki durasi tersingkat berikutnya dari node yang tersisa pada Lampiran 5 adalah node N4 (Toko Mustain) sehingga rute 6 yang terbentuk adalah Gudang-Toko Mustain-Gudang (G-N4-G). Kemudian dilakukan penyisipan node terbaik di rute 6 yang akan disisipkan antara node N4 (Toko Mustain) ke node G (Gudang) dengan mengambil node sisa yang memiliki nilai Z_1 terkecil selanjutnya pada Lampiran 5 dengan mempertimbangkan kapasitas dan *time windows*. Node yang terpilih adalah node N3 (Toko Harsono) dengan nilai Z_1 adalah 85,79 sehingga rute 6 yang terbentuk adalah G- N4-N3-G. Permintaan pada node N4 (Toko Mustain) sebesar 2,88704 dan permintaan pada node N3 (Toko Harsono) sebesar 2,60459, maka total permintaannya adalah $5,49163 \text{ m}^3$. Dengan

kapasitas kendaraan angkut sebesar $20,445 \text{ m}^3$ maka node tersebut layak disisipkan pada rute 6.

Kapasitas kendaraan masih tersisa, maka node selanjutnya disisipkan dengan mengambil nilai Z_2 terbesar secara berurutan sampai kapasitas angkut tercukupi. Nilai Z_2 terbesar dari node yang tersisa pada Lampiran 5 adalah node N2 (Toko Agus) dengan permintaan sebesar $2,482102 \text{ m}^3$ sehingga total permintaannya menjadi $7,8973732 \text{ m}^3$ (Permintaan $N4+N3+N2 = 2,88704 \text{ m}^3 + 2,60459 \text{ m}^3 + 2,482102 \text{ m}^3 = 7,8973732 \text{ m}^3$) maka rute 6 yang terbentuk menjadi G-N4-N3-N2-G.

Selanjutnya dilakukan penyisipan toko kembali karena kapasitas kendaraan masih tersisa. Node yang disisipkan adalah node yang memiliki nilai Z_2 terbesar selanjutnya pada Lampiran 5 yaitu node N5 (Toko Pak Matori) dengan permintaan sebesar $2,071162 \text{ m}^3$. Total permintaan yang diangkut adalah sebesar $10,04489 \text{ m}^3$ (Permintaan $N4+N3+N2 + N5 = 2,88704 \text{ m}^3 + 2,60459 \text{ m}^3 + 2,482102 \text{ m}^3 + 2,071162 \text{ m}^3 = 10,04489 \text{ m}^3$), total kapasitas kendaraan per satu kali angkut adalah $20,445 \text{ m}^3$, maka dapat dilakukan penyisipan node selanjutnya dengan mengambil nilai Z_2 terbesar selanjutnya yaitu N1 (Toko 99) dengan permintaan sebesar $2,954109 \text{ m}^3$ sehingga total permintaannya menjadi $12,999 \text{ m}^3$ (Permintaan $N4+N3+N2+N5+N1 = 2,88704 \text{ m}^3 + 2,60459 \text{ m}^3 + 2,482102 \text{ m}^3 + 2,071162 \text{ m}^3 + 2,954109 \text{ m}^3 = 12,999 \text{ m}^3$). Karena tidak terdapat node yang tersisa maka rute 6 adalah sebagai berikut.

Rute 6 = G (Gudang) – N4 (Toko Mustain) – N3 (Toko Harsono) – N2(Toko Pak Agus) – N5 (Toko Pak Matori) – N1 (Toko 99)

Dengan total permintaan sebesar,

$$\begin{aligned} Demand &= N4+N3+N2 + N5+N1 \\ &= 2,88704 \text{ m}^3 + 2,60459 \text{ m}^3 + 2,482102 \text{ m}^3 + 2,071162 \text{ m}^3 + 2,954109 \text{ m}^3 \\ &= 12,999 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Langkah berikutnya adalah menyesuaikan *time windows* pada tiap node di rute 6 yang bertujuan agar waktu kirim ke toko tersebut masih berada dalam interval waktu (*time windows*) yang di tentukan oleh masing-masing toko yang terdapat pada Lampiran 6. Jika ada waktu kirim yang berada diluar *time windows* maka node tersebut harus dikeluarkan rute dan diganti dengan node yang memiliki nilai Z_2 terbesar berikutnya. Pada rute 6 yang didapatkan, semua node berada dalam interval waktu (*time windows*) yang terdapat pada Tabel 4.9 sehingga tidak ada node yang dikeluarkan dari rute.

4.3.3 Perbaikan Rute dengan metode *Intra-Route Improvement*

Berdasarkan penentuan rute menggunakan metode *insertion heuristic*, didapatkan solusi awal yang terbentuk untuk pendistribusian barang yang terdapat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Rute Setelah Menggunakan Metode *Insertion Heuristic*

Rute	Urutan	Jarak (km)
1	G - J8 - J1- J7 - J4- J3- G	12,9
2	G - J10- J5- J2 - J17 - J19- J6- G	51,4
3	G- J18 - J16- J12- J15- J20 - J14 - G	112,1
4	G- J13- M4- J9- J21- M3 - G	185,9
5	G - M6- J11 - M8- M2 - M5-M1 -M7- G	172,1
6	G - N4 - N3 - N2- N5 - N1 - G	152,2
Total		686,6

Contoh perhitungan total jarak yang ditempuh pada rute 1 berdasarkan matriks jarak pada Gambar 4.1 adalah sebagai berikut.

$$\text{Jarak dari Gudang (G) ke Toko Comodore (J8)} = 5 \text{ km} \quad (1)$$

$$\text{Jarak dari Toko Comodore (J8) ke Toko Morodadi (J1)} = 1,2 \text{ km} \quad (2)$$

$$\text{Jarak dari Toko Morodadi (J1) ke Toko Tiga Putra (J7)} = 0,1 \text{ km} \quad (3)$$

$$\text{Jarak dari Toko Tiga Putra (J7) ke Toko Gajah Mada (J4)} = 0,5 \text{ km} \quad (4)$$

$$\text{Jarak dari Toko Gajah Mad (J4) ke Mitra Sukses (J3)} = 0,6 \text{ km} \quad (5)$$

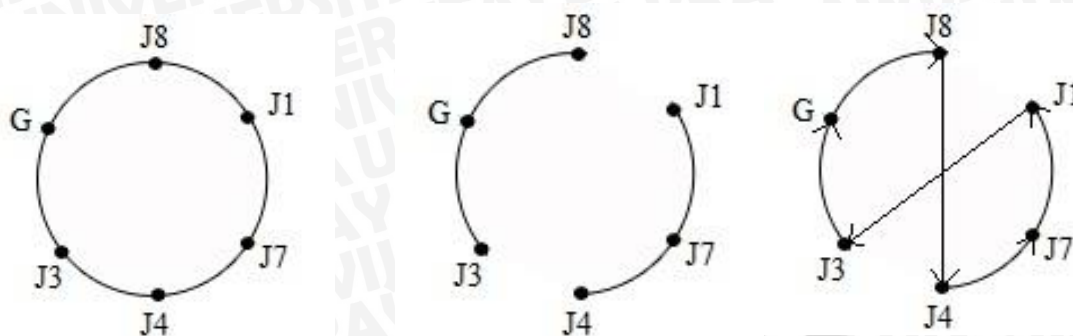
$$\text{Jarak dari Toko Mitra Sukses (J3) ke Gudang (G)} = 5,5 \text{ km} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{Total jarak} &= (1) + (2) + (3) + (4) + (5) + (6) \\ &= 5 + 1,2 + 0,1 + 0,5 + 0,6 + 5,5 = 12,9 \text{ km} \end{aligned}$$

Rute yang didapatkan dengan metode *insertion heuristic* mengalami perbaikan dengan menggunakan metode *intra-route improvement* yaitu 2-opt, 3-opt, dan Or-opt. Perbaikan solusi tersebut dilakukan dengan menukarkan letak node yang berada dalam satu solusi. Selama perpindahan terjadi, apabila solusi lebih baik ditemukan maka solusi yang terdahulu akan digantikan dengan solusi yang baru.

4.3.3.1 Metode 2-Opt

Metode 2-opt dilakukan dengan memindahkan dua jalur pada rute yang ada, kemudian menghubungkan kembali jalur tersebut dengan pasangan konsumen yang berbeda. Contoh solusi baru yang terbentuk pada rute 1 dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Solusi Baru 2- Opt pada Route 1

Pada Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa solusi awal yang terbentuk pada rute 1 menggunakan metode *insertion heuristic* adalah G-J8-J1-J7-J4-J3-G, kemudian 2 lintasan yaitu J8-J1 dan J4-J3 pada rute tersebut dihilangkan, sehingga lintasan yang terbentuk adalah J3-G-J8 dan J1-J7-J4, kedua lintasan tersebut digabungkan kembali dengan pasangan node yang berbeda, maka terbentuk rute baru yaitu G-J8-J4-J7-J1-J3-G. Beberapa rute baru yang terbentuk pada rute 1 dengan metode 2-Opt dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Rute 1 yang Terbentuk dengan Metode 2-Opt

No	Pemotongan	Rute <i>Insertion Heuristic</i>							Total Jarak (km)	Keterangan
		G	J8	J1	J7	J4	J3	G		
		G	J8	J1	J7	J4	J3	G	12,9	
Rute baru										
1	J8-J1, J3-G	G	J8	J3	J4	J7	J1	G	13	
2	J8-J1, J4-J3	G	J8	J4	J7	J1	J3	G	12,5	Rute dipilih
3	J8-J1, J7-J4	G	J8	J7	J1	J4	J3	G	12,8	
4	J1-J7, J3-G	G	J8	J1	J3	J4	J7	G	12,7	
5	J1-J7, J4-J3	G	J8	J1	J4	J7	J3	G	13,5	
6	J7-J4, J3-G	G	J8	J1	J7	J3	J4	G	13,1	
7	G-J8, J1-J7	G	J1	J8	J7	J4	J3	G	14,3	
8	G-J8, J7-J4	G	J7	J1	J8	J4	J3	G	14	
9	G-J8, J4-J3	G	J4	J7	J1	J8	J3	G	14,1	

Pada Tabel 4.14 dapat dilihat bahwa terdapat 9 rute baru yang terbentuk dengan metode 2-opt. Rute yang dipilih untuk menggantikan solusi awal adalah rute dengan total jarak yang lebih pendek dari rute awal dan sesuai dengan *time windows* yaitu rute dengan urutan G - J8 - J4 - J7 - J1 - J3 - G dengan total jarak 12,5 km. Selanjutnya rute baru yang didapatkan pada rute kedua sampai rute keenam dapat dilihat pada Lampiran 7. Berikut merupakan rute baru yang dapat menggantikan solusi awal.

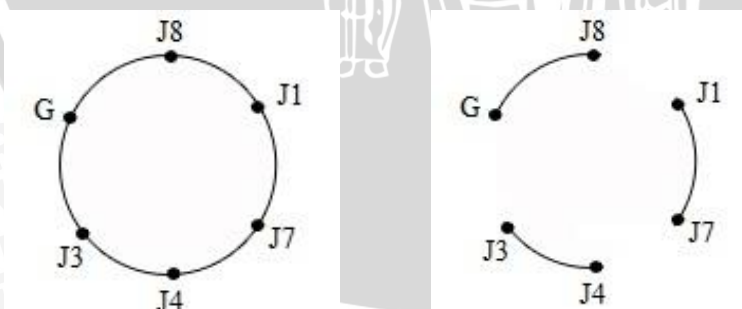
Tabel 4.15 Solusi Baru 2-Opt

	Rute	Pemotongan	Urutan	Total jarak(km)
1	<i>Insertion Heuristic</i>	-	G - J8 - J1- J7 - J4- J3- G	12,9
	2-opt	J8-J1, J4-J3	G - J8 - J4 - J7 - J1 - J3 - G	12,5
2	<i>Insertion Heuristic</i>	-	G - J10- J5- J2 - J17- J19- J6- G	51,4
	2-opt	J10-J5, J2-J17	G - J10 - J2 - J5 - J17 - J19 - J6 - G	47,4
3	<i>Insertion Heuristic</i>	-	G- J18 - J16- J12- J15- J20 - J14 - G	112,1
	2-opt	J18-J16, J15-J20	G - J18 - J15 - J12 - J16 - J20 - J14 - G	102,8
4	<i>Insertion Heuristic</i>	-	G- J13- M4- J9- J21- M3 - G	185,9
	2-opt	G-J13, M4-J9	G - M4- J13 - J9 - J21 - M3 - G	147,3
5	<i>Insertion Heuristic</i>	-	G - M6- J11 - M8- M2 - M5-M1 -M7- G	172,1
	2-opt	G-M6, M5-M1	G - M6 - J11 - M8 - M5 - M2 - M1 - M7 -G	160,2
6	<i>Insertion Heuristic</i>	-	G - N4 - N3 - N2- N5 - N1 - G	152,2
	2-opt	N3-N2, N5-N1	G - N4 - N3 - N5 - N2 - N1 - G	147,9

Dari Tabel 4.15 dapat dilihat bahwa solusi baru dengan metode 2 opt dapat menggantikan solusi awal karena total jarak yang didapatkan lebih pendek dari solusi awal. Pada rute 1 total jarak yang mulanya 12,9 km berkurang menjadi 12,5 km, rute 2 yang mulanya 51,4 km menjadi 47,4 km, rute 3 yang mulanya 112,1 km menjadi 102,8 km, rute 4 yang mulanya 185, 9 km menjadi 147,3 km, rute 5 yang mulanya 172,1 km menjadi 160,2 km, rute 6 yang mulanya 152,2 km menjadi 147,9 km.

4.3.3.2 Metode 3-Opt

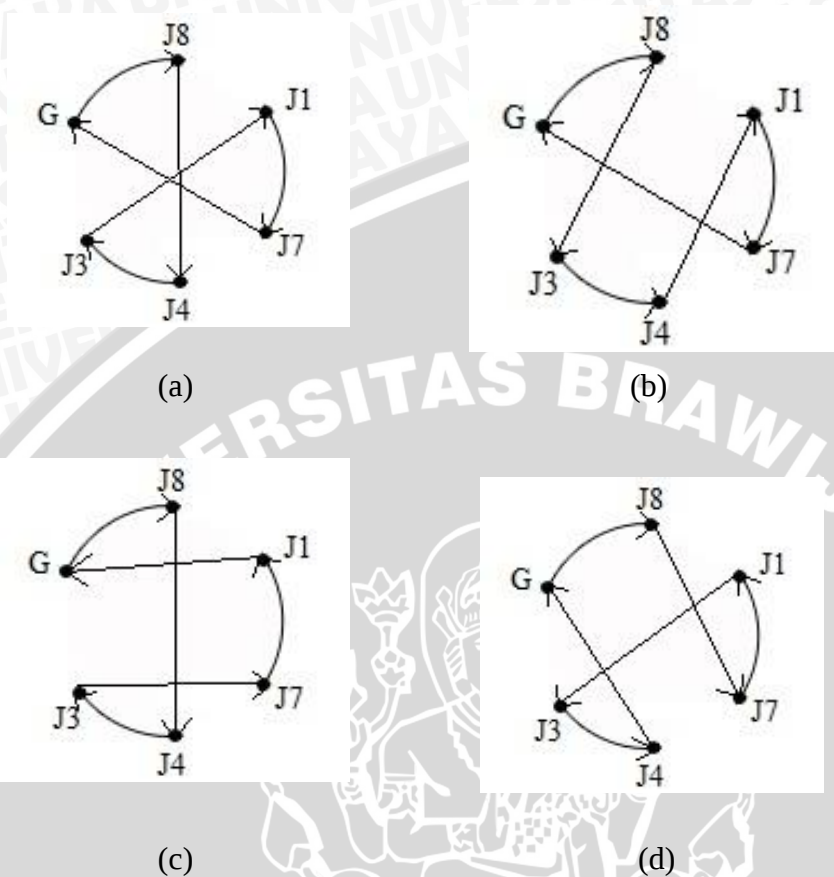
Metode 3-opt dilakukan dengan memindahkan tiga jalur pada rute yang ada, kemudian menghubungkan kembali jalur tersebut dan membentuk 4 solusi baru yang menjadi pertimbangan untuk memperbaiki solusi sebelumnya. Contoh solusi baru yang terbentuk pada rute 1 dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Lintasan Sementara Metode 3-Opt

Pada Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa solusi awal yang terbentuk pada rute 1 menggunakan metode *insertion heuristic* adalah G-J8-J1-J7-J4-J3-G, kemudian 3 lintasan yaitu J8-J1, J7-J4, dan J3-G pada rute tersebut dihilangkan, sehingga lintasan yang terbentuk

adalah G-J8, J1-J7, dan J4-J3, ketiga lintasan tersebut digabungkan kembali sedemikian rupa sehingga terbentuk empat solusi baru yang ditampilkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Solusi Baru 3-Opt

Pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa empat solusi baru yang terbentuk pada rute 1 menggunakan metode 3-opt adalah:

- Solusi baru I : G-J8-J4-J3-J1-J7-G
- Solusi baru II : G-J8-J3-J4-J1-J7-G
- Solusi baru I : G-J8-J4-J3-J7-J1-G
- Solusi baru II : G-J8-J7-J1-J3-J4-G

Beberapa rute baru yang terbentuk pada rute 1 dengan metode 3-Opt dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Rute 1 yang Terbentuk dengan Metode 3-Opt

No	Pemotongan	Rute <i>Insertion Heuristic</i>							Total Jarak (km)	Keterangan
		G	J8	J1	J7	J4	J3	G	12,9	
Rute Baru										
1	J8-J1, J7-J4, J3-G	G	J8	J4	J3	J1	J7	G	12,4	Rute dipilih
2		G	J8	J7	J1	J3	J4	G	12,3	Tidak sesuai <i>time windows</i>
3		G	J8	J4	J3	J7	J1	G	13,2	
4		G	J8	J3	J4	J1	J7	G	12,9	
5	G-J8, J1-J7, J4-J3	G	J7	J4	J8	J1	J3	G	13,9	
6		G	J1	J8	J4	J7	J3	G	14,7	
7		G	J7	J4	J1	J8	J3	G	14,4	
8		G	J4	J7	J8	J1	J3	G	13,8	

Pada Tabel 4.16 dapat dilihat bahwa terdapat 8 rute baru yang terbentuk dengan metode 3-opt. Rute yang dipilih untuk menggantikan solusi awal adalah rute dengan total jarak yang lebih pendek dari rute awal dan sesuai dengan *time windows*. Pada rute nomor 2 didapatkan total jarak yang paling pendek yaitu 12,3 km, namun rute tersebut tidak sesuai dengan *time windows*, sehingga rute tersebut tidak dapat menggantikan solusi awal. Rute selanjutnya yang dipilih adalah rute nomor 1 dengan total jarak 12,4 km, karena *time windows* sesuai dan total jarak lebih pendek dari rute awal sehingga rute tersebut dapat menggantikan solusi dengan urutan G - J8 - J4 - J3 - J1 - J7 - G. Rute baru yang didapatkan pada rute kedua sampai rute keenam dapat dilihat pada Lampiran 8. Berikut merupakan rute baru yang dapat menggantikan solusi awal.

Tabel 4.17 Solusi Baru dengan 3-Opt

Rute		Pemotongan	Urutan	Total jarak(km)
1	<i>Insertion Heuristic</i>	-	G - J8 - J1- J7 - J4- J3- G	12,9
	3-opt	J8-J1, J7-J4, J3-G	G - J8 - J4 - J3 - J1 - J7 - G	12,4
2	<i>Insertion Heuristic</i>	-	G - J10 - J5- J2 - J17 - J19- J6- G	51,4
	3-opt	J10-J5, J2-J17, J6-G	G - J10 - J2- J5 - J6 - J19 - J17- G	49,3
3	<i>Insertion Heuristic</i>	-	G- J18 - J16- J12- J15- J20 - J14 - G	112,1
	3-opt	J18-J16, J15-J20, J14-G	G - J18 - J15 - J12 - J16 - J14- J20- G	100,7
4	<i>Insertion Heuristic</i>	-	G- J13- M4- J9- J21- M3 - G	185,9
	3-opt	J13-M4, J9-J21, M6-G	G - J13 - J9 - M4 - M3 - J21 - G	154,3
5	<i>Insertion Heuristic</i>	-	G - M6- J11 - M8- M2 - M5-M1 -M7- G	172,1
	3-opt	G-M6, M8-M2, M5-M1	G - M8- J11- M6 - M5- M2- M1- M7 - G	166,5
6	<i>Insertion Heuristic</i>	-	G - N4 - N3 - N2- N5 - N1 - G	152,2
	3-opt	N4-N3, N2-N5, N1-G	G - N4 - N5 - N1 - N2 - N3 - G	157,3

Dari Tabel 4.17 dapat dilihat bahwa solusi baru dengan metode 3 opt dapat menggantikan solusi awal karena total jarak yang didapatkan lebih pendek dari solusi awal. Pada rute 1 total jarak yang mulanya 12,9 km berkurang menjadi 12,4 km, rute 2 yang

mulanya 51,4 km menjadi 49,3 km, rute 3 yang mulanya 112,1 km menjadi 100,7 km, rute 4 yang mulanya 185,9 km menjadi 154,3 km, rute 5 yang mulanya 172,1 km menjadi 166,5 km, namun pada rute 6 solusi baru yang didapatkan tidak dapat menggantikan solusi awal karena total jarak yang didapatkan tidak lebih pendek daripada solusi awal sehingga rute yang dipilih adalah solusi awal metode *insertion heuristic* dengan total jarak 152,2 km.

4.3.3.3 Metode Or-Opt

Metode Or-opt dilakukan dengan memindahkan lintasan yang berisi k node ($k=1,2,3,\dots,6$), kemudian menghubungkan kembali jalur tersebut untuk memperbaiki solusi sebelumnya. Contoh solusi baru yang terbentuk pada rute 1 dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Contoh Metode *Improvement Or-opt*

	K=4	K=3	K=2	K=1
Rute Awal	G - J8 - J1- J7 - J4- J3- G			
Lintasan terpilih	J8-J1-J7-J4	J8-J1-J7	J8-J1	J8
Contoh 1				
Node terpilih	J3	J3	J4	J7
Rute baru	G-J3- J8-J1-J7-J4-G	G-J3-J4-J8-J1-J7-G	G-J4-J7-J8-J1-J3-G	G-J7-J1-J8-J4-J3-G

Pada Tabel 4.18 dapat dilihat bahwa solusi awal yang terbentuk pada rute 1 menggunakan metode *insertion heuristic* adalah G-J8-J1-J7-J4-J3-G, kemudian lintasan terpilih yang berisi empat node, tiga node, dua node, dan satu node ($k=4,3,2,1$) dipindahkan atau ditukar dengan node yang terpilih. Untuk lintasan yang berisi empat node (J8-J1-J7-J4) ditukar dengan node J3 sehingga solusi baru yang terbentuk adalah G-J3-J8-J1-J7-J4-G. Untuk lintasan yang berisi tiga node (J8-J1-J7) ditukar dengan node J3 sehingga solusi baru yang terbentuk adalah G-J3-J4-J8-J7-J7-G. Untuk lintasan yang berisi dua node (J8-J1) ditukar dengan node J4 sehingga solusi baru yang terbentuk adalah G-J4-J7-J8-J1-J3-G. Untuk lintasan yang berisi satu node (J8) ditukar dengan node J7 sehingga solusi baru yang terbentuk adalah G-J7-J1-J8-J4-J3-G. Beberapa rute baru yang terbentuk pada rute 1 dengan metode Or-Opt dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Rute 1 yang Terbentuk dengan Metode Or-Opt

K	Lintasan Terpilih				Node sisa yang terpilih untuk digantikan	No.	Rute Insertion Heuristic							Total Jarak (km)	Keterangan
							G	J8	J1	J7	J4	J3	G		
							G	J8	J1	J7	J4	J3	G	12,9	
4	J8	J1	J7	J4	J3	1	G	J3	J8	J1	J7	J4	G	14,1	
	J1	J7	J4	J3	J8	2	G	J1	J7	J4	J3	J8	G	12,9	
3	J8	J1	J7		J4	3	G	J4	J8	J1	J7	J3	G	14,3	
					J3	4	G	J3	J4	J8	J1	J7	G	14	
	J1	J7	J4		J8	5	G	J1	J7	J4	J8	J3	G	14,2	
					J3	6	G	J8	J3	J1	J7	J4	G	12,5	
	J7	J4	J3		J8	7	G	J7	J4	J3	J1	J8	G	12,7	
					J1	8	G	J8	J7	J4	J3	J1	G	12,7	
2	J8	J1			J7	9	G	J7	J8	J1	J4	J3	G	14,2	
					J4	10	G	J4	J7	J8	J1	J3	G	13,8	
					J3	11	G	J3	J7	J4	J8	J1	G	14,7	
	J1	J7			J8	12	G	J1	J7	J8	J4	J3	G	14	
					J4	13	G	J8	J4	J1	J7	J3	G	13,2	
					J3	14	G	J8	J3	J4	J1	J7	G	12,9	
	J7	J4			J8	15	G	J7	J4	J1	J8	J3	G	14,3	
					J1	16	G	J8	J7	J4	J1	J3	G	12,7	
					J3	17	G	J8	J1	J3	J7	J4	G	13	
	J4	J3			J8	18	G	J4	J3	J1	J7	J8	G	12,3	Tidak sesuai <i>time windows</i>
					J1	19	G	J8	J4	J3	J7	J1	G	13,2	
					J7	20	G	J8	J1	J4	J3	J7	G	13,4	
1	J8				J1	21	G	J1	J8	J7	J4	J3	G	14,3	
					J7	22	G	J7	J1	J8	J4	J3	G	14	
					J4	23	G	J4	J1	J7	J8	J3	G	14	
					J3	24	G	J3	J1	J7	J4	J8	G	12,5	Tidak sesuai <i>time windows</i>
	J1				J7	25	G	J8	J7	J1	J4	J3	G	12,8	
					J4	26	G	J8	J4	J7	J1	J3	G	12,5	Rute dipilih
					J3	27	G	J8	J3	J7	J4	J1	G	13,6	
	J7				J4	28	G	J8	J1	J4	J7	J3	G	13,5	
					J3	29	G	J8	J1	J3	J4	J7	G	12,7	
	J4				J3	30	G	J8	J1	J7	J3	J4	G	13,1	

Pada Tabel 4.19 dapat dilihat bahwa terdapat 30 rute baru yang terbentuk dengan metode Or-opt. Rute yang dipilih untuk menggantikan solusi awal adalah rute dengan total jarak yang lebih pendek dari rute awal dan sesuai dengan *time windows*. Pada rute nomor 24 didapatkan total jarak yang paling pendek yaitu 12,3 km, namun rute tersebut tidak sesuai dengan *time windows*, sehingga rute tersebut tidak dapat menggantikan solusi awal. Begitupula dengan rute nomor 24 dengan total jarak 12,5 km tidak dapat dipilih untuk menggantikan solusi awal karena tidak sesuai dengan *time windows*. Rute selanjutnya yang dipilih adalah rute nomor 26 dengan total jarak 12,5 km, karena *time windows* sesuai dan

total jarak lebih pendek dari rute awal sehingga rute tersebut dapat menggantikan solusi dengan urutan G - J8 - J4 - J7 - J1 - J3 - G. Rute baru yang didapatkan pada rute kedua sampai rute keenam dapat dilihat pada Lampiran 9. Berikut merupakan rute baru yang dapat menggantikan solusi awal.

Tabel 4.20 Solusi Baru dengan Or-Opt

Rute		Urutan	Total jarak(km)
1	<i>Insertion Heuristic</i>	G - J8 - J1- J7 - J4- J3- G	12,9
	Or-opt	G - J8 - J4 - J7 - J1 - J3 - G	12,5
2	<i>Insertion Heuristic</i>	G - J10- J5- J2 - J17 - J19- J6- G	51,4
	Or-opt	G - J17 - J5 - J2 - J10 - J19 - J6 - G	40,4
3	<i>Insertion Heuristic</i>	G- J18 - J16- J12- J15- J20 - J14 - G	112,1
	Or-opt	G - J18 - J15 - J16 - J12 - J20 - J14 - G	99,1
4	<i>Insertion Heuristic</i>	G- J13- M4- J9- J21- M3 - G	185,9
	Or-opt	G - M4 - J13 - J9 - J21 - M3 - G	147,3
5	<i>Insertion Heuristic</i>	G - M6- J11 - M8- M2 - M5-M1 -M7- G	172,1
	Or-opt	G - M6 - J11 - M8 - M5 - M2 - M1 - M7 - G	160,2
6	<i>Insertion Heuristic</i>	G - N4 - N3 - N2- N5 - N1 - G	152,2
	Or-opt	G - N4 - N3 - N5 - N2 - N1 - G	148,9

Dari Tabel 4.20 dapat dilihat bahwa solusi baru dengan metode Or-opt dapat menggantikan solusi awal karena total jarak yang didapatkan lebih pendek dari solusi awal. Pada rute 1 total jarak yang mulanya 12,9 km berkurang menjadi 12,5 km, rute 2 yang mulanya 51,4 km menjadi 40,4 km, rute 3 yang mulanya 112,1 km menjadi 98,1 km, rute 4 yang mulanya 185, 9 km menjadi 147,3 km, rute 5 yang mulanya 172,1 km menjadi 160,2 km, rute 6 yang mulanya 152,2 km menjadi 148,9 km.

4.3.4 Solusi Akhir

Berdasarkan perbaikan rute yang telah dilakukan, rute yang dipilih adalah rute yang memiliki total jarak tempuh terkecil. Perbandingan rute dengan berbagai prosedur dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Perbandingan Total Jarak Tempuh

Rute	Metode	Urutan	Total Jarak (km)
1	<i>Insertion Heuristic</i>	G - J8 - J1- J7 - J4- J3- G	12,9
	2-Opt	G - J8 - J4 - J7 - J1 - J3 - G	12,5
	3-Opt	G - J8 - J4 - J3 - J1 - J7 - G	12,4
	Or-Opt	G - J8 - J4 - J7 - J1 - J3 - G	12,5
2	<i>Insertion Heuristic</i>	G - J10- J5- J2 - J17 - J19- J6- G	51,4
	2-Opt	G - J10 - J2 - J5 - J17 - J19 - J6 - G	47,4
	3-Opt	G - J10 - J2- J5 - J6 - J19 - J17- G	49,3
	Or-Opt	G - J17 - J5 - J2 - J10 - J19 - J6 - G	40,4
3	<i>Insertion Heuristic</i>	G- J18 - J16- J12- J15- J20 - J14 - G	112,1
	2-Opt	G - J18 - J15 - J12 - J16 - J20 - J14 - G	102,8
	3-Opt	G - J18 - J15 - J12 - J16 - J14- J20- G	100,7
	Or-Opt	G - J18 - J15 - J16 - J12 - J20 - J14 - G	99,1
4	<i>Insertion Heuristic</i>	G- J13- M4- J9- J21- M3 - G	185,9
	2-Opt	G - M4- J13 - J9 - J21 - M3 - G	147,3
	3-Opt	G - J13 - J9 - M4 - M3 - J21 - G	154,3
	Or-Opt	G - M4 - J13 - J9 - J21 - M3 - G	147,3
5	<i>Insertion Heuristic</i>	G - M6- J11 - M8- M2 - M5-M1 -M7- G	172,1
	2-Opt	G - M6 - J11 - M8 - M5 - M2 - M1 - M7 -G	160,2
	3-Opt	G - M8- J11 - M6 - M5 - M2 - M7 - G	166,5
	Or-Opt	G - M6 - J11 - M8 - M5 - M2 - M1 - M7 - G	160,2
6	<i>Insertion Heuristic</i>	G - N4 - N3 - N2- N5 - N1 - G	152,2
	2-Opt	G - N4 - N3 - N5 - N2 - N1 - G	147,9
	3-Opt	G - N4 - N3 - N2 - 33 - N1 - G	152,2
	Or-Opt	G - N4 - N3 - N5 - N2 - N1 - G	148,9

Berdasarkan Tabel 4.21 dapat dilihat bahwa pada rute 1, penentuan rute paling efisien adalah menggunakan metode perbaikan 2 opt dengan total jarak sebesar 12,4 km. Pada rute 2, rute yang paling efisien adalah menggunakan metode perbaikan or-opt dengan total jarak sebesar 40,4km. Pada rute 3, rute yang paling efisien adalah menggunakan metode perbaikan or-opt dengan total jarak sebesar 99,1km. Pada rute 4, rute yang terpilih adalah rute dengan metode perbaikan 2-opt dan or-opt dengan total jarak sebesar 147,3km. Pada Rute 4 ini pendistribusian barang dilakukan mulai dari gudang (G) ke toko Leo (M6) yang berada di Mojokerto lalu ke toko Sholikin (J11) yang berada di Jombang. Hal ini dikarenakan toko Leo (M6) yang mempunyai *time windows* yang paling singkat. Urutan Rute tersebut tidak dapat di tukar karena kendala *time windows* sehingga untuk rute 4 yang terpilih adalah G – M4 – J13 – J9 – J21 – M3 – G. Pada rute 4 hasil dari metode *improvement* 2-opt dan or-opt menghasilkan rute yang sama, hal ini dikarenakan pemindahan node dengan metode 2-opt maupun or-opt mempunyai urutan yang paling optimal untuk rute 4 yang sama yaitu berjarak

147,3km. Hal itu jg dilihat pada *time windows* yang sesuai dan tidak ada yang melebihi jam buka tutup konsumen grosir. Begitu juga pada rute 5, rute yang terpilih adalah rute dengan metode perbaikan 2-opt dan or-opt dengan total jarak sebesar 160,2km. Pada rute 6, rute yang paling efisien adalah menggunakan metode perbaikan 2-opt dengan total jarak sebesar 147,9km. Namun, pada rute 5 pengiriman mengalami *backward* (G-M6-J11-M8) sehingga agar lebih efisien sebaiknya dilakukan pertukaran antar node M6 dan J11 sehingga urutan node menjadi G-J11-M6-M8-M5-M2-M1-M7-G dan total jarak menjadi:

Jarak dari Gudang (G) ke Toko Sholikin (J11) = 27,1 km (1)

Jarak dari Toko Gajah Mada (J11) ke Toko Leo (M6) = 19,7 km (2)

Jarak dari Toko Leo (M6) ke Toko Gatot (M8) = 22 km (3)

Jarak dari Toko Gatot (M8) ke Toko Pak Soleh (M5) = 6 km (4)

Jarak dari Toko Pak Soleh (M5) ke Toko Samudra Snack (M2) = 4,4 km (5)

Jarak dari Toko Samudra Snack (M2) ke Toko Sido Gede (M1) = 9,1 km (6)

Jarak dari Toko Sido Gede (M1) ke Toko Imam Snack (M7) = 18 km (7)

Jarak dari Toko Imam Snack (M7) ke Gudang (G) = 47,3 km (8)

Total jarak = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) + (6) + (7)
 = 27,1 + 19,7 + 22 + 6 + 4,4 + 9,1 + 18 + 47,3 = 153,6 km

Tabel 4.22 menunjukkan perbandingan antara rute 5 yang terpilih dengan rute yang mengalami perubahan.

Tabel 4.22 Perbandingan Rute 5

	Rute 5 dengan <i>improvement</i>	Rute 5 setelah ditukar
Urutan	G – M6 – J11 – M8 – M5 – M2 – M1 – M7 – G	G – J11 – M6 – M8 – M5 – M2 – M1 – M7 – G
Jarak (km)	160,2	153,6

Pada Tabel 4.22 diketahui bahwa perubahan rute baru yang dilakukan memiliki total jarak lebih pendek yaitu 153,6 km dibanding rute sebelumnya dengan total jarak 160,2 km sehingga rute yang terpilih adalah rute dengan pergantian node. Maka, rute distribusi barang yang baru dapat dilihat pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Rute Distribusi Baru

Rute	Urutan	Jarak (km)
1	G – J8 – J4 – J3 – J1 – J7 – G	12,4
2	G – J17 – J5 – J2 – J10 – J19 – J6 – G	40,4
3	G – J18 – J15 – J16 – J12 – J20 – J14 – G	99,1
4	G – M4 – J13 – J9 – J21 – M3 – G	147,3
5	G – J11 – M6 – M8 – M5 – M2 – M1 – M7 – G	153,6
6	G – N4 – N3 – N5 – N2 – N1 – G	147,9
	Total	600,7

Pada Tabel 4.23 dapat diketahui bahwa pada rute distribusi *existing* didapatkan jarak tempuh untuk rute adalah 12,4 km, jarak tempuh untuk rute 2 sebesar 40,4 km, jarak tempuh untuk rute 3 sebesar 99,1 km, jarak tempuh untuk rute 4 sebesar 147,3 km, jarak tempuh untuk rute 5 sebesar 153,6 km, jarak tempuh untuk rute 6 sebesar 147,9 km, sehingga total jarak pendistribusian pada rute akhir yang terbentuk adalah sebesar 600,7 km. Peta rute distribusi baru dapat dilihat pada Lampiran 12.

4.3.5 Perhitungan Total Waktu Distribusi Baru

Perhitungan total waktu distribusi ini merupakan waktu distribusi setelah penggunaan metode *insertion heuristic* dan metode *intra-route improvement* dari rute yang paling efisien. Waktu *set up* dilakukan setiap harinya selama 15 sebelum kendaraan berangkat untuk memastikan kondisi kendaraan. Waktu pelayanan di setiap toko didapatkan dari waktu *unloading* barang selama 30 menit ditambah waktu untuk parkir kendaraan dan melakukan pengecekan dokumen selama 10 menit. Tabel 4.24 menunjukkan perhitungan total waktu distribusi untuk rute baru yang terbentuk. Contoh perhitungan total waktu distribusi pada rute baru untuk rute 1 adalah sebagai berikut.

Waktu *set up* kendaraan = 15 menit = 0,25 jam

Waktu pelayanan = 40 menit

Total waktu pelayanan untuk 1 rute = jumlah toko × waktu pelayanan
 = 5 toko × 40 menit
 = 200 menit = 3,33 jam

Waktu tempuh = $\frac{\text{jarak tempuh}}{\text{kecepatan rata-rata kendaraan}}$
 = $\frac{12,4\text{km}}{50 \text{ km/jam}} = 0,25 \text{ jam}$

Total waktu distribusi rute 1 = waktu *set up* + total waktu pelayanan + waktu tempuh
 = 0,25 jam + 3,33 jam + 0,25 jam = 3,83 jam

Tabel 4.24 Perhitungan Total Waktu Distribusi Rute Baru

Rute	Jarak (km)	Waktu Set Up Kendaraan (jam)	Waktu Pelayanan (jam)	Waktu tempuh (jam)	Total waktu distribusi (jam)
1	12,4	0,25	3,33	0,25	3,83
2	40,4	0,25	4	0,81	5,06
3	99,1	0,25	4	1,98	6,23
4	147,3	0,25	3,33	2,95	6,53
5	153,6	0,25	4,67	3,07	7,99
6	147,9	0,25	3,33	2,96	6,54
Total				12,02	36,18
Rata-rata				2,003	6,03

Pada Tabel 4.24 dapat diketahui bahwa pada rute baru waktu tempuh yang dibutuhkan untuk rute 1 adalah 3,83 jam. Pada rute 2, waktu tempuh perjalanan yang dibutuhkan adalah 0,81 jam dan total waktu distribusinya adalah 5,06 jam. Pada rute 3, waktu tempuh perjalanan yang dibutuhkan adalah 1,98 jam dan total waktu distribusinya adalah 6,23 jam. Pada rute 4, waktu tempuh perjalanan yang dibutuhkan adalah 2,95 jam dan total waktu distribusinya adalah 6,53 jam. Pada rute 5, waktu tempuh perjalanan yang dibutuhkan adalah 3,07 jam dan total waktu distribusinya adalah 7,99 jam. Pada rute 6, waktu tempuh perjalanan yang dibutuhkan adalah 2,96 jam dan total waktu distribusinya adalah 6,54 jam. Sehingga total waktu distribusi keseluruhan untuk rute akhir adalah 36,18 jam dan rata-rata waktu distribusi perharinya adalah 6,03 jam.

4.3.6 Perhitungan Biaya Transportasi

Biaya transportasi merupakan biaya yang harus dikeluarkan oleh CV Angkasa Leather untuk melakukan pengiriman barang yang meliputi biaya bahan bakar dan biaya tenaga kerja. Biaya bahan bakar dihitung berdasarkan total jarak yang ditempuh. Berdasarkan hasil wawancara dengan *driver*, satu liter solar dapat menempuh jarak 9 km. Harga untuk satu liter solar adalah sebesar Rp. 6.900. Biaya tenaga kerja meliputi gaji *driver* dan kernet. Rekap perhitungan biaya transportasi disajikan pada Tabel 4.25. Contoh perhitungan biaya transportasi untuk rute 1 adalah sebagai berikut.

$$\text{Bahan bakar yang dibutuhkan} = \frac{\text{jarak tempuh}}{9 \text{ km/liter}} = \frac{12,4 \text{ km}}{9 \text{ km/liter}} = 1,38$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya bahan bakar} &= \text{Bahan bakar yang dibutuhkan} \times \text{harga solar per liter} \\ &= 1,38 \times \text{Rp. 6.900} = \text{Rp 9.522,-} \end{aligned}$$

$$\text{Biaya driver} = \text{gaji per hari} = \text{Rp 70.000,-}$$

$$\text{Biaya kernet} = \text{gaji per hari} = \text{Rp. 70.000,-}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya transportasi} &= \text{biaya bahan bakar} + \text{biaya driver} + \text{biaya kernet} \\ &= \text{Rp 9.522} + \text{Rp 70.000} + \text{Rp 70.000} = \text{Rp 149.522,-} \end{aligned}$$

Tabel 4.25 Biaya Transportasi untuk Rute Baru

Rute	Jarak (km)	Bahan Bakar yang dibutuhkan (liter)	Biaya bahan bakar (Rp)	Biaya driver (Rp)	Biaya Kernet (Rp)	Biaya transportasi (Rp)
1	12,4	1,38	9522	70.000	70.000	149.522
2	40,4	4,49	30981	70.000	70.000	170.981
3	99,1	11,01	75969	70.000	70.000	215.969
4	147,3	16,37	112953	70.000	70.000	252.953
5	153,6	17,07	117783	70.000	70.000	257.783
6	147,9	16,43	113367	70.000	70.000	253.367
TOTAL						1.300.575

Pada Tabel 4.25 diketahui bahwa pada rute 1 biaya transportasi yang dikeluarkan adalah sebesar Rp. 149.522, pada rute 2 biaya yang dikeluarkan sebesar Rp. 170.981, pada rute 3 biaya yang dikeluarkan sebesar Rp. 215.969, pada rute 4 biaya yang dikeluarkan sebesar Rp. 252.953, pada rute 5 biaya yang dikeluarkan sebesar Rp. 257.783, pada rute 6 biaya yang dikeluarkan sebesar Rp. 253.367, sehingga total biaya yang dikeluarkan CV Angkasa Leather untuk melakukan pengiriman barang perminggunya sebesar Rp. 1.300.575.

4.3.7 Penjadwalan Distribusi

Setelah didapatkan rute distribusi dengan menggunakan metode *insertion heuristic* dan metode *intra-route improvement*, selanjutnya dilakukan penjadwalan distribusi barang. Dengan melakukan penjadwalan kendaraan, maka bisa diketahui kapan kendaraan yang digunakan akan pergi dan datang kembali ke gudang juga mengetahui kapan kendaraan sampai di setiap toko sesuai jam buka toko sehingga tidak terjadi keterlambatan pengiriman. Penjadwalan distribusi untuk masing-masing rute dapat dilihat pada Tabel 4.26 dan Tabel 4.27.

Tabel 4.26 Penjadwalan Distribusi Rute 1 – Rute 4

Rute 1								
	G	J8	J4	J3	J1	J7	G	
Waktu tempuh(menit)	-	6	2	1	1	1	6	
Time windows (pukul)		7.00-10.30	08.00-11.30	7.30-12.00	8.00-12.00	7.00-12.00		
Tiba (pukul)		08.21	09.03	09.44	10.25	11.06	11.52	
Waktu pelayanan (menit)	-	40	40	40	40	40	-	
Berangkat (pukul)	08.15	09.01	09.43	10.24	11.05	11.46	-	
Rute 2								
	G	J17	J5	J2	J10	J19	J6	G
Waktu tempuh(menit)	-	9	4	4	9	3	5	14
Time windows (pukul)		08.00-15.00	7.30-11.30	08.00-11.00	7.00-11.00	8.00-14.00	9.00-16.00	
Tiba (pukul)	-	08.24	09.08	09.52	10.41	11.24	12.09	13.03
Waktu pelayanan (menit)	-	40	40	40	40	40	40	-
Berangkat (pukul)	08.15	09.04	09.48	10.32	11.21	12.04	12.49	-
Rute 3								
	G	J18	J15	J16	J12	J20	J14	G
Waktu tempuh(menit)	-	10	7	13	12	32	19	26
Time windows (pukul)		7.00-11.00	8.00-12.00	7.30-12.00	8.00-11.30	8.00-13.00	8.00-16.00	
Tiba (pukul)	-	08.25	09.12	10.05	10.57	12.09	13.08	14.14
Waktu pelayanan (menit)	-	40	40	40	40	40	40	-
Berangkat (pukul)	08.15	09.05	09.52	10.45	11.37	12.49	13.48	-
Rute 4								
	G	M4	J13	J9	J21	M3	G	
Waktu tempuh(menit)	-	17	46	15	20	45	34	
Time windows (pukul)		8.00-11.30	8.00-11.30	7.00-12.00	9.00-16.00	8.00-16.00		
Tiba (pukul)	-	08.32	09.58	10.53	11.53	13.18	14.32	
Waktu pelayanan (menit)	-	40	40	40	40	40	-	
Berangkat (pukul)	08.15	09.12	10.38	11.33	12.33	14.58	-	

Tabel 4.27 Penjadwalan Distribusi Rute 5 – Rute 6

Rute 5									
	G	J11	M6	M8	M5	M2	M1	M7	G
Waktu tempuh(menit)	-	33	24	26	7	5	11	22	57
Time windows (pukul)		8.30-11.30	7.00-12.00	7.00-13.00	8.00-14.00	8.00-16.00	8.00-15.00	8.00-16.00	
Tiba (pukul)	-	08.48	09.52	10.58	11.45	12.30	13.21	14.23	16.00
Waktu pelayanan (menit)	-	40	40	40	40	40	40	40	-
Berangkat (pukul)	08.15	09.28	10.32	11.38	12.25	13.10	14.01	15.03	-
Rute 6									
	G	N4	N3	N5	N2	N1	G		
Waktu tempuh(menit)	-	53	38	22	5	7	55		
Time windows (pukul)		8.00-12.00	7.30-14.00	7.30-14.00	7.30-16.00	08.00-16.00			
Tiba (pukul)	-	09.08	10.26	11.28	12.13	13.00	14.35		
Waktu pelayanan (menit)	-	40	40	40	40	40	-		
Berangkat (pukul)	08.15	09.48	11.06	12.08	12.53	13.40	-		

Berdasarkan jadwal distribusi pada Tabel 4.26 untuk rute 1, kendaraan berangkat dari gudang pada pukul 08.15 dan sampai di Toko Comodore (J8) pada pukul 08.21 dengan menempuh perjalanan selama 6 menit. *Driver* dan kernet melakukan *unloading* barang dan pengecekan dokumen selama 40 menit pada Toko Comodore (J8) kemudian melanjutkan perjalanan ke Toko Gajah Mada (J4) pada pukul 09.01. Dengan menempuh perjalanan selama 2 menit maka kendaraan sampai di Gajah Mada (J4) pada pukul 09.03 selanjutnya melakukan kegiatan *unloading* barang dan pengecekan dokumen selama 40 menit. Kendaraan berangkat dari Gajah Mada (J4) ke Toko Mitra Sukses (J3) pada pukul 09.43 dan sampai di Toko Mitra Sukses (J3) pada pukul 09.44, kemudian *driver* dan kernet melakukan kegiatan *unloading* barang dan pengecekan dokumen selama 40 menit. Lalu kendaraan melanjutkan pengiriman barang ke Toko Morodadi (J1) pada pukul 10.24 dan sampai di Toko Morodadi (J1) pada pukul 10.25. Setelah kegiatan *unloading* barang selesai kendaraan melanjutkan pengiriman barang ke Toko Tiga Putra (J7) pada pukul 11.05. Kendaraan tiba di Toko Tiga Putra (J7) pada pukul 11.06 dan langsung melakukan *unloading* barang dan pengecekan dokumen selama 40 menit. Setelah itu, kendaraan berangkat dari Toko Tiga Putra (J7) pada pukul 11.46 dan tiba di gudang pada pukul 11.52. Pada rute 2, pendistribusian barang dilakukan sampai pukul 13.03, untuk rute 3 pendistribusian barang dilakukan sampai pukul 14.14, untuk rute 4 pendistribusian barang dilakukan sampai pukul 14.32.

Pada Tabel 4.27 untuk rute 5 pendistribusian barang dilakukan sampai pukul 16.00 dan untuk rute 6 pendistribusian barang dilakukan sampai pukul 14.35. Jadwal tersebut merupakan jadwal pendistribusian selama satu Minggu.

4.4 Pembahasan

Berdasarkan perhitungan dan pengolahan data, penggunaan metode *Insertion Heuristic* dapat memberikan usulan rute alternatif bagi CV Angkasa Leather. Rute yang dibentuk diperoleh dengan pembentukan rute dan dilakukan perbaikan menggunakan metode 2-opt, 3-opt dan or-opt. Pada tahap awal pembuatan rute dengan metode *insertion heuristic* diperlukan pembuatan matriks jarak dan matriks waktu tempuh untuk mengidentifikasi jarak dan waktu tempuh antar pelanggan dan jarak dari pelanggan ke gudang. Kemudian dilakukan perhitungan penghematan jarak dan waktu tempuh yang digunakan untuk menentukan urutan node yang disisipkan didalam rute yang sesuai dengan kapasitas kendaraan juga *time windows* di setiap node/toko. Hasil dari proses pengalokasian pelanggan ke dalam rute adalah terbentuknya 6 rute dari 34 pelanggan CV Angkasa Leather.

Keenam rute yang telah terbentuk selanjutnya dilakukan perbaikan dengan metode 2-opt, 3-opt, dan or-opt untuk mendapatkan solusi yang lebih efisien. Ketiga metode tersebut dilakukan dengan menghilangkan lintasan dan digabungkan sedemikian rupa sehingga membentuk rute yang baru. Rute yang dipilih adalah rute dengan jarak yang lebih pendek dari rute awal yang terbentuk dan sesuai dengan *time windows* di setiap toko karena total jarak yang lebih pendek dapat mengurangi total waktu distribusi dan biaya transportasi.

Tabel 4.28 Perbandingan Rute *Existing* dan Rute Baru

Rute	Awal (<i>Existing</i>)	Jarak	Baru	Jarak
1	G- J4- J3 - J14 - J21 - N5 - N2 - G	169,4	G - J8 - J4 - J3 - J1 - J7 - G	12,4
2	G - J2 - J9 - M4 - M5 - M2 - G	121,9	G - J17 - J5 - J2 - J10 - J19 - J6 - G	40,4
3	G - J1- J15 - M6 - M1 - M8 - M7 - G	155,7	G - J18 - J15 - J16 - J12 - J20 - J14 - G	99,1
4	G - J5 - J6 - J10 - J12 - N1 - G	124,8	G - M4- J13 - J9 - J21 - M3 - G	147,3
5	G - J8 - J7 - J16 - J13 - J11 - M3 - G	126,2	G - J11 - M6 - M8 - M5 - M2 - M1 - M7 -G	153,6
6	G - N4- N3 - J20 - J18 - J17 - J19 - G	176,1	G - N4 - N3 - N5 - N2 - N1 - G	147,9
	TOTAL	874,1	TOTAL	600,7

Pada Tabel 4.28 dapat dilihat bahwa pada rute awal (*existing*) disusun berdasarkan pengalaman *driver* tanpa memperhatikan jarak tempuh dan waktu tempuh sehingga pada rute awal yang terbentuk di setiap rutenya terdapat toko dengan wilayah pengiriman yang berbeda. Pada rute pertama terdapat Toko Pak Matori (N5) dan Toko Pak Agus (N2) yang berada di Nganjuk diantara toko-toko yang berada di wilayah Jombang. Pada rute kedua terdapat Toko Sri Asih (J2) dan Toko Lintang (J9) yang berada di Jombang diantara toko-toko yang berada di wilayah Mojokerto. Pada rute ketiga juga terdapat Toko Pak Morodadi (J1) dan Toko MT (J15) yang berada di Jombang diantara toko-toko yang berada di wilayah Mojokerto. Pada rute keempat terdapat toko Toko 99 (N1) yang berada di

Nganjuk diantara toko-toko yang berada di wilayah Jombang. Pada rute kelima terdapat Toko Bu Riana (M3) di wilayah Mojokerto diantara toko-toko yang berada di wilayah Jombang. Pada rute keenam terdapat Toko Mustain (N4) dan Toko Harsono (N3) yang berada di Nganjuk diantara toko-toko yang berada di wilayah Jombang. Sehingga pada rute awal (*existing*) total jarak yang ditempuh untuk pendistribusian barang tiap minggunya adalah 874,1 km.

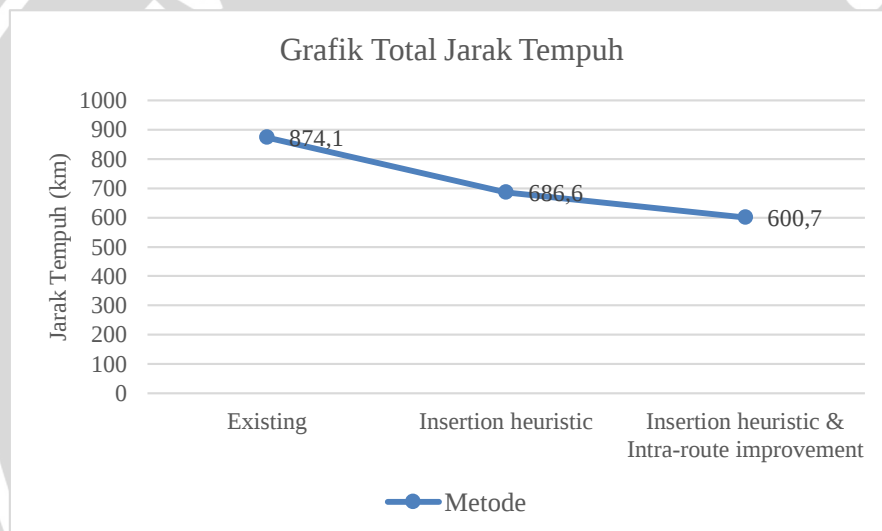
Sedangkan untuk rute baru yang didapat menggunakan metode *insertion heuristic* dan metode *intra-route improvement*, didapatkan rute dengan memperhitungkan jarak tempuh dan waktu tempuh. Rute pertama yang didapatkan merupakan toko-toko dengan jarak terdekat dengan gudang dimana gudang tersebut berada di Jombang, sehingga semua toko yang termasuk didalamnya merupakan toko-toko yang berada di wilayah Jombang. Begitupula pada rute kedua dan ketiga toko-toko yang termasuk didalam rute tersebut merupakan toko-toko yang berada di wilayah Jombang. Pada rute keempat, pengiriman diawali pada Toko Hoki Jaya (M4) di wilayah Mojokerto dikarenakan Toko Hoki Jaya (M4) memiliki durasi yang paling singkat dibandingkan toko lainnya sehingga pengiriman barang pada toko tersebut harus didahulukan kemudian dilanjutkan ke toko Khoirul (J13), toko Lintang (J9), toko Pujiatin (J21) yang berada di wilayah Jombang san kembali ke toko Bu Riana (M3) yang berada di Mojokerto. Pada Rute 4 ini terjadi pengiriman *backward*, namun urutan rute tersebut tidak dapat ditukar atau diperbaiki karena kendala *time windows*, sehingga urutan yang paling efisien adalah G – M4 – J13 – J9 – J21 – M3 – G. Pada rute kelima, pengiriman dilakukan pada toko Sholikin (J11) lalu di lanjutkan ke toko-toko di wilayah Mojokerto. Pada rute keenam pengiriman hanya dilakukan pada toko di wilayah Nganjuk. Sehingga pada rute baru, total jarak yang ditempuh untuk pendistribusian barang tiap minggunya adalah 600,7 km.

Dari hasil perhitungan data akhir menggunakan metode *insertion heuristic* dan metode *intra-route improvement*, maka bisa dilakukan perbandingan antara hasil kondisi awal perusahaan dan hasil setelah dilakukan penentuan rute baru dengan metode *insertion heuristic* dan *improvement*. Faktor yang dibandingkan antara lain, jarak tempuh, waktu tempuh, dan biaya transportasi. Perbandingan hasil perhitungan disajikan pada Tabel 4.29.

Tabel 4.29 Perbandingan Hasil Perhitungan

No	Faktor	Nilai Awal	Nilai Akhir	Jumlah Penurunan	Persentase Penurunan
1	Total Jarak Tempuh (km)	874,1	600,7	273,4	31,2%
2	Waktu Tempuh (jam/minggu)	17,48	12,02	5,46	31,2%
3	Biaya Transportasi (Rp/minggu)	1.503.228	1.300.575	202.653	13,48%

Berdasarkan Tabel 4.29 dapat diketahui bahwa jarak tempuh kendaraan mampu diperpendek sebesar 273,4 km atau sebesar 31,2% dari jarak tempuh awal. Penurunan jarak tempuh juga akan mempercepat waktu tempuh karena jarak yang ditempuh semakin pendek. Waktu tempuh perjalanan mampu dipercepat selama 5,46 jam dengan persentase penurunan sebesar 31,2%. Faktor lain yang berpengaruh adalah biaya transportasi, biaya transportasi barang perminggunya sebesar Rp. 1.503.228 berkurang sebesar Rp. 202.653 atau 13,48% menjadi Rp. 1.300.575 perminggunya. Selain penurunan total jarak tempuh, waktu tempuh dan biaya transportasi, persentase pengiriman ulang barang pun akan berkurang. Karena rute baru yang terbentuk telah sesuai dengan jam buka tutup toko dimana jadwal pengiriman barang selama satu minggu dapat dilihat pada Tabel 4.26 dan Tabel 4.27. Penjadwalan kendaraan tersebut dapat menjadi acuan bagi perusahaan untuk mengetahui kapan kendaraan sampai di toko dan sesuai jam buka toko sehingga tidak terjadi keterlambatan pengiriman.



Gambar 4.6 Grafik Total Jarak Tempuh

Dari Gambar 4.6 juga dapat dilihat bahwa total jarak tempuh untuk melakukan distribusi barang berkurang mulai kondisi *existing* hingga perbaikan rute dengan metode *intra-route improvement*. Pada kondisi *existing* total jarak tempuh untuk melakukan distribusi adalah 874,1 km, setelah dilakukan penentuan rute baru menggunakan *insertion heuristic* total jarak berkurang menjadi 686,6 km kemudian dilakukan perbaikan rute menggunakan metode *intra-route improvement* sehingga menghasilkan total jarak tempuh sebesar 600,7 km. Hal tersebut membuktikan bahwa dengan menggunakan metode *insertion heuristic* dan metode *improvement* rute distribusi CV. Angkasa Leather menjadi lebih efisien sehingga dapat meminimumkan biaya transportasi.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini akan dijelaskan tentang kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian serta saran yang dapat diberikan dari penelitian yang telah dilakukan.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai penentuan rute distribusi dengan metode *Insertion Heuristic* dan metode *Intra-Route Improvement* pada CV Angkasa Leather, kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut

1. Penggunaan metode *Insertion Heuristic* dan perbaikan rute menggunakan metode *Intra-Route Improvement* dapat memberikan usulan rute distribusi sebagai berikut:
 - a. Rute 1 : G – J8 – J4 – J3 – J1 – J7 – G
 - b. Rute 2 : G – J17 – J5 – J2 – J10 – J19 – J6 – G
 - c. Rute 3 : G – J18 – J15 – J16 – J12 – J20 – J14 – G
 - d. Rute 4 : G – M4- J13 – J9 – J21 – M3 – G
 - e. Rute 5 : G – J11 – M6 – M8 – M5 – M2 – M1 – M7 – G
 - f. Rute 6 : G – N4 – N3 – N5 – N2 – N1 – G
2. Jarak tempuh untuk pendistribusian barang pada rute 1 yang diusulkan adalah sebesar 12,4 km, rute 2 sebesar 40,4 km, rute 3 sebesar 99,1 km, rute 4 sebesar 147,3 km, rute 5 sebesar 153,6 km, rute 6 sebesar 147,9 km sehingga total jarak tempuh untuk pendistribusian barang perminggunya adalah sebesar 600,7 km. Waktu tempuh yang dibutuhkan untuk pendistribusian barang pada rute 1 adalah selama 0,25 jam, rute 2 selama 0,81 jam, rute 3 selama 1,98 jam, rute 4 selama 2,95 jam, rute 5 selama 3,07 jam, dan rute 6 selama 2,96 jam sehingga total waktu tempuh yang dibutuhkan untuk pendistribusian barang perminggunya adalah selama 12,02 jam.
3. Penjadwalan distribusi barang dilakukan untuk mengetahui kapan kendaraan pergi dan datang kembali ke gudang. Pada rute 1, pendistribusian barang dilakukan sampai pukul 11.52 artinya kendaraan kembali ke gudang sekitar pukul 11.52, pada rute 2 pendistribusian barang dilakukan sampai pukul 13.03, pada rute 3 pendistribusian barang dilakukan sampai pukul 14.14, pada rute 4 pendistribusian barang dilakukan

sampai pukul 14.32, pada rute 5 pendistribusian barang dilakukan sampai pukul 16.00 dan pada rute 6 pendistribusian barang dilakukan sampai pukul 14.35.

4. Dengan usulan rute distribusi tersebut maka jarak tempuh, lama perjalanan, dan biaya distribusi mampu diminimalkan dari keadaan *existing*. jarak tempuh kendaraan mampu diperpendek sebesar 273,4 km atau sebesar 31,2% dari jarak tempuh awal, Waktu tempuh perjalanan mampu dipercepat selama 5,46 jam dengan persentase penurunan sebesar 31,2% dan biaya transportasi mampu diturunkan sebesar 13,48% dari yang awalnya Rp. 1.503.228 menjadi Rp. 1.300.575 perminggunya.

5.2 SARAN

Saran yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih akurat sebaiknya komponen biaya variabel dan biaya tetap bisa ditambah, tidak hanya gaji karyawan dan biaya bahan bakar saja tetapi biaya-biaya yang lain juga bisa dipertimbangkan.
2. Perusahaan perlu mempertimbangkan metode *insertion heuristic* serta metode *improvement* 2-Opt, 3-Opt, dan Or-Opt untuk penentuan rute distribusi, karena dari hasil penelitian ini membuktikan bahwa penentuan rute dengan metode *insertion heuristic* serta metode *improvement* 2-Opt, 3-Opt, dan Or-Opt mampu mengefisienkan biaya transportasi, jarak tempuh, dan lama perjalanan.
3. Pada penelitian selanjutnya, sebaiknya meneliti seluruh konsumen pada CV Angkasa Leather.

DAFTAR PUSTAKA

- Africanita, S. 2011. *Algoritma Multiple Ant Colony System Pada Vehicle Routing Problem With Time Windows*. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.
- Ballou, Ronald H. 1998. *Business Logistics Algorithm*. Edisi keempat. New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Bowersox, Donald J. 1978. *Logistical Management I*. Cetakan I. Terjemahan A.Hasymi Ali. Jakarta: Bumi Aksara.
- Chopra, Sunil., Meindl, Peter. 2004. *Supply Chain Management*. Strategy, Planning, and Operation. New Jersey: Prentice hall Inc.
- Damayanti, E. 2014. *Optimasi Penentuan Rute Pengumpulan Susu Sapi Dengan Linier Programming*. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya.
- Ghani, G., Gilbert Laporte., & Musmanno, Roberto. 2003. *Introduction to Logistic Systems Planning and Control*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Gambardella, L.M., Tai, E., Agazzi, G. 2000. *A Multiple Ant Colony System for Vehicle Routing Problem with Time Window*. London: McGraw Hill
- Kallehauge B, Larsen J, Madsen OBG, Solomon MM. 2001. *Vehicle Routing Problem With Time Windows*. Di dalam Desaulniers G et al., editor. Column Generation. New York: Springer. Halaman 67-98
- Laporte G, Semet, F. 2002. *Classical Heuristic For The Capacitated VRP*. Di Dalam Toth P, Vigo D, Editor. The Vehicle Routing Problem. Philadelphia: SIAM. Halaman 109-128.
- Lucyana, Tarida. 2011. *Penentuan Metode Heuristic Klasik Terbaik pada Permasalahan Rute Kendaraan (Studi Kasus Pada PT. X)*. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.
- Mardalis. 1999. *Metode Penelitian. Suatu Pendekatan Proposal*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- Marina, Nola. 2008. *Algoritma Matematika dan Grasp Untuk Menyelesaikan Permutation Flow Shop Scheduling Problem*. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.
- Nasution, M.N. 2004. *Manajemen Jasa Terpadu*. Jakarta: PT. Ghalia Indonesia
- Pujawan, I Nyoman. 2005. *Supply Chain Management*. Edisi pertama, Surabaya: Gunawidya.
- Salaki, Deiby., Altien J. Rindengan. 2010. Optimasi Rute Distribusi Barang dengan Metode Heuristik. Dalam *Jurnal Ilmiah Sains Vol. 10 No. 1*. Manado: Universitas Sam Ratulangi.
- Sari, Andriani Kartika. 2010. *Penentuan Rute dan Penjadwalan Distribusi Dengan Metode Penghematan Clarke-Wright Untuk Meminimasi Biaya Transportasi*. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya.

Savelsbergh, M.W.P. 1985. *Local Search In Routing With Time Windows*. Dalam *Annals of Operation Research*.

Stock, J.R. 2001. *Strategic Logistic Management*. Fourth Edition. New York: Mc Graw Hill.

Thangiah, S.R. 1995. *Vehicle Routing with Time Windows Using Genetic Algorithms*. U.S.A: Slippery Rock University.

Toth, P., Daniele Vigo. 2002. *The Vehicle Routing Problem*. Philadelphia: SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Application.

Yuniarti, Rahmi., Astuti, Murti. 2013. Penerapan Metode Saving Matrix Dalam Penjadwalan Dan Penentuan Rute Distribusi Premium Di SPBU Kota Malang. Dalam *Journal Rekayasa Mesin*. Hlm:17. Malang: Universitas Brawijaya.

Zalynda, Putri Mety. 2013. *Memecahkan Permasalahan Vehicle Routing Problem With Time Windows Melalui Metode Insertion Heuristic (Studi Kasus Pada PT. X)*. Journal. Bandung: Universitas Pasundan.



Lampiran 1. Node yang tersisa pada Iterasi 2

Data Durasi Toko

No	Nama Toko	Time Windows	Durasi (menit)
N1	Toko 99	08.00-16.00	240
J2	Sri Asih	08.00-11.00	180
M1	Sido Gede	8.00-15.00	420
J5	Toko18	7.30- 11.30	210
M2	Samudra Snack	8.00-16.00	480
J6	Bu Ida	9.00-16.00	480
N2	Pak Agus	7.30-16.00	480
N3	Harsono Nggetas	7.30-12.00	360
J9	Lintang	7.00-12.00	240
J10	Reli jaya	7.00-11.00	180
M3	Bu Riana	8.00-16.00	480
J11	Sholikin	7.00-12.00	240
J12	Orions	8.00-11.30	210
N4	Pak Mustain Warujayeng	8.00-12.00	240
J13	Pak Khoirul	8.00-11.30	210
J14	Sumber Manis	8.00-16.00	480
M4	Hoky Jaya I	8.00-11.30	210
J15	MT toko	8.00-12.00	240
J16	Ela Jaya	7.30-12.00	240
M5	Morisa Bakery / pak Soleh	8.00-14.00	360
M6	Leo Toko	8.30-11.30	210
J17	Bravo	09.00-15.00	420
J18	Alif.Sumobito	7.00-11.00	180
J19	Muktar Bandung	8.00-14.00	360
M7	Imam Snack	8.00-16.00	480
M8	Gatot	7.00-13.00	300
N5	Pak Matori nganjuk	7.30-14.00	360
J20	Permata Snack	8.00-13.00	300
J21	Pujiatin ngoro	9.00-16.00	480

Keterangan:

 : Node awal yang terpilih pada Iterasi 2

Node Terbaik yang Dapat Disisipkan dalam Rute

u	$Z_1(i,u,j)$	i (u)	j (u)	$Z_2(i,u,j)$
N1	97,32	J8	G	-51,7
J2	7,87	J8	G	-1,8
M1	81,00	J8	G	-43,3
J5	6,85	J8	G	-1,2
M2	69,17	J8	G	-37,7
J6	19,19	J8	G	-7,4
N2	94,06	J8	G	-45,9
N3	85,79	J8	G	-41,5
J9	42,24	J8	G	-19,2
J10	17,15	J8	G	-8,8
M3	61,82	J8	G	-33,5
J11	59,38	J8	G	-32,3
J12	27,76	J8	G	-11,8
N4	77,53	J8	G	-33,5
J13	51,11	J8	G	-24,3
J14	40,30	J8	G	-18,8
M4	34,39	J8	G	-20,1
J15	30,92	J8	G	-12,5
J16	17,56	J8	G	-9,1
M5	69,98	J8	G	-37,7
M6	80,80	J8	G	-43,2
J17	10,42	J8	G	-3,0
J18	21,02	J8	G	-12,7
J19	15,62	J8	G	-6,3
M7	98,24	J8	G	-50,9
M8	61,62	J8	G	-33,4
N5	100,69	J8	G	-49,4
J20	27,55	J8	G	-14,8
J21	43,26	J8	G	-19,7

Keterangan:

Node awal : Node awal yang terpilih pada Iterasi 2

Lampiran 2. Node yang tersisa pada Iterasi 3

Data Durasi Toko

No	Nama Toko	Time Windows	Durasi (menit)
N1	Toko 99	08.00-16.00	240
M1	Sido Gede	8.00-15.00	420
M2	Samudra Snack	8.00-16.00	480
N2	Pak Agus	7.30-16.00	480
N3	Harsono Nggetas	7.30-12.00	360
J9	Lintang	7.00-12.00	240
M3	Bu Riana	8.00-16.00	480
J11	Sholikin	7.00-12.00	240
J12	Orions	8.00-11.30	210
N4	Pak Mustain Warujayeng	8.00-12.00	240
J13	Pak Khoirul	8.00-11.30	210
J14	Sumber Manis	8.00-16.00	480
M4	Hoky Jaya I	8.00-11.30	210
J15	MT toko	8.00-12.00	240
J16	Ela Jaya	7.30-12.00	240
M5	Morisa Bakery / pak Soleh	8.00-14.00	360
M6	Leo Toko	8.30-11.30	210
J18	Alif.Sumobito	7.00-11.00	180
M7	Imam Snack	8.00-16.00	480
M8	Gatot	7.00-13.00	300
N5	Pak Matori nganjuk	7.30-14.00	360
J20	Permata Snack	8.00-13.00	300
J21	Pujiatin ngoro	9.00-16.00	480

Keterangan:

J18 : Node awal yang terpilih pada Iterasi 3

Node Terbaik yang Dapat Disisipkan dalam Rute

u	$Z_1(i,u,j)$	i (u)	j (u)	$Z_2(i,u,j)$
N1	97,32	J8	G	-51,7
M1	81,00	J8	G	-43,3
M2	69,17	J8	G	-37,7
N2	94,06	J8	G	-45,9
N3	85,79	J8	G	-41,5
J9	42,24	J8	G	-19,2
M3	61,82	J8	G	-33,5
J11	59,38	J8	G	-32,3
J12	27,76	J8	G	-11,8
N4	77,53	J8	G	-33,5
J13	51,11	J8	G	-24,3
J14	40,30	J8	G	-18,8
M4	34,39	J8	G	-20,1
J15	30,92	J8	G	-12,5
J16	17,56	J8	G	-9,1
M5	69,98	J8	G	-37,7
M6	80,80	J8	G	-43,2
J18	21,02	J8	G	-12,7
M7	98,24	J8	G	-50,9
M8	61,62	J8	G	-33,4
N5	100,69	J8	G	-49,4
J20	27,55	J8	G	-14,8
J21	43,26	J8	G	-19,7

Keterangan:

 : Node awal yang terpilih pada Iterasi 3

Lampiran 3. Node yang tersisa pada Iterasi 4

Data Durasi Toko

No	Nama Toko	Time Windows	Durasi (menit)
N1	Toko 99	08.00-16.00	240
M1	Sido Gede	8.00-15.00	420
M2	Samudra Snack	8.00-16.00	480
N2	Pak Agus	7.30-16.00	480
N3	Harsono Nggetas	7.30-12.00	360
J9	Lintang	7.00-12.00	240
M3	Bu Riana	8.00-16.00	480
J11	Sholikin	7.00-12.00	240
N4	Pak Mustain Warujayeng	8.00-12.00	240
J13	Pak Khoirul	8.00-11.30	210
M4	Hoky Jaya I	8.00-11.30	210
M5	Morisa Bakery / pak Soleh	8.00-14.00	360
M6	Leo Toko	8.30-11.30	210
M7	Imam Snack	8.00-16.00	480
M8	Gatot	7.00-13.00	300
N5	Pak Matori nganjuk	7.30-14.00	360
J21	Pujiatin ngoro	9.00-16.00	480

Node Terbaik yang Dapat Disisipkan dalam Rute

u	$Z_1(i,u,j)$	i (u)	j (u)	$Z_2(i,u,j)$
N1	97,32	J8	G	-51,7
M1	81,00	J8	G	-43,3
M2	69,17	J8	G	-37,7
N2	94,06	J8	G	-45,9
N3	85,79	J8	G	-41,5
J9	42,24	J8	G	-19,2
M3	61,82	J8	G	-33,5
J11	59,38	J8	G	-32,3
N4	77,53	J8	G	-33,5
J13	51,11	J8	G	-24,3
M4	34,39	J8	G	-20,1
M5	69,98	J8	G	-37,7
M6	80,80	J8	G	-43,2
M7	98,24	J8	G	-50,9
M8	61,62	J8	G	-33,4
N5	100,69	J8	G	-49,4
J21	43,26	J8	G	-19,7

Keterangan:

J13 : Node awal yang terpilih pada Iterasi 4

Lampiran 4. Node yang tersisa pada Iterasi 5

Data Durasi Toko

No	Nama Toko	Time Windows	Durasi (menit)
N1	Toko 99	08.00-16.00	240
M1	Sido Gede	8.00-15.00	420
M2	Samudra Snack	8.00-16.00	480
N2	Pak Agus	7.30-16.00	480
N3	Harsono Nggetas	7.30-12.00	360
J11	Sholikin	7.00-12.00	240
N4	Pak Mustain Warujayeng	8.00-12.00	240
M5	Morisa Bakery / pak Soleh	8.00-14.00	360
M6	Leo Toko	8.30-11.30	210
M7	Imam Snack	8.00-16.00	480
M8	Gatot	7.00-13.00	300
N5	Pak Matori nganjuk	7.30-14.00	360

Node Terbaik yang Dapat Disisipkan dalam Rute

u	$Z_1(i,u,j)$	i (u)	j (u)	$Z_2(i,u,j)$
N1	97,32	J8	G	-51,7
M1	81,00	J8	G	-43,3
M2	69,17	J8	G	-37,7
N2	94,06	J8	G	-45,9
N3	85,79	J8	G	-41,5
J11	59,38	J8	G	-32,3
N4	77,53	J8	G	-33,5
M5	69,98	J8	G	-37,7
M6	80,80	J8	G	-43,2
M7	98,24	J8	G	-50,9
M8	61,62	J8	G	-33,4
N5	100,69	J8	G	-49,4

Keterangan:

Node awal yang terpilih pada Iterasi 5

Lampiran 5. Node yang tersisa pada Iterasi 6

Data Durasi Toko

No	Nama Toko	Time Windows	Durasi (menit)
N1	Toko 99	08.00-16.00	480
N2	Pak Agus	7.30-16.00	480
N3	Harsono Nggetas	7.30-12.00	360
N4	Pak Mustain Warujayeng	8.00-12.00	240
N5	Pak Matori nganjuk	7.30-14.00	360

Node Terbaik yang Dapat Disisipkan dalam Rute

u	$Z_1(i,u,j)$	i (u)	j (u)	$Z_2(i,u,j)$
N1	97,32	J8	G	-51,7
N2	94,06	J8	G	-45,9
N3	85,79	J8	G	-41,5
N4	77,53	J8	G	-33,5
N5	100,69	J8	G	-49,4

Keterangan:

N4 : Node awal yang terpilih pada Iterasi 5



Lampiran 6. Time windows pada Rute *Insertion Heuristic*

Iterasi 1

Rute 1	G	J8	J1	J7	J4	J3	G
		6	2	1	1	1	7
Time windows (pukul)		7.00-10.30	08.00-12.00	7.00-12.00	8.00-11.30	7.30-12.00	
Tiba	-	08.21	09.03	09.44	10.25	11.06	11.53
Waktu pelayanan	-	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	-
Berangkat	08.15	09.01	09.43	10.24	11.05	11.46	-

Iterasi 2

Rute 2	G	J10	J5	J2	J17	J19	J6	G
		10	13	4	5	10	5	14
Time windows (pukul)		07.00-11.00	7.30-11.30	08.00-11.00	8.00-15.00	8.00-14.00	9.00-16.00	
Tiba	-	08.25	09.18	10.02	10.47	11.37	12.22	13.16
Waktu pelayanan	-	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	-
Berangkat	08.15	09.05	9.58	10.42	11.27	12.17	13.02	-

Iterasi 3

Rute 3	G	J18	J16	J12	J15	J20	J14	G
		10	19	12	24	25	19	26
Time windows (pukul)		7.00-11.00	7.30-12.00	8.00-11.30	8.00-12.00	8.00-13.00	8.00-16.00	
Tiba	-	08.25	09.24	10.16	11.20	12.25	13.24	14.30
Waktu pelayanan	-	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	-
Berangkat	08.15	09.05	10.04	10.56	12.00	13.05	14.04	-

Iterasi 4

Rute 4	G	J13	M4	J9	J21	J11	M8	G
		32	46	47	20	38	22	34
Time windows (pukul)		8.00-11.30	8.00-11.30	7.00-12.00	9.00-16.00	7.00-12.00	7.00-13.00	
Tiba	-	08.47	10.13	11.40	12.40	13.58	15.00	-
Waktu pelayanan	-	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	-	
Berangkat	08.15	09.27	10.53	12.20	13.20	14.38	-	
						Tidak sesuai time windows	Tidak sesuai time windows	

Rute 4	G	J13	M4	J9	J21	M3	G
		32	46	47	20	45	34
Time windows (pukul)		8.00-11.30	8.00-11.30	7.00-12.00	9.00-16.00	8.00-16.00	
Tiba	-	08.47	10.13	11.40	12.40	14.05	15.19
Waktu pelayanan	-	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	-
Berangkat	08.15	09.27	10.53	12.20	13.20	14.45	-

Iterasi 5

Rute 5	G	M6	J11	M8	N4	M2	M5	N3	G
		45	24	22	58	65	5	90	53
Time windows (pukul)		8.30-11.30	7.00-12.00	7.00-13.00	8.00-12.00	8.00-16.00	8.00-14.00	7.30-14.00	
Tiba	-	09.00	10.04	11.06	12.44	14.29	15.14	17.24	-
Waktu pelayanan	-	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	-
Berangkat	08.15	09.40	10.44	11.46	13.24	15.09	15.54	18.04	-
					Tidak sesuai time windows		Tidak sesuai time windows	Tidak sesuai time windows	

Rute 5	G	M6	J11	M8	M2	M5	M1	M7	G
		45	24	22	6	5	26	11	57
Time windows (pukul)		8.30-11.30	7.00-12.00	7.00-13.00	8.00-16.00	8.00-14.00	8.00-15.00	8.00-16.00	
Tiba	-	09.00	10.04	11.06	11.52	12.37	13.43	14.34	16.00
Waktu pelayanan	-	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	-
Berangkat	08.15	09.40	10.44	11.46	12.32	13.17	14.23	15.03	-

Iterasi 6

Rute 6	G	N4	N3	N2	N5	N1	G
		53	38	17	5	16	55
Time windows (pukul)		8.00-12.00	7.30-14.00	7.30-16.00	7.30-14.00	08.00-16.00	
Tiba	-	09.08	10.26	11.23	12.08	13.04	14.39
Waktu pelayanan	-	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	-
Berangkat	08.15	09.48	11.06	12.03	12.48	13.44	

Lampiran 7. Rute yang terbentuk dengan metode *improvement* 2-opt

Rute 2 yang Terbentuk dengan metode 2-opt

No	Pemotongan	Rute <i>Insertion Heuristic</i>								Total Jarak	Keterangan
		G	J10	J5	J2	J17	J19	J6	G	51,4	
Rute baru											
1	J10-J5, J6-G	G	J10	J6	J19	J17	J2	J5	G	40,1	Tidak sesuai <i>time windows</i>
2	J10-J5, J19-J6	G	J10	J19	J17	J2	J5	J6	G	48	
3	J10-J5, J17-J19	G	J10	J17	J2	J5	J19	J6	G	52,8	
4	J10-J5, J2-J17	G	J10	J2	J5	J17	J19	J6	G	47,4	Rute dipilih
5	J5-J2, J6-G	G	J10	J5	J6	J19	J17	J2	G	51,4	
6	J5-J2, J19-J6	G	J10	J5	J19	J17	J2	J6	G	57,8	
7	J5-J2, J17-J19	G	J10	J5	J17	J2	J19	J6	G	46,9	Tidak sesuai <i>time windows</i>
8	J2-J17, J6-G	G	J10	J5	J2	J6	J19	J17	G	49,3	
9	J2-J17, J19-J6	G	J10	J5	J2	J19	J17	J6	G	58,9	
10	J17-J19, J6-G	G	J10	J5	J2	J17	J6	J19	G	51,4	
11	G-J10, J5-J2	G	J5	J10	J2	J17	J19	J6	G	48,7	
12	G-J10, J2-J17	G	J2	J5	J10	J17	J19	J6	G	57,9	
13	G-J10, J17-J19	G	J17	J2	J5	J10	J19	J6	G	44,4	Tidak sesuai <i>time windows</i>
14	G-J10, J19-J6	G	J19	J17	J2	J5	J10	J6	G	53,4	

Rute 3 yang Terbentuk dengan metode 2-opt

No	Pemotongan	Rute <i>Insertion Heuristic</i>								Total Jarak	Keterangan
		G	J18	J16	J12	J15	J20	J14	G	112,1	
Rute baru											
1	G-J18, J16-J12	G	J16	J18	J12	J15	J20	J14	G	112,3	
2	G-J18, J12-J15	G	J12	J16	J18	J15	J20	J14	G	106	
3	G-J18, J15-J20	G	J15	J12	J16	J18	J20	J14	G	117,7	
4	G-J18, J20-J14	G	J20	J15	J12	J16	J18	J14	G	130,2	
5	J18-J16, J12-J15	G	J18	J12	J16	J15	J20	J14	G	96,6	Tidak sesuai <i>time windows</i>
6	J18-J16, J15-J20	G	J18	J15	J12	J16	J20	J14	G	102,8	Rute dipilih
7	J18-J16, J14-J20	G	J18	J20	J15	J12	J16	J14	G	124,6	
8	J18-J16, J14-G	G	J18	J14	J20	J15	J12	J16	G	126,1	
9	J16-J12, J15-J20	G	J18	J16	J15	J12	J20	J14	G	119	
10	J16-J12, J20-J14	G	J18	J16	J20	J15	J12	J14	G	138,1	
11	J16-J12, J14-G	G	J18	J16	J14	J20	J15	J12	G	124,8	
12	J12-J15, J20-J14	G	J18	J16	J12	J20	J15	J14	G	126,4	
13	J12-J15, J14-G	G	J18	J16	J12	J14	J20	J15	G	99,5	Tidak sesuai <i>time windows</i>
14	J15-J20,J14-G	G	J18	J16	J12	J15	J14	J20	G	111,8	Tidak sesuai <i>time windows</i>

Rute 4 yang Terbentuk dengan metode 2-opt

No	Pemotongan	Rute Insertion Heuristic							Total Jarak	Keterangan
		G	J13	M4	J9	J21	M3	G	185,9	
Rute baru										
1	G-J13, M4-J9	G	M4	J13	J9	J21	M3	G	147,3	Rute dipilih
2	G-J13, J9-J21	G	J9	M4	J13	J21	M3	G	178,4	
3	G-J13, J21-M6	G	J21	J9	M4	J13	M3	G	194,7	
4	J13-M4, J9-J21	G	J13	J9	M4	J21	M3	G	165,6	
5	J13-M4, J21-M6	G	J13	J21	J9	M4	M3	G	139,1	Tidak sesuai <i>time windows</i>
6	J13-M4, M6-G	G	J13	M3	J21	J9	M4	G	183,4	
7	M4-J9, J21-M6	G	J13	M4	J21	J9	M3	G	183,6	
8	M4-J9,M6-G	G	J13	M4	M3	J21	J9	G	157,1	
9	J9-J21,M6-G	G	J13	M4	J9	M3	J21	G	216,1	

Rute 5 yang Terbentuk dengan metode 2-opt

No	Pemotongan	Rute Insertion Heuristic									Total Jarak	Keterangan
		G	M6	J11	M8	M2	M5	M1	M7	G	172,1	
Rute baru												
1	G-M6, J11-M8	G	J11	M6	M8	M2	M5	M1	M7	G	165,5	
2	G-M6, M8-M2	G	M8	J11	M6	M2	M5	M1	M7	G	166,5	
3	G-M6, M2-M5	G	M2	M8	J11	M6	M5	M1	M7	G	183,3	
4	G-M6, M5-M1	G	M5	M2	M8	J11	M6	M1	M7	G	145,1	Rute dipilih
5	G--M6, M1-M7	G	M1	M5	M2	M8	J11	M6	M7	G	172	
6	M6-J11, M8-M2	G	M6	M8	J11	M2	M5	M1	M7	G	191,2	
7	M6-J11, M2-M5	G	M6	M2	M8	J11	M5	M1	M7	G	161,2	
8	M6-J11, M5-M1	G	M6	M5	M2	M8	J11	M1	M7	G	172,1	
9	M6-J11, M1-M7	G	M6	M1	M5	M2	M8	J11	M7	G	159,5	Tidak sesuai <i>time windows</i>
10	M6-J11, M7-G	G	M6	M7	M1	M5	M2	M8	J11	G	153,8	Tidak sesuai <i>time windows</i>
11	J11-M8, M2-M5	G	M6	J11	M2	M8	M5	M1	M7	G	160,2	
12	J11-M8, M5-M1	G	M6	J11	M5	M2	M8	M1	M7	G	176,6	
13	J11-M8, M1-M7	G	M6	J11	M1	M5	M2	M8	M7	G	185,7	
14	J11-M8, M7-G	G	M6	J11	M7	M1	M5	M2	M8	G	159,9	
15	M8-M2, M5-M1	G	M6	J11	M8	M5	M2	M1	M7	G	160,2	Rute dipilih
16	M8-M2, M1-M7	G	M6	J11	M8	M1	M5	M2	M7	G	197,2	
17	M8-M2, M7-G	G	M6	J11	M8	M7	M1	M5	M2	G	181	
18	M2-J18, M1-M7	G	M6	J11	M8	M2	M1	M5	M7	G	191,2	
19	M2-M5, M7-G	G	M6	J11	M8	M2	M7	M1	M5	G	178,8	
20	M5-M1, M7-G	G	M6	J11	M8	M2	M5	M7	M1	G	169,5	

Rute 6 yang Terbentuk dengan metode 2-opt

Rute 0 yang terbentuk dengan metode 2 Opt										
No	Pemotongan	Rute Insertion Heuristic							Total Jarak	Keterangan
		G	N4	N3	N2	N5	N1	G	152,2	
Rute baru										
1	G-N4, N3-N2	G	N3	N4	N2	N5	N1	G	172,2	
2	G-N4, N2-N5	G	N2	N3	N4	N5	N1	G	188,4	
3	G-N4, N5-N1	G	N5	N2	N3	N4	N1	G	187,7	
4	N4-N3, N2-N5	G	N4	N2	N3	N5	N1	G	169	
5	N4-N3, N5-N1	G	N4	N5	N2	N3	N1	G	165,6	
6	N4-N3, N1-G	G	N4	N1	N5	N2	N3	G	160,7	
7	N3-N2, N5-N1	G	N4	N3	N5	N2	N1	G	147,9	Rute dipilih
8	N3-N2, N1-G	G	N4	N3	N1	N5	N2	G	162,8	
9	N2-N5, N1-G	G	N4	N3	N2	N1	N5	G	160	



Lampiran 8. Rute yang terbentuk dengan metode *improvement* 3-opt

Rute 2 yang Terbentuk dengan metode 3-opt

No	Pemotongan	Rute <i>Insertion Heuristic</i>								Total Jarak	Keterangan
		G	J10	J5	J2	J17	J19	J6	G	51,4	
Rute Baru											
1	J5-J2, J17-J19, J6-G	G	J10	J5	J19	J6	J2	J17	G	49,2	Tidak sesuai <i>time windows</i>
2		G	J10	J5	J19	J6	J17	J2	G	52,8	
3		G	J10	J5	J6	J19	J2	J17	G	48,8	Tidak sesuai <i>time windows</i>
4		G	J10	J5	J6	J19	J2	J17	G	48,8	Tidak sesuai <i>time windows</i>
5	G-J10, J5-J2, J17-J19	G	J2	J17	J10	J5	J19	J6	G	57,8	
6		G	J5	J10	J17	J2	J19	J6	G	53,8	
7		G	J2	J17	J5	J10	J19	J6	G	42,5	Tidak sesuai <i>time windows</i>
8		G	J17	J2	J10	J5	J19	J6	G	54,2	
9	J10-J5, J17-J19, J6-G	G	J10	J19	J6	J5	J2	J17	G	39,4	Tidak sesuai <i>time windows</i>
10		G	J10	J17	J2	J5	J6	J19	G	51,4	
11		G	J10	J19	J6	J17	J2	J5	G	39,4	Tidak sesuai <i>time windows</i>
12		G	J10	J6	J19	J5	J2	J17	G	36,9	Tidak sesuai <i>time windows</i>
13	G-J10, J5-J2, J19-J6	G	J2	J17	J19	J10	J5	J6	G	53	
14		G	J5	J10	J19	J17	J2	J6	G	49,4	
15		G	J2	J17	J19	J5	J10	J6	G	55,1	
16		G	J19	J17	J2	J10	J5	J6	G	61,4	
17	J10-J5, J2-J17, J6-G	G	J10	J17	J19	J6	J5	J2	G	52,9	
18		G	J10	J2	J5	J6	J19	J17	G	49,3	Rute dipilih
19		G	J10	J17	J19	J6	J2	J5	G	49,3	
20		G	J10	J6	J19	J17	J5	J2	G	39,7	Tidak sesuai <i>time windows</i>
21	G-J10, J2-J17, J19-J6	G	J17	J19	J10	J5	J2	J6	G	50,9	
22		G	J2	J5	J10	J19	J17	J6	G	54,5	
23		G	J17	J19	J2	J5	J10	J6	G	52,6	
24		G	J19	J17	J10	J5	J2	J6	G	62,9	
25	J10-J5, J2-J17, J19-J6	G	J10	J17	J19	J5	J2	J6	G	59,3	
26		G	J10	J2	J5	J19	J17	J6	G	59,3	
27		G	J10	J17	J19	J2	J5	J6	G	58,9	
28		G	J10	J19	J17	J5	J2	J6	G	44	Tidak sesuai <i>time windows</i>

Rute 3 yang Terbentuk dengan metode 3-opt

No	Pemotongan	Rute Insertion Heuristic							Total Jarak	Keterangan
		G	J18	J16	J12	J15	J20	J14	G	
									112,1	
Rute Baru										
1	J16-J12, J15-J20, J14-G	G	J18	J16	J20	J14	J12	J15	G	130,1
2		G	J18	J16	J15	J12	J14	J20	G	113,7
3		G	J18	J16	J20	J14	J15	J12	G	126,6
4		G	J18	J16	J14	J20	J12	J15	G	133,3
5	G-J18, J16-J12, J15-J20	G	J12	J15	J18	J16	J20	J14	G	116,6
6		G	J16	J18	J15	J12	J20	J14	G	114,8
7		G	J12	J15	J16	J18	J20	J14	G	116,1
8		G	J15	J12	J18	J16	J20	J14	G	136,2
9	J18-J16, J15-J20, J14-G	G	J18	J20	J14	J16	J12	J15	G	116,6
10		G	J18	J15	J12	J16	J14	J20	G	100,7
11		G	J18	J20	J14	J15	J12	J16	G	108,1
12		G	J18	J14	J20	J16	J12	J15	G	123,2
13	G-J18, J16-J12, J20-J14	G	J12	J15	J20	J18	J16	J14	G	138,4
14		G	J16	J18	J20	J15	J12	J14	G	133,4
15		G	J12	J15	J20	J16	J18	J14	G	145
16		G	J20	J15	J12	J18	J16	J14	G	142,1
17	J18-J16, J12-J15, J14-G	G	J18	J15	J20	J14	J16	J12	G	104,9
18		G	J18	J12	J16	J14	J20	J15	G	124,5
19		G	J18	J15	J20	J14	J12	J16	G	99,9
20		G	J18	J14	J20	J15	J16	J12	G	111
21	G-J18, J12-J15, J20-J14	G	J15	J20	J18	J16	J12	J14	G	133,1
22		G	J12	J16	J18	J20	J15	J14	G	129,6
23		G	J15	J20	J12	J16	J18	J14	G	142,9
24		G	J20	J15	J18	J16	J12	J14	G	117,2
25	J10-J5, J2-J17, J19-J6	G	J18	J15	J20	J16	J12	J14	G	118,2
26		G	J18	J12	J16	J20	J15	J14	G	134,3
27		G	J18	J15	J20	J12	J16	J14	G	121,4
28		G	J18	J20	J15	J16	J12	J14	G	117,7

Rute 4 yang Terbentuk dengan metode 3-opt

No	Pemotongan	Rute Insertion Heuristic							Total Jarak	Keterangan
		G	J13	M4	J9	J21	M3	G	185,9	
Rute Baru										
1	J13-M4, J9-J21, M6-G	G	J13	J21	M3	M4	J9	G	154,1	Tidak sesuai <i>time windows</i>
2		G	J13	J9	M4	M3	J21	G	154,3	Rute dipilih
3		G	J13	J21	M3	J9	M4	G	181,8	
4		G	J13	M3	J21	M4	J9	G	197,2	
5	G-J13, M4-J9, J21-M6	G	J9	J21	J13	M4	M3	G	134,6	Tidak sesuai <i>time windows</i>
6		G	M4	J13	J21	J9	M3	G	162,3	
7		G	J9	J21	M4	J13	M3	G	199,7	
8		G	J21	J9	J13	M4	M3	G	156,8	

Rute 5 yang Terbentuk dengan metode 3-opt

No	Pemotongan	Rute Insertion Heuristic									Total Jarak	Keterangan
		G	M6	J11	M8	M2	M5	M1	M7	G	172,1	
Rute Baru												
1	J11-M8, M5-M1, M7-G	G	M6	J11	M1	M7	M8	M2	M5	G	166,9	
2		G	M6	J11	M5	M2	M8	M7	M1	G	174,7	
3		G	M6	J11	M1	M7	M5	M2	M8	G	162	Tidak sesuai <i>time windows</i>
4		G	M6	J11	M7	M1	M8	M2	M5	G	164,4	Tidak sesuai <i>time windows</i>
5	J11-M8, M2-M5, M7-G	G	M6	J11	M5	M1	M7	M8	M2	G	185,9	
6		G	M6	J11	M2	M8	M7	M1	M5	G	203,5	
7		G	M6	J11	M5	M1	M7	M2	M8	G	178,8	
8		G	M6	J11	M7	M1	M5	M8	M2	G	176,9	
9	G-M6, M8-M2, M1-M7	G	M2	M5	M1	M6	J11	M8	M7	G	169,5	
10		G	M8	J11	M6	M1	M5	M2	M7	G	165,7	Tidak sesuai <i>time windows</i>
11		G	M2	M5	M1	M8	J11	M6	M7	G	182,8	
12		G	M1	M5	M2	M6	J11	M8	M7	G	187,9	
13	G-M6, M2-M5, M1-M7	G	M5	M1	M6	J11	M8	M2	M7	G	170,6	
14		G	M2	M8	J11	M6	M1	M5	M7	G	172,8	
15		G	M5	M1	M2	M8	J11	M6	M7	G	171,3	
16		G	M1	M5	M6	J11	M8	M2	M7	G	197,6	
17	G-M6, J11-M8, M1-M7	G	M8	M2	M5	M1	M6	J11	M7	G	151,7	Tidak sesuai <i>time windows</i>
18		G	J11	M6	M1	M5	M2	M8	M7	G	155,5	Tidak sesuai <i>time windows</i>
19		G	M8	M2	M5	M1	J11	M6	M7	G	164,2	Tidak sesuai <i>time windows</i>
20		G	M1	M5	M2	M8	M6	J11	M7	G	183,1	
21	G-M6, J11-M8, M5-M1	G	M8	M2	M5	M6	J11	M1	M7	G	164,3	Tidak sesuai <i>time windows</i>
22		G	J11	M6	M5	M2	M8	M1	M7	28,,	165,6	
23		G	M8	M2	M5	J11	M6	M1	M7	G	145,1	Tidak sesuai <i>time windows</i>
24		G	M5	M2	M8	M6	J11	M1	M7	G	168,7	
25	G-M6, J11-M8, M2-M5	G	M8	M2	M6	J11	M5	M1	M7	G	171,4	
26		G	J11	M6	M2	M8	M5	M1	M7	G	154,1	Tidak sesuai <i>time windows</i>
27		G	M8	M2	J11	M6	M5	M1	M7	G	183,9	
28		G	M2	M8	M6	J11	M5	M1	M7	G	187,7	
29	M6-J11, M8-M2, M5-M1	G	M6	M2	M5	J11	M8	M1	M7	G	178,8	
30		G	M6	M8	J11	M5	M2	M1	M7	G	178,7	
31		G	M6	M2	M5	M8	J11	M1	M7	G	162,4	Tidak sesuai <i>time windows</i>
32		G	M6	M5	M2	J11	M8	M1	M7	G	174,3	
33	M6-J11, M8-M2, M7-G	G	M6	M2	M5	M1	M7	J11	M8	G	162,1	Tidak sesuai <i>time windows</i>
34		G	M6	M8	J11	M7	M1	M5	M2	G	178,4	
35		G	M6	M2	M5	M1	M7	M8	J11	G	165,9	Tidak sesuai <i>time windows</i>
36		G	M6	M7	M1	M5	M2	J11	M8	G	167,9	
37	M6-J11, M8-M2, M1-M7	G	M6	M2	M5	M1	J11	M8	M7	G	187,9	
38		G	M6	M8	J11	M1	M5	M2	M7	G	197,1	
39		G	M6	M2	M5	M1	M8	J11	M7	G	185,4	
40		G	M6	M1	M5	M2	J11	M8	M7	G	181,2	

Rute 5 yang Terbentuk dengan metode 3-opt (Lanjutan)

Rute Baru											Total Jarak	Keterangan
41	M6-J11, M5-M1, M7-G	G	M6	M1	M7	J11	M8	M2	M5	G	127,8	Tidak sesuai <i>time windows</i>
42		G	M6	M5	M2	M8	J11	M7	M1	G	167,7	
43		G	M6	M1	M7	M5	M2	M8	J11	G	139,6	
44		G	M6	M7	M1	J11	M8	M2	M5	G	153,2	Tidak sesuai <i>time windows</i>
45	M6-J11, M2-M5, M7-G	G	M6	M5	M1	M7	J11	M8	M2	G	178,9	
46		G	M6	M2	M8	J11	M7	M1	M5	G	167	
47		G	M6	M5	M1	M7	M2	M8	J11	G	175,6	
48		G	M6	M7	M1	M5	J11	M8	M2	G	172,2	
49	G-M6, M8-M2, M5-M1	G	M2	M5	M6	J11	M8	M1	M7	G	200,3	
50		G	M8	J11	M6	M5	M2	M1	M7	G	166,5	Rute dipilih
51		G	M2	M5	M8	J11	M6	M1	M7	G	162,5	Tidak sesuai <i>time windows</i>
52		G	M5	M2	M6	J11	M8	M1	M7	G	171	
53	M8-M2, M5-M1, M7-G	G	M6	J11	M8	M1	M7	M5	M2	G	180,6	
54		G	M6	J11	M8	M5	M2	M7	M1	G	183,8	
55		G	M6	J11	M8	M1	M7	M5	M2	37,7	169,5	
56		G	M6	J11	M8	M7	M1	M2	M5	G	169,1	
57	G-M6, M8-M2, M5-M1	G	M2	M5	M6	J11	M8	M1	M7	G	182,9	
58		G	M8	J11	M6	M5	M2	M1	M7	G	166,5	
59		G	M2	M5	M8	J11	M6	M1	M7	G	145	Tidak sesuai <i>time windows</i>
60		G	M5	M2	M6	J11	M8	M1	M7	G	171	
61	M6-J11, M2-M5, M1-M7	G	M6	M5	M1	J11	M8	M2	M7	G	197,6	
62		G	M6	M2	M8	J11	M1	M5	M7	G	166,1	
63		G	M6	M5	M1	M2	M8	J11	M7	G	185,8	
64		G	M6	M1	M5	J11	M8	M2	M7	G	178,4	
65	J11-M8, M2-M5, M1-M7	G	M6	J11	M5	M1	M8	M2	M7	G	184,3	
66		G	M6	J11	M2	M8	M1	M5	M7	G	183,1	
67		G	M6	J11	M5	M1	M2	M8	M7	G	192,8	
68		G	M6	J11	M1	M5	M8	M2	M7	G	183,5	

Rute 6 yang Terbentuk dengan metode 3-opt

No	Pemotongan	Rute Insertion Heuristic							Total Jarak	Keterangan
		G	N4	N3	N2	N5	N1	G	152,2	Rute dipilih
Rute Baru										
1	N4-N3, N2-N5, N1-G	G	N4	N5	N1	N3	N2	G	177,5	
2		G	N4	N2	N3	N1	N5	G	178,7	
3		G	N4	N5	N1	N2	N3	G	157,3	
4		G	N4	N1	N5	N3	N2	G	178,9	
5	G-N4, N3-N2, N5-N1	G	N2	N5	N4	N3	N1	G	187,1	
6		G	N3	N4	N5	N2	N1	G	166,9	
7		G	N2	N5	N3	N4	N1	G	188,5	
8		G	N5	N2	N4	N3	N1	G	188,3	

Lampiran 9. Rute yang terbentuk dengan metode *improvement* Or-opt

Rute 2 yang Terbentuk dengan metode Or-opt

K	Lintasan Terpilih					Node Terpilih	Rute Insertion Heuristic								Total Jarak (km)
							G	J10	J5	J2	J17	J19	J6	G	
5	J10	J5	J2	J17	J19	J6	G	J6	J10	J5	J2	J17	J19	G	53,7
	J5	J2	J17	J19	J6	J10	G	J5	J2	J17	J19	J6	J10	G	40,1
4	J10	J5	J2	J17		J19	G	J19	J10	J5	J2	J17	J6	G	53
						J6	G	J6	J19	J10	J5	J2	J17	G	44,4
	J5	J2	J17	J19		J10	G	J5	J2	J17	J19	J10	J6	G	41,7
						J6	G	J10	J6	J5	J2	J17	J19	G	48,7
	J2	J17	J19	J6		J10	G	J2	J17	J19	J6	J5	J10	G	51,4
						J5	G	J10	J2	J17	J19	J6	J5	G	47,8
	J10	J5	J2			J17	G	J17	J10	J5	J2	J19	J6	G	55,3
						J19	G	J19	J17	J10	J5	J2	J6	G	62,9
3	J5	J2	J17			J6	G	J6	J17	J19	J10	J5	J2	G	54,5
						J10	G	J5	J2	J17	J10	J19	J6	G	44,4
						J19	G	J10	J19	J5	J2	J17	J6	G	49,4
						J6	G	J10	J6	J19	J5	J2	J17	G	41,5
	J2	J17	J19			J10	G	J2	J17	J19	J5	J10	J6	G	55,1
						J5	G	J10	J2	J17	J19	J5	J6	G	57,8
						J6	G	J10	J5	J6	J2	J17	J19	G	56,4
	J17	J19	J6			J10	G	J17	J19	J6	J5	J2	J10	G	49,3
						J5	G	J10	J17	J19	J6	J2	J5	G	49,3
						J2	G	J10	J5	J17	J19	J6	J2	G	47,4
	J10	J5				J2	G	J2	J10	J5	J17	J19	J6	G	52,4
						J17	G	J17	J2	J10	J5	J19	J6	G	54,2
						J19	G	J19	J2	J17	J10	J5	J6	G	62,4
						J6	G	J6	J2	J17	J19	J10	J5	G	49,4
	J5	J2				J10	G	J5	J2	J10	J17	J19	J6	G	54,3
						J17	G	J10	J17	J5	J2	J19	J6	G	48,4
						J19	G	J10	J19	J17	J5	J2	J6	G	44
						J6	G	J10	J6	J17	J19	J5	J2	G	51,6
2	J2	J17				J10	G	J2	J17	J5	J10	J19	J6	G	42,5
						J5	G	J10	J2	J17	J5	J19	J6	G	47,3
						J19	G	J10	J5	J19	J2	J17	J6	G	58,8
						J6	G	J10	J5	J6	J19	J2	J17	G	48,8
	J17	J19				J10	G	J17	J19	J5	J2	J10	J6	G	53
						J5	G	J10	J17	J19	J2	J5	J6	G	59,2
						J2	G	J10	J5	J17	J19	J2	J6	G	53,4
						J6	G	J10	J5	J2	J6	J17	J19	G	57,9
	J19	J6				J10	G	J19	J6	J5	J2	J17	J10	G	51,4
						J5	G	J10	J19	J6	J2	J17	J5	G	33,9
						J2	G	J10	J5	J19	J6	J17	J2	G	52,8
						J17	G	J10	J5	J2	J19	J6	J17	G	50,3

Rute 2 yang Terbentuk dengan metode Or-opt (Lanjutan)

Rute 2 yang Tercekan dengan Metode Dijkstra (Bantuan)												
K	Lintasan Terpilih		Node Terpilih	Rute Baru								Total Jarak (km)
1	J10		J5	G	J5	J10	J2	J17	J19	J6	G	52,8
			J2	G	J2	J5	J10	J17	J19	J6	G	57,9
			J17	G	J17	J5	J2	J10	J19	J6	G	40,4
			J19	G	J19	J5	J2	J17	J10	J6	G	55,1
			J6	G	J6	J5	J2	J17	J19	J10	G	48
1	J5		J2	G	J10	J2	J5	J17	J19	J6	G	47,4
			J17	G	J10	J17	J2	J5	J19	J6	G	52,8
			J19	G	J10	J19	J2	J17	J5	J6	G	43,5
			J6	G	J10	J6	J2	J17	J19	J5	G	46,5
	J2		J17	G	J10	J5	J17	J2	J19	J6	G	46,9
			J19	G	J10	J5	J19	J17	J2	J6	G	57,8
			J6	G	J10	J5	J6	J17	J19	J2	G	58,9
	J17		J19	G	J10	J5	J2	J19	J17	J6	G	58,9
			J6	G	J10	J5	J2	J6	J19	J17	G	49,3
	J19		J6	G	J10	J5	J2	J17	J6	J19	G	51,4

Rute 3 yang Terbentuk dengan metode Or-opt

K	Lintasan Terpilih					Node Terpilih	Rute Insertion Heuristic								Total Jarak
							G	J18	J16	J12	J15	J20	J14	G	
5	J18	J16	J12	J15	J20	J14	G	J14	J18	J16	J12	J15	J20	G	130,2
	J16	J12	J15	J20	J14	J18	G	J16	J12	J15	J20	J14	J18	G	112,97
4	J18	J16	J12	J15		J20	G	J20	J18	J16	J12	J15	J14	G	125,4
						J14	G	J14	J20	J18	J16	J12	J15	G	117,7
	J16	J12	J15	J20		J18	G	J16	J12	J15	J20	J18	J14	G	126,5
						J14	G	J18	J14	J16	J12	J15	J20	G	129,1
	J12	J15	J20	J14		J18	G	J12	J15	J20	J14	J16	J15	G	129,6
						J16	G	J18	J12	J15	J20	J14	J16	G	124,8
3	J18	J16	J12			J15	G	J15	J18	J16	J12	J20	J14	G	114,5
						J20	G	J20	J15	J18	J16	J12	J14	G	117,2
						J14	G	J14	J15	J20	J18	J16	J12	G	129,6
	J16	J12	J15			J18	G	J16	J12	J15	J18	J20	J14	G	98,1
						J20	G	J18	J20	J16	J12	J15	J14	G	126,4
						J14	G	J18	J14	J20	J16	J12	J15	G	123,2
	J12	J15	J20			J18	G	J12	J15	J20	J16	J18	J14	G	145
						J16	G	J18	J12	J15	J20	J16	J14	G	143,1
						J14	G	J18	J16	J14	J12	J15	J20	G	136
	J15	J20	J14			J18	G	J15	J20	J14	J16	J12	J18	G	124,5
						J16	G	J18	J15	J20	J14	J12	J16	G	99,9
						J12	G	J18	J16	J15	J20	J14	J12	G	117,9
2	J18	J16				J12	G	J12	J18	J16	J15	J20	J14	G	124
						J15	G	J15	J12	J18	J16	J20	J14	G	136,2
						J20	G	J20	J12	J15	J18	J16	J14	G	131
						J14	G	J14	J12	J15	J20	J18	J16	G	133,4
	J16	J12				J18	G	J16	J12	J18	J15	J20	J14	G	106
						J15	G	J18	J15	J16	J12	J20	J14	G	99,1
						J20	G	J18	J20	J15	J16	J12	J14	G	117,7
						J14	G	J18	J14	J15	J20	J16	J12	G	135,1

Rute 3 yang Terbentuk dengan metode Or-opt (Lanjutan)

K	Lintasan Terpilih			Node Terpilih	Rute Baru								Total Jarak (km)
1	J12	J15		J18	G	J12	J15	J16	J18	J20	J14	G	116,1
				J16	G	J18	J12	J15	J16	J20	J14	G	120,8
				J20	G	J18	J16	J20	J12	J15	J14	G	143,1
				J14	G	J18	J16	J14	J20	J12	J15	G	133,3
	J15	J20		J18	G	J15	J20	J16	J12	J18	J14	G	144,7
				J16	G	J18	J15	J20	J12	J16	J14	G	121,4
				J12	G	J18	J16	J15	J20	J12	J14	G	134,4
				J14	G	J18	J16	J12	J14	J15	J20	G	127,2
	J20	J14		J18	G	J20	J14	J16	J12	J15	J18	G	100,7
				J16	G	J18	J20	J14	J12	J15	J16	G	110
				J12	G	J18	J16	J20	J14	J15	J12	G	113,3
				J15	G	J18	J16	J12	J20	J14	J15	G	124,5
1	J18			J16	G	J16	J18	J12	J15	J20	J14	G	125,9
				J12	G	J12	J16	J18	J15	J20	J14	G	106
				J15	G	J15	J16	J12	J18	J20	J14	G	120,3
				J20	G	J20	J16	J12	J15	J18	J14	G	107,1
				J14	G	J14	J16	J12	J15	J20	J18	G	110,4
	J16			J12	G	J18	J12	J16	J15	J20	J14	G	110,2
				J15	G	J18	J15	J12	J16	J20	J14	G	102,8
				J20	G	J18	J20	J12	J15	J16	J14	G	161,5
				J14	G	J18	J14	J12	J15	J20	J16	G	138,9
	J12			J15	G	J18	J16	J15	J12	J20	J14	G	133,4
				J20	G	J18	J16	J20	J15	J12	J14	G	138,1
				J14	G	J18	J16	J14	J15	J20	J12	G	145,2
	J15			J20	G	J18	J16	J12	J20	J15	J14	G	132,5
				J14	G	J18	J16	J12	J14	J20	J15	G	119,5
	J20			J14	G	J18	J16	J12	J15	J14	J20	G	98

Rute 4 yang Terbentuk dengan metode Or-opt

						Rute Insertion Heuristic							Total Jarak (km)
K	Lintasan Terpilih				Node Terpilih	G	J13	M4	J9	J21	M3	G	
						Rute Baru							
4	J13	M4	J9	J21	M3	G	M3	J13	M4	J9	J21	G	195,2
	M4	J9	J21	M3	J13	G	M4	J9	J21	M3	J13	G	183,4
3	J13	M4	J9		J21	G	J21	J13	M4	J9	M3	G	193,6
					M3	G	M3	J21	J13	M4	J9	G	178,4
	M4	J9	J21		J13	G	M4	J9	J21	J13	M3	G	160,9
					M3	G	J13	M3	M4	J9	J21	G	170,9
	J9	J21	M3		J13	G	J9	J21	M3	M4	J13	G	157,1
					M4	G	J13	J9	J21	M3	M4	G	123
2	J13	M4		J9	G	J9	J13	M4	J21	M3	G	161,1	
				J21	G	J21	J9	J13	M4	M3	G	134,8	
				M3	G	M3	J9	J21	J13	M4	G	162,3	
	M4	J9		J13	G	M4	J9	J13	J21	M3	G	144,8	
				J21	G	J13	J21	M4	J9	M3	G	180,6	
				M3	G	J13	M3	J21	M4	J9	G	197,2	
	J9	J21		J13	G	J9	J21	M4	J13	M3	G	177,7	
				M4	G	J13	J9	J21	M4	M3	G	121,8	
				M3	G	J13	M4	M3	J9	J21	G	172,3	
	J21	M3		J13	G	J21	M3	M4	J9	J13	G	154,3	
				M4	G	J13	J21	M3	J9	M4	G	181,8	
				J9	G	J13	M4	J21	M3	J9	G	175,6	
1	J13			M4	G	M4	J13	J9	J21	M3	G	147,3	
				J9	G	J9	M4	J13	J21	M3	G	178,4	
				J21	G	J21	M4	J9	J13	M3	G	174,9	
				M3	G	M3	M4	J9	J21	J13	G	139,1	
	M4			J9	G	J13	J9	M4	J21	M3	G	165,6	
				J21	G	J13	J21	J9	M4	M3	G	139,1	
				M3	G	J13	M3	J9	J21	M4	G	181,1	
	J9			J21	G	J13	M4	J21	J9	M3	G	200,5	
				M3	G	J13	M4	M3	J21	J9	G	157,1	
J21				M3	G	J13	M4	J9	M3	J21	G	216,1	

Rute 5 yang Terbentuk dengan metode Or-opt

K	Lintasan Terpilih						Rute Insertion Heuristic										Total Jarak (km)
							Node Terpilih	G	M6	J11	M8	M2	M5	M1	M7	G	185,9
								Rute Baru									
6	M6	J11	M8	M2	M5	M1	M7	G	M7	M6	J11	M8	M2	M5	M1	G	172
	J11	M8	M2	M5	M1	M7	M6	G	J11	M8	M2	M5	M1	M7	M6	G	150
5	M6	J11	M8	M2	M5		M1	G	M1	M6	J11	M8	M2	M5	M7	G	161,6
							M7	G	M7	M1	M6	J11	M8	M2	M5	G	145,1
	J11	M8	M2	M5	M1		M6	G	J11	M8	M2	M5	M1	M6	M7	G	141,8
							M7	G	M6	M7	J11	M8	M2	M5	M1	G	167,6
	M8	M2	M5	M1	M7		M6	G	M8	M2	M5	M1	M7	J11	M6	G	159,9
							J11	G	M6	M8	M2	M5	M1	M7	J11	G	161,1
	M6	J11	M8	M2			M5	G	M5	M6	J11	M8	M2	M1	M7	G	171,4
							M1	G	M1	M5	M6	J11	M8	M2	M7	G	197,6
4	J11	M8	M2	M5			M7	G	M7	M5	M1	M6	J11	M8	M2	G	172,8
							M6	G	J11	M8	M2	M5	M6	M1	M7	G	141,9
							M1	G	M6	M1	J11	M8	M2	M5	M7	G	161,6
	M8	M2	M5	M1			M7	G	M6	M7	M1	J11	M8	M2	M5	G	153,2
							M6	G	M8	M2	M5	M1	J11	M6	M7	G	164,2
							J11	G	M6	M8	M2	M5	M1	J11	M7	G	183,1
	M2	M5	M1	M7			M7	G	M6	J11	M7	M8	M2	M5	M1	G	181,3
							M6	G	M2	M5	M1	M7	J11	M8	M6	G	178,4
							J11	G	M6	M2	M5	M1	M7	J11	M8	G	162,1
	M6	J11	M8	M2			M8	G	M6	J11	M2	M5	M1	M7	M8	G	181,6
							M2	G	M2	M6	J11	M8	M5	M1	M7	G	171,4
							M5	G	M5	M2	M6	J11	M8	M1	M7	G	171
3	M6	J11	M8				M1	G	M1	M2	M5	M6	J11	M8	M7	G	183,2
							M7	G	M7	M2	M5	M1	M6	J11	M8	G	165,7
							M6	G	J11	M8	M2	M6	M5	M1	M7	G	168,2
							M5	G	M6	M5	J11	M8	M2	M1	M7	G	179,2
	J11	M8	M2				M1	G	M6	M1	M5	J11	M8	M2	M7	G	178,4
							M7	G	M6	M7	M5	M1	J11	M8	M2	G	183,3
							M6	G	M8	M2	M5	J11	M6	M1	M7	G	145,1
							J11	G	M6	M8	M2	M5	J11	M1	M7	G	176,5
	M8	M2	M5				M1	G	M6	J11	M1	M8	M2	M5	M7	G	185,3
							M7	G	M6	J11	M7	M1	M8	M2	M5	G	164,4
							M6	G	M2	M5	M1	J11	M8	M6	M7	G	182,7
							J11	G	M6	M2	M5	M1	J11	M8	M7	G	187,9
	M2	M5	M1				M8	G	M6	J11	M2	M5	M1	M8	M7	G	204,9
							M7	G	M6	J11	M8	M7	M2	M5	M1	G	195,3
	M5	M1	M7				M6	G	M5	M1	M7	J11	M8	M2	M6	G	167
							J11	G	M6	M5	M1	M7	M8	M2	J11	G	183,3
							M8	G	M6	J11	M5	M1	M7	M2	M8	G	178,8
							M2	G	M6	J11	M8	M5	M1	M7	M2	G	194,8
2	M6	J11					M8	G	M8	M6	J11	M2	M5	M1	M7	G	183,4
							M2	G	M2	M8	M6	J11	M5	M1	M7	G	187,7
							M5	G	M5	M8	M2	M6	J11	M1	M7	G	157,3
							M1	G	M1	M8	M2	M5	M6	J11	M7	G	183,2
							M7	G	M7	M8	M2	M5	M1	M6	J11	G	155,5

Rute 5 yang Terbentuk dengan metode Or-opt (Lanjutan)

K	Lintasan Terpilih			Node Terpilih	Rute Baru									Total Jarak (km)
	J11	M8		M6	G	J11	M8	M6	M2	M5	M1	M7	G	167,7
				M2	G	M6	M2	J11	M8	M5	M1	M7	G	179,8
				M5	G	M6	M5	M2	J11	M8	M1	M7	G	191,3
				M1	G	M6	M1	M2	M5	J11	M8	M7	G	168,7
				M7	G	M6	M7	M2	M5	M1	J11	M8	G	173,9
	M8	M2		M6	G	M8	M2	J11	M6	M5	M1	M7	G	183,9
				J11	G	M6	M8	M2	J11	M5	M1	M7	G	196,1
				M5	G	M6	J11	M5	M8	M2	M1	M7	G	165,1
				M1	G	M6	J11	M1	M5	M8	M2	M7	G	183,5
				M7	G	M6	J11	M7	M5	M1	M8	M2	G	192,1
	M2	M5		M6	G	M2	M5	J11	M8	M6	M1	M7	G	163,6
				J11	G	M6	M2	M5	M8	J11	M1	M7	G	160,2
				M8	G	M6	J11	M2	M5	M8	M1	M7	G	177,2
				M1	G	M6	J11	M8	M1	M2	M5	M7	G	187,5
				M7	G	M6	J11	M8	M7	M1	M2	M5	G	169,1
	M5	M1		M6	G	M5	M1	J11	M8	M2	M6	M7	G	171,3
				J11	G	M6	M5	M1	M8	M2	J11	M7	G	202,8
				M8	G	M6	J11	M5	M1	M2	M8	M7	G	192,8
				M2	G	M6	J11	M8	M5	M1	M2	M7	G	185,7
				M7	G	M6	J11	M8	M2	M7	M5	M1	G	195,3
	M1	M7		M6	G	M1	M7	J11	M8	M2	M5	M6	G	167,7
				J11	G	M6	M1	M7	M8	M2	M5	J11	G	144,5
				M8	G	M6	J11	M1	M7	M2	M5	M8	G	159,8
				M2	G	M6	J11	M8	M1	M7	M5	M2	G	180,6
				M5	G	M6	J11	M8	M2	M1	M7	M5	G	169,1
1	M6			J11	G	J11	M6	M8	M2	M5	M1	M7	G	165,5
				M8	G	M8	J11	M6	M2	M5	M1	M7	G	166,5
				M2	G	M2	J11	M8	M6	M5	M1	M7	G	202,4
				M5	G	M5	J11	M8	M2	M6	M1	M7	G	152,2
				M1	G	M1	J11	M8	M2	M5	M6	M7	G	172
	J11			M7	G	M7	J11	M8	M2	M5	M1	M6	G	159,5
				M8	G	M6	M8	J11	M2	M5	M1	M7	G	191,2
				M2	G	M6	M2	M8	J11	M5	M1	M7	G	179,2
				M5	G	M6	M5	M8	M2	J11	M1	M7	G	177,6
				M1	G	M6	M1	M8	M2	M5	J11	M7	G	164
	M8			M7	G	M6	M7	M8	M2	M5	M1	J11	G	163,6
				M2	G	M6	J11	M2	M8	M5	M1	M7	G	177,6
				M5	G	M6	J11	M5	M2	M8	M1	M7	G	176,6
				M1	G	M6	J11	M1	M2	M5	M8	M7	G	173,8
	M2			M7	G	M6	J11	M7	M2	M5	M1	M8	G	156,8
				M5	G	M6	J11	M8	M5	M2	M1	M7	G	160,2
				M1	G	M6	J11	M8	M1	M5	M2	M7	G	197,2
	M5			M7	G	M6	J11	M8	M7	M5	M1	M2	G	196,8
				M1	G	M6	J11	M8	M2	M1	M5	M7	G	187,9
	M1			M7	G	M6	J11	M8	M2	M7	M1	M5	G	178,8
				M7	G	M6	J11	M8	M2	M5	M7	M1	G	169,8

Rute 6 yang Terbentuk dengan metode Or-opt

						Rute Insertion Heuristic								Total Jarak
K	Lintasan Terpilih					Node Terpilih	G	N4	N3	N2	N5	N1	G	152,2
							Rute Baru							
4	N4	N3	N2	N5	N1	N1	G	N1	N4	N3	N2	N5	G	187,7
	N3	N2	N5	N1	N4	N4	G	N3	N2	N5	N1	N4	G	160,7
3	N4	N3	N2		N5	N5	G	N5	N4	N3	N2	N1	G	184,3
					N1	N1	G	N1	N5	N4	N3	N2	G	188,4
	N3	N2	N5		N4	N4	G	N3	N2	N5	N4	N1	G	185
					N1	N1	G	N4	N1	N3	N2	N5	G	176,8
	N2	N5	N1		N4	N4	G	N2	N5	N1	N3	N4	G	162,8
					N3	N3	G	N4	N2	N5	N1	N3	G	161,3
					N2	N2	G	N2	N4	N3	N5	N1	G	190,4
2	N4	N3			N5	N5	G	N5	N2	N4	N3	N1	G	188,3
					N1	N1	G	N1	N2	N5	N4	N3	G	166,9
					N4	N4	G	N3	N2	N4	N5	N1	G	186,9
	N3	N2			N5	N5	G	N4	N5	N3	N2	N1	G	163,6
					N1	N1	G	N4	N1	N5	N3	N2	G	178,9
					N4	N4	G	N2	N5	N3	N4	N1	G	188,5
	N2	N5			N3	N3	G	N4	N2	N5	N3	N1	G	167,6
					N1	N1	G	N4	N3	N1	N2	N5	G	158,7
					N4	N4	G	N5	N1	N3	N2	N4	G	178,7
	N5	N1			N3	N3	G	N4	N5	N1	N2	N3	G	157,3
					N2	N2	G	N4	N3	N5	N1	N2	G	160,8
					N3	N3	G	N3	N4	N2	N5	N1	G	172,2
1	N4				N2	N2	G	N2	N3	N4	N5	N1	G	188,4
					N5	N5	G	N5	N3	N2	N4	N1	G	204,4
					N1	N1	G	N1	N3	N2	N5	N4	G	165,6
					N2	N2	G	N4	N2	N3	N5	N1	G	168,9
	N3				N5	N5	G	N4	N5	N2	N3	N1	G	165,6
					N1	N1	G	N4	N1	N2	N5	N3	G	157,4
					N5	N5	G	N4	N3	N5	N2	N1	G	148,9
	N2				N1	N1	G	N4	N3	N1	N5	N2	G	162,8
					N1	N1	G	N4	N3	N2	N1	N5	G	161

Lampiran 10. Time windows pada Rute Awal

Rute 1

Rute 1	G	J4	J3	J14	J21	N5	N2	G
		6	1	21	47	66	5	55
Time windows (pukul)		8.00-11.30	7.30-12.00	8.00-16.00	9.00-16.00	7.30-14.00	7.30-16.00	
Tiba	-	08.21	09.02	10.03	11.30	13.16	14.01	15.36
Waktu pelayanan	-	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	-
Berangkat	08.15	09.01	09.42	10.43	12.10	13.56	14.41	-

Rute 2

Rute 2	G	J2	J9	M4	M5	M2	G
		7	21	47	28	5	38
Time windows (pukul)		08.00-11.00	7.00-12.00	8.00-11.30	8.00-14.00	8.00-16.00	
Tiba	-	08.22	09.23	10.50	11.58	12.43	14.01
Waktu pelayanan	-	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	-
Berangkat	08.15	09.02	10.03	11.30	12.38	13.23	-

Rute 3

Rute 3	G	J1	J15	M6	M1	M8	M7	G
		6	16	45	1	27	36	57
Time windows (pukul)		08.00-12.00	8.00-12.00	8.30-11.30	8.00-15.00	7.00-13.00	8.00-16.00	
Tiba	-	08.21	09.17	10.42	11.23	12.30	13.46	15.23
Waktu pelayanan	-	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	-
Berangkat	08.15	09.01	9.57	11.22	12.03	13.10	14.26	-

Rute 4

Rute 4	G	J5	J6	J10	J12	N1	G
		7	11	17	22	59	55
Time windows (pukul)		7.30- 11.30	9.00-16.00	7.00-11.00	8.00-11.30	08.00-16.00	
Tiba	-	08.22	9.13	10.10	10.12	12.30	14.05
Waktu pelayanan	-	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	-
Berangkat	08.15	09.02	09.53	10.50	11.52	13.10	-

Rute 5

Rute 5	G	J8	J7	J16	J13	J11	M3	G
		6	1	13	25	53	20	34
Time windows (pukul)		7.00-10.30	7.00-12.00	7.30-12.00	8.00-11.30	7.00-12.00	8.00-16.00	
Tiba	-	08.21	9.02	9.55	11.00	12.33	13.33	14.47
Waktu pelayanan	-	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	-
Berangkat	08.15	09.01	9.42	10.35	11.40	13.13	14.13	-

Rute 6

Rute 6	G	N4	N3	J20	J18	J17	J19	G
		53	38	61	20	19	10	11
Time windows (pukul)		8.00-12.00	7.30-14.00	8.00-13.00	7.00-11.00	08.00-15.00	8.00-14.00	-
Tiba	-	9.08	10.26	12.07	13.07	14.06	14.56	15.47
Waktu pelayanan	-	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	40 menit	-
Berangkat	08.15	9.48	11.06	12.47	13.47	14.46	15.36	-

Lampiran 11. Peta Rute Distribusi Awal

Rute 1



Rute 1 :

G (Gudang) – J4 (Toko Gajah Mada) – J3 (Toko Mitra Sukses) – J21 (Toko Pujiatin) – N5 (Toko Pak Matori) – N2 (Toko Pak Agus) – G (Gudang)

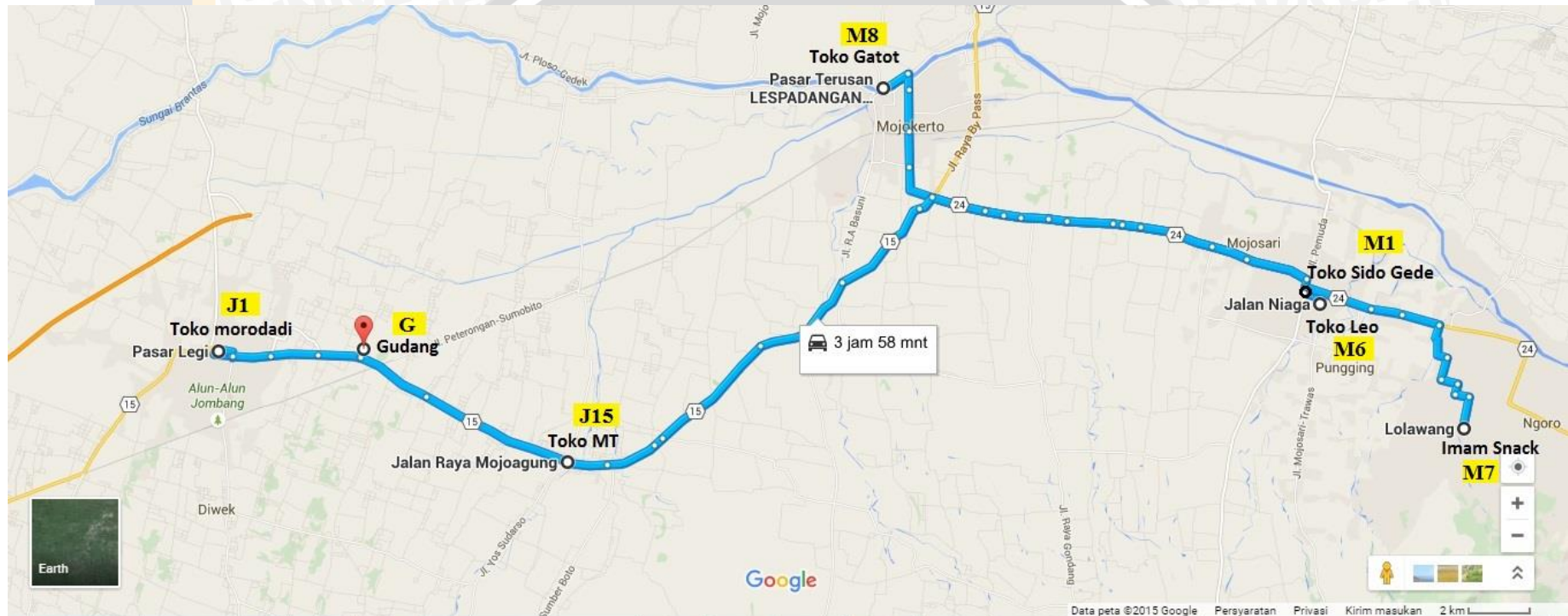
Rute 2



Rute 2 :

G (Gudang) – J2 (Toko Sri Asih) – J9 (Toko Lintang) – M4 (Toko Hoki Jaya) – M5 (Toko Pak Soleh) – M2 (Samudra Snack) – G (Gudang)

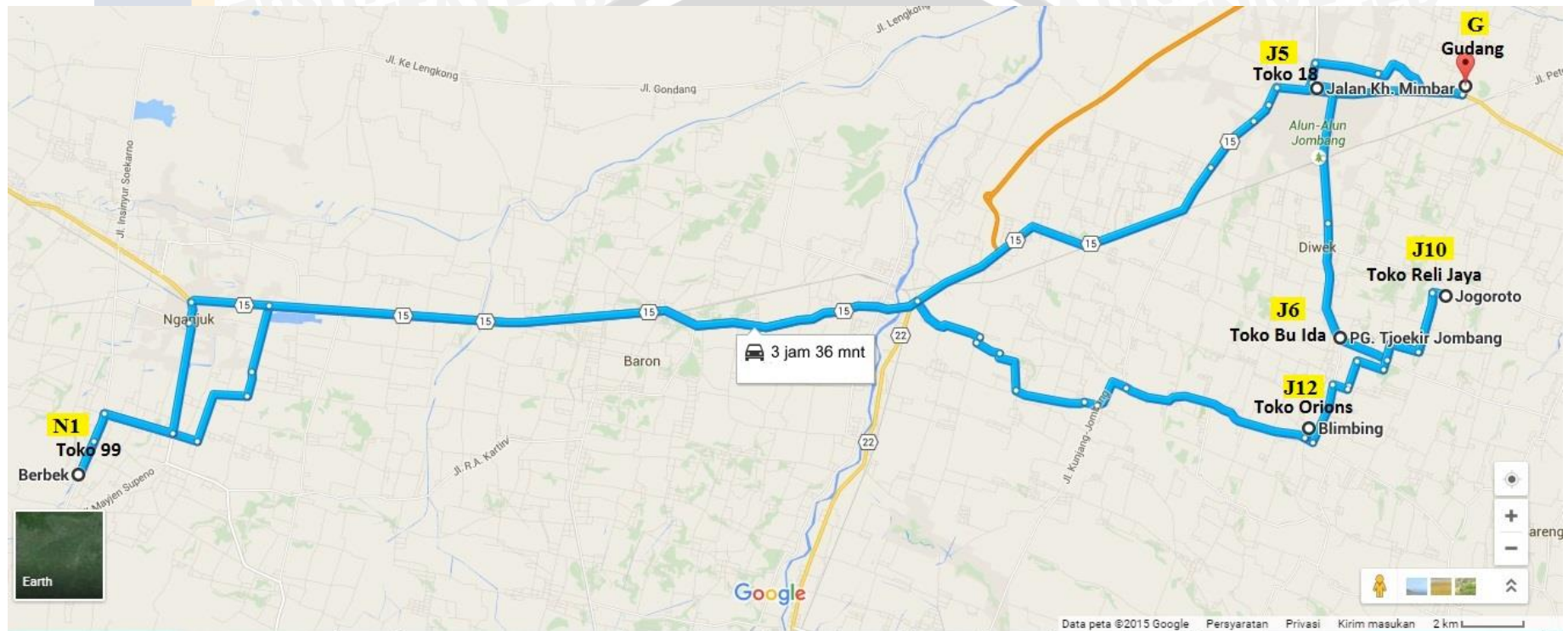
Rute 3



Rute 3 :

G (Gudang) - J1 (Toko Morodadi) – J15 (Toko MT) – M6 (Toko Leo) – M1 (Toko Sido Gede) – M8 (Toko Gatot) – M7 (Imam Snack) –
G (Gudang)

Rute 4



Rute 4 :

G (Gudang) – J5 (Toko 18) – J6 (Toko Bu Ida) – J10 (Toko Reli Jaya) – J12 (Toko Orions) – N1 (Toko 99) – G (Gudang)

Rute 5



Rute 5 :

G (Gudang) – J8 (Toko Comodore) – J7 (Toko Tiga Putra)– J16 (Toko Ela Jaya) – J13 (Toko Pak Khoirul) – J11 (Toko Pak Sholikin) – M3(Toko Bu Riana) – G (Gudang)

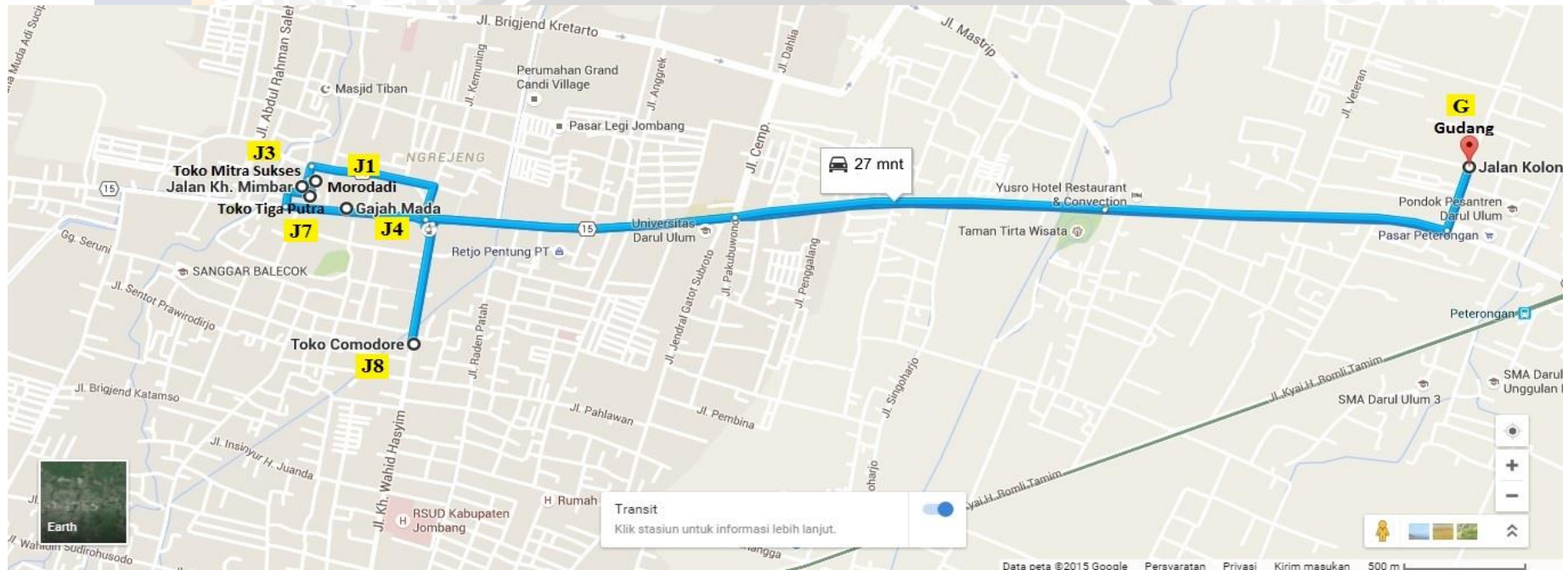


Rute 6 :

G (Gudang) – N4 (Toko Pak Mustain) – N3 (Toko Harsono) – J20 (Permata Snack) – J18 (Toko Alif) – J17 (Toko Bravo) – J19 (Toko Muktar) – G (Gudang)

Lampiran 12. Peta Rute Distribusi Baru

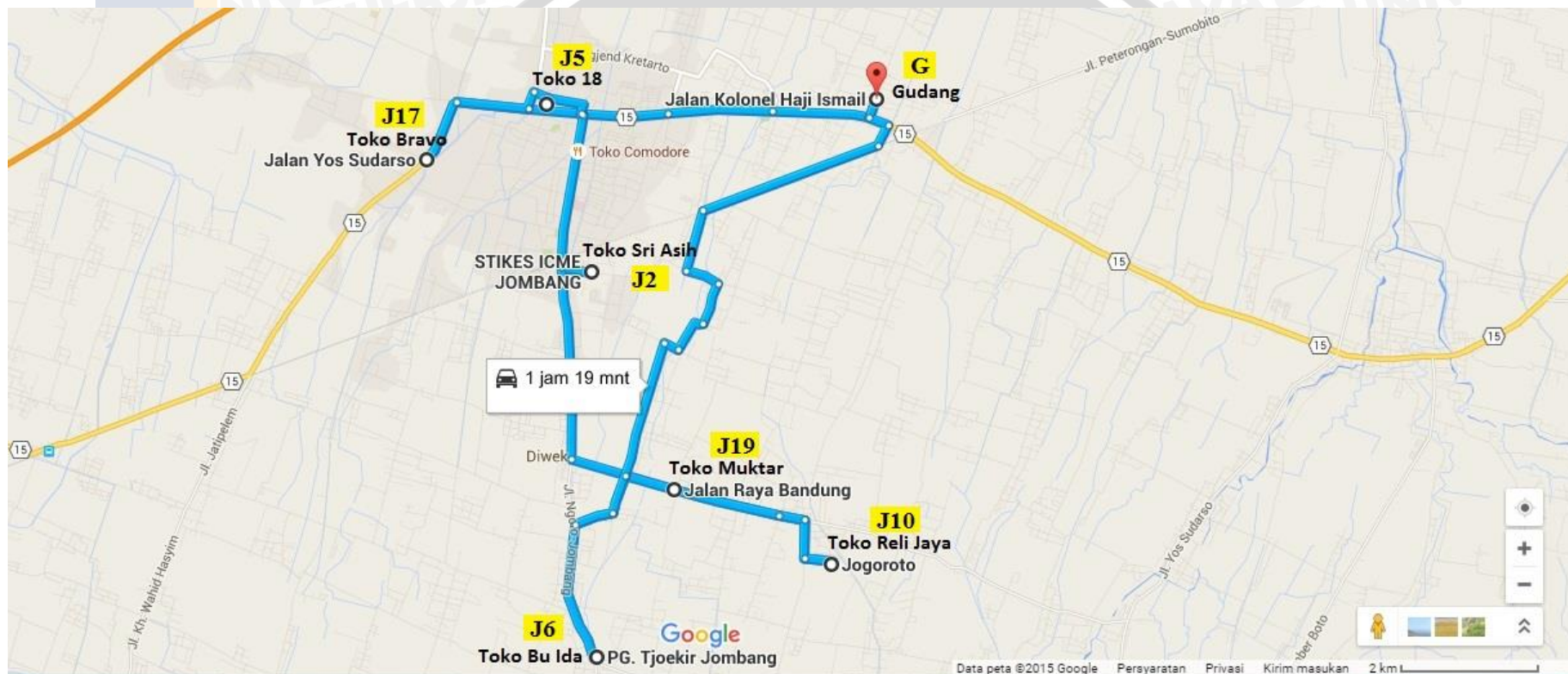
Rute 1



Rute 1 :

G (Gudang) – J8 (Toko Comodoe) – J4 (Toko Gajah Mada) – J3 (Toko Mitra Sukses) – J1 (Toko Morodadi) – J7 (Toko Tiga Putra) –
G (Gudang)

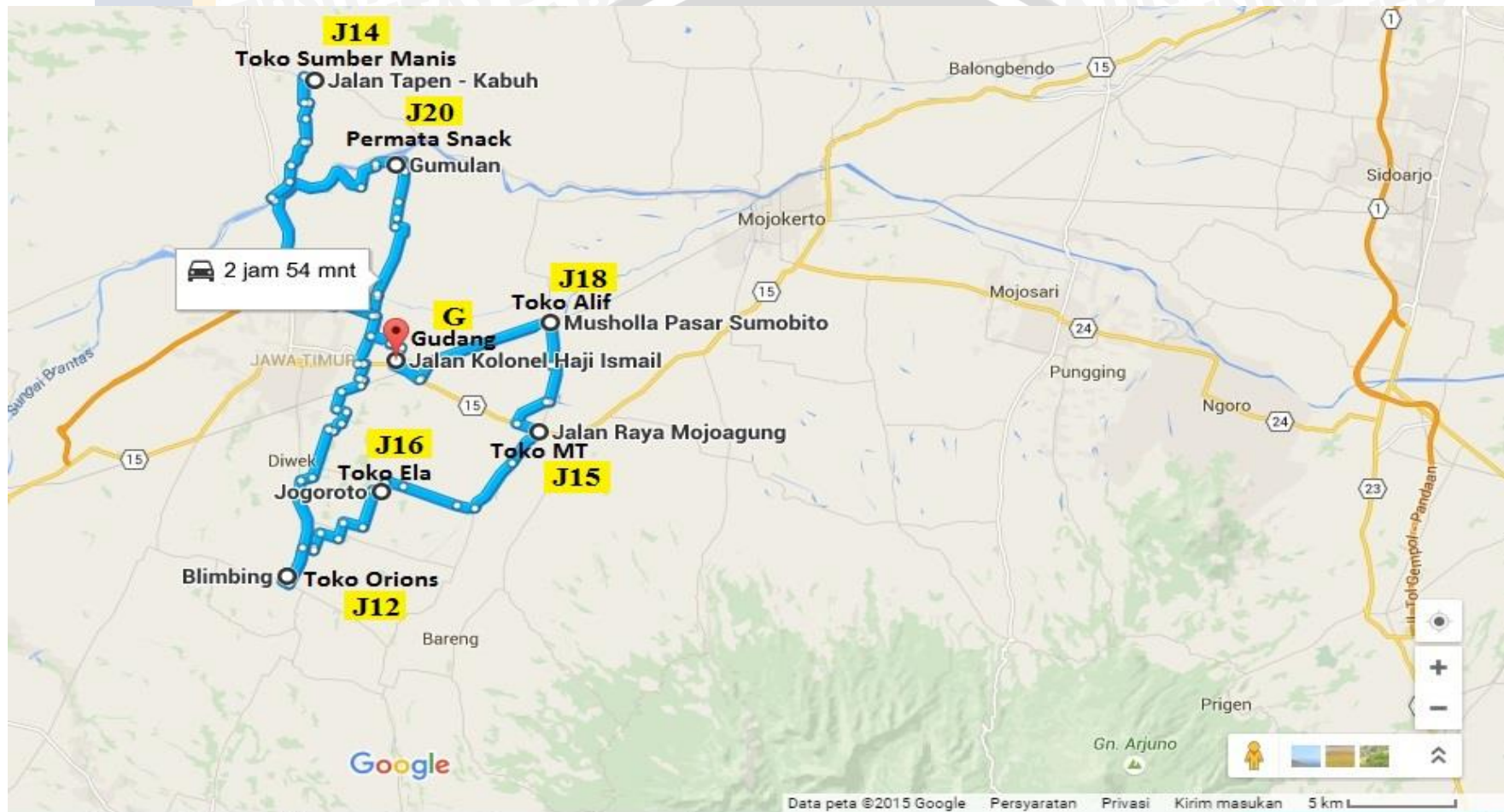
Rute 2



Rute 2 :

G (Gudang) – J17 (Toko Bravo) – J5 (Toko 18) – J2 (Toko Sri Asih) – J10 (Toko Reli Jaya) – J19 (Toko Muktar) – J6 (Toko Bu Ida) – G (Gudang)

Rute 3



Rute 3 :

G (Gudang) – J18 (Toko Alif) – J15 (Toko MT) – J16 (Toko Ela) – J12 (Toko Orions) – J20 (Permata Snack) – J14 (Toko Sumber Manis) – G (Gudang)

Rute 4



Rute 4 :

G (Gudang) – M4 (Toko Hoki Jaya) – J13 (Toko Pak Khoirul) – J9 (Toko Lintang) – J21 (Toko Pujiatin) – M3 (Toko Bu Riana) –G (Gudang)

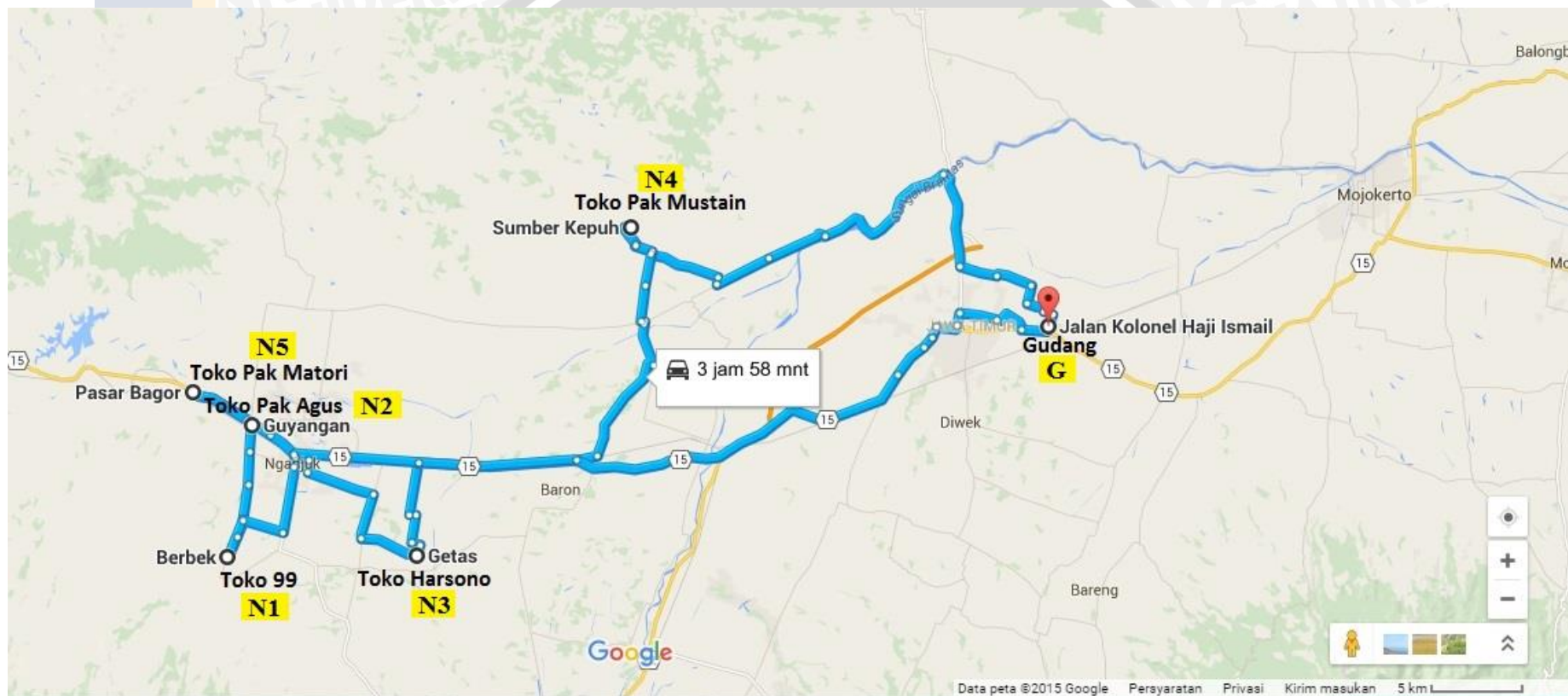
Rute 5



Rute 5 :

G (Gudang) – J11 (Toko Sholikin) – M6 (Toko Leo) – M8 (Toko Gatot) – M5 (Toko Pak Sholeh) – M2 (Samudra Snack) – M1 (Toko Sido Gede) – M7 (Imam Snack) – G (Gudang)

Rute 6



Rute 6:

G (Gudang) – N4 (Toko Pak Mustain) – N3 (Toko Harsono) – N5 (Toko Pak Matori) – N2 (Toko Pak Agus) – N1 (Toko 99) – G (Gudang)