

**EFEKTIVITAS METODE *SEQUENTIAL INSERTION* DAN
METODE *NEAREST NEIGHBOUR* DALAM PENENTUAN
RUTE KENDARAAN PENGANGKUT SAMPAH
DI KOTA YOGYAKARTA**

SKRIPSI

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Oleh
RIAN ANGGARA PUTRA
NIM 10305141027

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2014**

PERSETUJUAN

Skripsi yang berjudul:

EFEKTIVITAS METODE *SEQUENTIAL INSERTION* DAN METODE *NEAREST NEIGHBOUR* DALAM PENENTUAN RUTE KENDARAAN PENGANGKUT SAMPAH DI KOTA YOGYAKARTA

Oleh:



Yogyakarta, 30 Juni 2014

Dosen Pembimbing

Nur Insani, M.Sc

NIP. 19810406 200501 2 005

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul:

“EFEKTIVITAS METODE SEQUENTIAL INSERTION DAN METODE NEAREST NEIGHBOUR DALAM PENENTUAN RUTE KENDARAAN PENGANGKUT SAMPAH DI KOTA YOGYAKARTA”

Yang disusun oleh:

Nama : Rian Anggara Putra

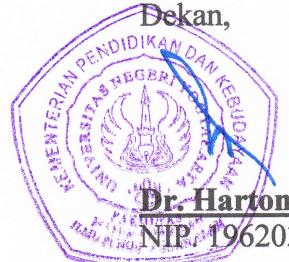
NIM : 10305141027

Prodi : Matematika

Skripsi ini telah diujikan di depan Dewan Penguji Skripsi pada tanggal 8 Juli 2014
dan dinyatakan **LULUS**.

Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
<u>Nur Insani, M.Sc</u> 19810406 200501 2 005	Ketua Penguji		15-7-2014
<u>Husna 'Arifah, M.Sc</u> 19781015 200212 2 001	Sekretaris Penguji		14-7-2014
<u>Sahid, M.Sc</u> 19650905 199110 1 001	Penguji Utama		14-7-2014
<u>Eminugroho R. S., M.Sc</u> 19850414 200912 2 003	Penguji Pendamping		14-7-2014

Yogyakarta, 16 Juli 2014
Fakultas Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Dekan,



Dr. Hartono
NIP 19620329 198702 1 002

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Rian Anggara Putra

NIM : 10305141027

Program Studi : Matematika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Judul Skripsi : **EFEKTIVITAS METODE SEQUENTIAL INSERTION DAN METODE NEAREST NEIGHBOUR DALAM PENENTUAN RUTE KENDARAAN PENGANGKUT SAMPAH DI KOTA YOGYAKARTA**

Menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali pada bagian-bagian tertentu yang diambil sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Apabila ternyata terbukti pernyataan saya ini tidak benar, maka sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya, dan saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Yogyakarta, Juli 2014

Yang Menyatakan,



Rian Anggara Putra
NIM 10305141027

MOTTO

“Kebahagiaan Orang Tua dan Keluarga
adalah yang Utama”

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

Orangtua, Fariz, Caca dan keluarga yang telah mendoakan, menyemangati, serta memberikan nasehat-nasehat

Ummu Faizah yang selalu mengingatkan untuk segera menyelesaikan skripsi ini dan juga memberi dukungan moril

Sahabat-sahabat, Nanang, Udhi, Aan, Aria, Dimas, Rizal, Bayu, Icha, Pela, semua teman-teman KKN dan KKL, serta keluarga besar Matematika Sub 10

Anak-anak Orsen, Himatika 2012, kakak angkatan dan adik angkatan yang memberikan banyak pengalaman di kampus

**EFEKTIVITAS METODE *SEQUENTIAL INSERTION* DAN
METODE *NEAREST NEIGHBOUR* DALAM PENENTUAN
RUTE KENDARAAN PENGANGKUT SAMPAH
DI KOTA YOGYAKARTA**

Oleh:

Rian Anggara Putra

10305141027

ABSTRAK

Sampah merupakan hal yang telah menjadi bagian dari kehidupan sehari-hari. Peningkatan volume sampah akan menjadi permasalahan jika tidak diimbangi oleh upaya penanggulangannya. Salah satu upaya penanggulangannya yakni dengan mengefektifkan rute pengangkutan sampah. Efektivitas rute tersebut diukur dari jumlah volume yang terangkut dan jarak yang ditempuh. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas dari metode yang digunakan, yakni Metode *Sequential Insertion* dan Metode *Nearest Neighbour* yang dimodelkan dengan *Vehicle Routing Problem with Multiple Trips and Intermediate Facility* (VRPMTIF).

VRPMTIF merupakan model yang dapat diterapkan di permasalahan pengangkutan sampah di Sektor Krasak Kota Yogyakarta dengan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sebagai *intermediate facility*. Permasalahan tersebut dapat diselesaikan menggunakan Metode *Sequential Insertion* dan Metode *Nearest Neighbour*. Pemilihan kedua metode tersebut berdasar pada kelebihan yang dimiliki. Metode *Sequential Insertion* memiliki kelebihan dalam penentuan lokasi penyisipan dengan mempertimbangkan waktu penyelesaian yang paling cepat, sedangkan Metode *Nearest Neighbour* mempertimbangkan jarak yang terdekat.

Berdasarkan analisis efektivitas dari kedua metode tersebut, menghasilkan Metode *Nearest Neighbour* sebagai metode yang membentuk rute lebih efektif dibanding Metode *Sequential Insertion*. Metode *Nearest Neighbour* mampu melayani 36 Tempat Pembuangan Sementara (TPS) dengan total jarak tempuh 310,66 km dan waktu penyelesaian selama 792,99 menit. Jarak dan waktu tersebut lebih efektif 32,86 km dan 49,29 menit dari Metode *Sequential Insertion*. Selain itu, rute yang dibentuk menggunakan Metode *Nearest Neighbour* lebih memaksimalkan jumlah volume yang diangkut pada setiap *trip*.

kata kunci: VRPMTIF, *Sequential Insetion*, *Nearest Neighbour*, rute pengangkutan sampah

KATA PENGANTAR

Syukur alhamdullillah penulis panjatkan kepada Allah atas nikmat serta karunia yang diberikan kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir Sripsi. Skripsi yang berjudul “Efektivitas Metode *Sequential Insertion* dan Metode *Nearest Neighbour* dalam Penentuan Rute Kendaraan Pengangkut Sampah di Kota Yogyakarta” disusun untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan guna meraih gelar Sarjana Sains pada Program Studi Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta.

Skripsi ini tidak dapat diselesaikan tanpa bantuan, dukungan, serta bimbingan beberapa pihak. Penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Hartono, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan akademik.
2. Bapak Dr. Sugiman, selaku Ketua Jurusan Pendidikan Matematika Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan akademik.
3. Bapak Dr. Agus Maman Abadi, selaku Ketua Program Studi Matematika Universitas Negeri Yogyakarta serta Penasehat Akademik yang telah memberikan arahan, motivasi, serta dukungan akademik kepada penulis.
4. Ibu Nur Insani, M.Sc, selaku dosen pembimbing yang telah sangat sabar memberikan bimbingan serta masukan dalam penyusunan skripsi ini.

5. Seluruh dosen Jurusan Pendidikan Matematikan Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan ilmu kepada penulis.
6. Orangtua, keluarga, dan Ummu Faizah yang telah memberikan doa, dukungan, serta semangat kepada penulis.
7. Keluarga besar Matematika 2010 yang telah memberikan makna pertemanan kepada penulis.
8. Seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan dan motivasi kepada penulis.

Penulis menyadari adanya ketidaktelitian, kekurangan dan kesalahan dalam penulisan tugas akhir skripsi ini. Oleh karena itu, penulis menerima kritik dan saran yang bersifat membangun. Semoga penulisan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan pihak yang terkait.

Yogyakarta, Juli 2014

Penulis

Rian Anggara Putra

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Pembatasan Masalah	5
C. Rumusan Masalah	6
D. Tujuan Penelitian	7
E. Manfaat Penelitian	7
BAB II KAJIAN TEORI	
A. Efektivitas	8
B. Graf	8
C. <i>Vehicle Routing Problem</i>	10
D. <i>Vehicle Routing Problem with Multiple Trips and Intermediate Facility</i>	13
E. Metode <i>Sequential Insertion</i> dan Metode <i>Nearest Neighbour</i>	
1. Metode <i>Sequential Insertion</i>	19
2. Metode <i>Nearest Neighbour</i>	22
G. Pengumpulan dan Pengangkutan Sampah	
1. Pengertian Sampah	24

2.	Pewadahan Sampah	25
3.	Pola Pengumpulan Sampah	26
4.	Pola Pengangkutan Sampah	28

BAB III PEMBAHASAN

A.	Data	34
B.	Deskripsi Masalah	36
C.	Formulasi Masalah	38
D.	Model	43
E.	Penyelesaian Menggunakan Metode <i>Sequential Insertion</i>	
1.	Metode <i>Sequential Insertion</i>	47
2.	Diagram Alir Metode <i>Sequential Insertion</i>	49
3.	Penyelesaian Model Menggunakan Metode <i>Sequential Insertion</i>	
a.	Pembentukan <i>Trip</i> Pertama pada Rute Pertama	51
b.	Pembentukan <i>Trip</i> Kedua pada Rute Pertama	53
c.	Pembentukan <i>Trip</i> Ketiga pada Rute Pertama	55
d.	Pembentukan <i>Trip</i> Pertama pada Rute Kedua	58
e.	Pembentukan <i>Trip</i> Kedua pada Rute Kedua	60
f.	Pembentukan <i>Trip</i> Ketiga pada Rute Kedua	62
g.	Pembentukan <i>Trip</i> Pertama pada Rute Ketiga	64
h.	Pembentukan <i>Trip</i> Kedua pada Rute Ketiga	65
i.	Pembentukan <i>Trip</i> Ketiga pada Rute Ketiga	67
j.	Pembentukan <i>Trip</i> Pertama pada Rute Keempat	68
k.	Pembentukan <i>Trip</i> Kedua pada Rute Keempat	69
F.	Penyelesaian Menggunakan Metode <i>Nearest Neighbour</i>	
1.	Metode <i>Nearest Neighbour</i>	72
2.	Diagram Alir Metode <i>Nearest Neighbour</i>	74
3.	Penyelesaian Model Menggunakan Metode <i>Nearest Neighbour</i>	
a.	Pembentukan <i>Trip</i> Pertama pada Rute Pertama	76
b.	Pembentukan <i>Trip</i> Kedua pada Rute Pertama	80
c.	Pembentukan <i>Trip</i> Ketiga pada Rute Pertama	84
d.	Pembentukan <i>Trip</i> Pertama pada Rute Kedua	88

e. Pembentukan <i>Trip</i> Kedua pada Rute Kedua	91
f. Pembentukan <i>Trip</i> Ketiga pada Rute Kedua	95
g. Pembentukan <i>Trip</i> Pertama pada Rute Ketiga	99
h. Pembentukan <i>Trip</i> Kedua pada Rute Ketiga	103
i. Pembentukan <i>Trip</i> Ketiga pada Rute Ketiga	106
j. Pembentukan <i>Trip</i> Pertama pada Rute Keempat	110
G. Perbandingan Efektivitas Metode <i>Sequential</i> dan Metode <i>Nearest Neighbour</i>	
1. Perbandingan Efektivitas Volume yang Diangkut	117
2. Perbandingan Efektivitas Jarak	119
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan	121
B. Saran	125
DAFTAR PUSTAKA	127
LAMPIRAN	129

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Jumlah Tempat Pengumpul Sampah Sementara	36
Tabel 3.2. Penotasian TPS di Sektor Krasak	40
Tabel 3.3. Rekapitulasi Rute Lama Sektor Krasak	41
Tabel 3.4. Analisis Volume Sampah yang Terangkut pada Rute Lama	42
Tabel 3.5. Rekapitulasi Hasil Penyelesaian Masalah Menggunakan Metode <i>Sequential Insertion</i>	70
Tabel 3.6. Analisis Volume Sampah yang Terangkut pada Rute dengan Metode <i>Sequential Insertion</i>	71
Tabel 3.7. Rekapitulasi Hasil Penyelesaian Masalah Menggunakan Metode <i>Nearest Neighbour</i>	115
Tabel 3.8. Analisis Volume Sampah yang Terangkut pada Rute dengan Metode <i>Nearest Neighbour</i>	116
Tabel 3.9. Efektivitas Volume yang Diangkut	118
Tabel 3.10. Efektivitas Jarak	119
Tabel 4.1. Rute yang Dihasilkan dengan Metode <i>Sequential Insertion</i>	123
Tabel 4.2. Rute yang Dihasilkan dengan Metode <i>Nearest Neighbour</i>	124

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Contoh Graf Tak Berarah	9
Gambar 2.2. Contoh Graf Berarah	9
Gambar 2.3. Ilustrasi VRP dengan 3 Kendaraan	10
Gambar 2.4. Ilustrasi VRP dengan 4 <i>Trip</i> dalam 1 Rute	14
Gambar 2.5. Ilustrasi Penyisipan dengan Metode <i>Sequential Insertion</i>	20
Gambar 2.6. Ilustrasi Pelayanan Masing-masing Pola Operasional Persampahan Kota	28
Gambar 2.7. Pola Pengangkutan Sampah dengan Sistem Pengumpulan Individual Langsung	29
Gambar 2.8. Pola Pengumpulan Sampah dengan Sistem Pemindahan Depo	30
Gambar 2.9. Pola Pengangkutan dengan Sistem Pengosongan <i>Container</i> Cara I	31
Gambar 2.10. Pola Pengangkutan dengan Sistem Pengosongan <i>Container</i> Cara II	32
Gambar 2.11. Pola Pengangkutan dengan Sistem Pengosongan <i>Container</i> Cara III	33
Gambar 2.12. Pola Pengangkutan Sampah dengan Sistem <i>Container</i> Tetap	33
Gambar 3.1. <i>Dump</i> Truk dengan Kapasitas 6 m ³	37
Gambar 3.2. Diagram Alir Metode <i>Sequential Insertion</i>	50
Gambar 3.3. Diagram Alir Metode <i>Nearest Neighbour</i>	75

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Volume Sampah	130
Lampiran 2. Rute Kendaraan Pengangkut Sampah	134
Lampiran 3. Matriks Jarak antar TPS/TPA	137
Lampiran 4. Perhitungan Waktu Penyelesaian	138

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Sampah merupakan hal yang telah menjadi bagian dari kehidupan sehari-hari. Pertumbuhan penduduk menjadi salah satu faktor yang berpengaruh terhadap jumlah sampah di suatu wilayah. Semakin banyak penduduk pada suatu wilayah ditambah lagi dengan jumlah barang yang dikonsumsi, turut menyumbang kapasitas sampah pada lingkungan tersebut. Hal tersebut dapat diartikan dengan peningkatan pertumbuhan penduduk sebanding dengan volume sampah yang dihasilkan. Menurut Undang-undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, sampah merupakan sisa kegiatan sehari-hari manusia dan atau proses alam yang berbentuk padat. Peningkatan volume sampah akan menjadi permasalahan jika tidak diimbangi oleh upaya penanggulangannya. Upaya penanggulangan sampah antara lain dengan disediakannya sarana dan prasarana, seperti disediakannya Tempat Pembuangan Sementara (TPS), Tempat Pembuangan Akhir (TPA) dan sumber daya manusia yang turut menjaga kebersihan lingkungan. Berdasarkan Peraturan Daerah Kota 18 Tahun 2002 tentang Pengelolaan Kebersihan, disebutkan bahwa pengelolaan sampah menjadi tanggung jawab bersama antara Pemerintah Daerah dan masyarakat. Badan Pemerintah Daerah yang salah satu fungsinya menangani pengelolaan sampah dan kebersihan lingkungan tersebut adalah Badan Lingkungan Hidup (BLH) Kota Yogyakarta.

Salah satu tugas BLH Kota Yogyakarta adalah menjaga kebersihan Kota Yogyakarta dengan mengangkut sampah-sampah yang terkumpul di tempat pengumpulan sampah untuk selanjutnya dibuang ke TPA. BLH Kota Yogyakarta menyediakan tempat pengumpul sampah yakni berupa depo, TPS dan landasan *container*. Depo merupakan tempat pengumpul sampah permanen yang dibangun dengan kapasitas cukup besar. TPS merupakan tempat pengumpul sampah yang dibangun dengan kapasitas relatif lebih kecil dan disediakan untuk menampung sampah perumahan, sedangkan landasan *container* merupakan tempat sampah yang menggunakan bagian landasan truk *container* sebagai tempat pengumpulan sampah. Sistem pengangkutan sampah di Kota Yogyakarta dibagi menjadi tiga, yaitu sistem pengangkutan dari depo ke TPA, sistem pengangkutan dari TPS ke TPA dan sistem pengangkutan dari landasan *container* ke TPA. Untuk mengangkut sampah dari tempat-tempat pengumpul sampah ke TPA, BLH Kota Yogyakarta menyediakan sekitar 30 truk yang berkapasitas 6 m^3 . Khusus untuk tempat pengumpul sampah berupa landasan *container*, sampah diangkut dengan truk *container*.

Di Kota Yogyakarta, sistem pengangkutan sampah dibagi dalam 5 sektor/wilayah, yaitu Sektor Gunungketur, Sektor Kotagede, Sektor Krasak, Sektor Malioboro-Kranggan dan Sektor Ngasem-Gading. Pada masing-masing sektor, telah terbagi tempat-tempat pengumpul sampah beserta rute kendaraan pengangkut sampah. Sektor dengan tempat pengumpul sampah paling banyak adalah Sektor Krasak. Pada Sektor Krasak terdapat 37 TPS dan 1 depo. Pada Sektor Krasak juga disediakan 6 truk untuk mengangkut sampah dari TPS dan

depo tersebut. Akan tetapi dalam penentuan rute kendaraan pengangkut sampah di Sektor Krasak Kota Yogyakarta masih belum efektif. Kurang efektifnya rute kendaraan tersebut didasari oleh proses pengangkutan sampah yang kurang memaksimalkan kapasitas kendaraan pengangkut yang digunakan. Oleh sebab itu, kendaraan pengangkut sampah akan membentuk rute baru untuk menyelesaikan proses pengangkutan sampah yang tidak dimaksimalkan pada rute sebelumnya. Penambahan rute baru tersebut menyebabkan jarak tempuh kendaraan menjadi semakin jauh. Penentuan rute kendaraan pengangkut sampah yang efektif adalah yang dapat meminimalkan jarak, mempersingkat waktu perjalanan dan menghemat biaya transportasi dengan tetap memaksimalkan kapasitas kendaraan yang digunakan dalam proses pengangkutan.

Permasalahan pengangkutan atau pendistribusian dengan mempertimbangkan rute kendaraan, jenis kendaraan yang digunakan, dan masalah penjadwalan kendaraan dikenal dengan *Vehicle Routing Problem* (VRP). VRP mempunyai beberapa tujuan, antara lain meminimalkan jarak tempuh kendaraan, jumlah kendaraan, dan tujuan lain sesuai dengan karakteristik permasalahan (Lisye, dkk, 2009). Pada penentuan rute kendaraan pengangkut sampah, rute kendaraan diawali dan diakhiri di depot. Akan tetapi sebelum kendaraan kembali ke depot, sampah harus dibuang ke TPA selaku fasilitas antara (*intermediate facility*). *Intermediate facility* merupakan fasilitas tambahan yang digunakan dalam membentuk rute (Angelelli & Speranza, 2002). *Intermediate facility* juga merupakan tempat dimana kendaraan dapat mengangkut (*loading*) atau membongkar (*unloading*) muatan. Penentuan rute kendaraan pengangkut sampah

diawali dengan kendaraan meninggalkan depot dalam kondisi kosong (belum diberi muatan) menuju ke beberapa TPS untuk mengangkut sampah. Ketika muatan pada kendaraan telah mencapai batas maksimal, maka kendaraan akan menuju ke *intermediate facility* (dalam hal ini TPA) untuk *unloading*. Selanjutnya kendaraan akan memulai untuk melakukan pengangkutan kembali, demikian seterusnya hingga batas waktu yang ditetapkan berakhir. Dimulainya kendaraan untuk melakukan pengangkutan kembali sebelum batas waktu yang ditetapkan berakhir disebut *multiple trips*. *Multiple trips* berarti bahwa setiap kendaraan dapat keluar dan masuk depot lebih dari satu kali selama periode perencanaan (Lisye, dkk, 2009).

Salah satu metode yang dapat diterapkan untuk menyelesaikan VRP dan variasinya yakni Metode *Heuristik*. Metode *Heuristik* merupakan teknik untuk menyelesaikan permasalahan dengan lebih menekankan pada performa komputasi sederhana. Menurut Laporte (1983), salah satu contoh Metode *Heuristik* antara lain Metode *Insertion* dan *Nearest Neighbour*. Metode *Insertion* memiliki kelebihan dalam pemilihan pelanggan, yakni dengan mempertimbangkan posisi pelanggan tersebut pada busur penyisipan yang tersedia, sehingga didapat hasil yang terbaik. Chairul, dkk (2014) mendefinisikan Metode *Sequential Insertion* sebagai metode untuk memecahkan masalah dengan cara menyisipkan pelanggan di antara pelanggan yang telah terbentuk agar didapat hasil yang maksimal. Metode *Nearest Neighbour* memiliki kelebihan dalam penentuan jarak yang dihasilkan. Chairul, dkk. (2014) juga mendefinisikan Metode *Nearest Neighbour* sebagai metode untuk memecahkan masalah dengan cara mempertimbangkan

jarak yang tependek. Hal tersebut dapat meminimalkan jarak tempuh dan waktu perjalanan yang digunakan kendaraan. Telah banyak penelitian dalam proses penentuan rute kendaraan pengangkutan sampah menggunakan Metode *Sequential Insertion* atau Metode *Nearest Neighbour*. Beberapa penelitian terakhir tentang Metode *Sequential Insertion* dan Metode *Nearest Neighbour* antara lain, Lisye dkk. (2009) meneliti tentang penentuan rute truk pengumpul sampah di Bandung menggunakan Metode *Sequential Insertion*, Fatharani dkk. (2013) meneliti tentang penentuan rute kendaraan menggunakan Metode *Nearest Neighbour* dengan membandingkan pengaruh perubahan waktu pelayanan sampah terhadap waktu penyelesaian akhirnya, Eminugroho Ratna Sari dan Dwi Lestari (2013) meneliti sistem pengangkutan sampah di Kota Yogyakarta menggunakan Algoritma *Sequential Insertion*. Hasil penelitian tersebut membuktikan bahwa metode yang diterapkan mampu menghasilkan rute yang lebih efektif dari rute sebelumnya, namun tidak banyak penelitian yang membandingkan efektivitas dari kedua metode tersebut.

Berdasarkan uraian di atas, peneliti tertarik membandingkan Metode *Sequential Insertion* dan Metode *Nearest Neighbour*, serta menerapkannya pada model *Vehicle Routing Problem with Multiple Trips and Intermediate Facility* (VRPMTIF).

B. Pembatasan Masalah

Untuk mengarahkan agar penelitian yang dikaji lebih mendetail dan sesuai dengan judul serta tujuan penulisan tugas akhir ini, maka diperlukan pembatasan masalah yang akan dibahas sebagai berikut.

1. Tempat pengumpul sampah yang digunakan sebagai sampel penelitian adalah tempat pengumpul sampah yang tersebar di Sektor Krasak Kota Yogyakarta.
2. Pola pengangkutan sampah yang digunakan adalah pola pengangkutan individual langsung (*door to door*) menggunakan kendaraan angkut berupa truk dengan kapasitas seragam, yakni 6 m^3 .
3. Asumsi jalan yang ditempuh tidak macet dan kecepatan rata-rata truk adalah sama, yakni 40 km/jam.
4. Kendaraan yang digunakan adalah truk milik Bidang Kebersihan Badan Lingkungan Hidup (BLH) Kota Yogyakarta.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, dirumuskan permasalahan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Bagaimana model *Vehicle Routing Problem* (VRP) dalam permasalahan penentuan rute kendaraan pengangkut sampah di Sektor Krasak Kota Yogyakarta?
2. Bagaimana penyelesaian model *Vehicle Routing Problem* (VRP) yang terbentuk menggunakan Metode *Sequential Insertion* dan Metode *Nearest Neighbour*?
3. Bagaimana efektivitas penggunaan Metode *Sequential Insertion* dan Metode *Nearest Neighbour* dalam permasalahan penentuan rute kendaraan pengangkut sampah di Sektor Krasak Kota Yogyakarta?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Membentuk model *Vehicle Routing Problem* (VRP) dalam permasalahan penentuan rute kendaraan pengangkut sampah di Sektor Krasak Kota Yogyakarta.
2. Menyelesaikan model yang terbentuk dengan menggunakan Metode *Sequential Insertion* dan Metode *Nearest Neighbour*.
3. Mengetahui efektivitas penggunaan Metode *Sequential Insertion* dan Metode *Nearest Neighbour* dalam permasalahan penentuan rute kendaraan pengangkut sampah di Sektor Krasak Kota Yogyakarta.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan manfaat yaitu sebagai berikut.

1. Bagi Penulis, untuk mengetahui penentuan rute kendaraan dengan menggunakan Metode *Sequential Insertion* dan Metode *Nearest Neighbour* dalam menyelesaikan model *Vehicle Routing Problem* (VRP).
2. Bagi Pemerintah Kota, khususnya Bidang Kebersihan Badan Lingkungan Hidup (BLH) Kota Yogyakarta adalah sebagai alternatif solusi mengenai penentuan rute kendaraan pengangkut sampah khususnya di Sektor Krasak Kota Yogyakarta.

BAB II **KAJIAN TEORI**

A. Efektivitas

Efektivitas berasal dari kata efektif yang berarti berhasil atau sesuatu yang dilakukan berhasil dengan baik. Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) mendefinisikan efektivitas sebagai ketepatan penggunaan untuk menunjang tujuan. Efektivitas merupakan unsur pokok untuk mencapai tujuan atau sasaran yang telah ditentukan sebelumnya.

Pada penelitian ini, peneliti menekankan kata efektivitas pada hasil perbandingan metode-metode yang digunakan. Metode dikatakan efektif apabila metode yang dibandingkan menghasilkan rute dengan jarak tempuh yang paling minimal dalam menyelesaikan proses pengangkutan.

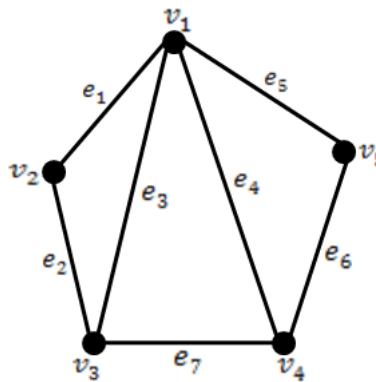
B. Graf

Sebuah graf G didefinisikan sebagai pasangan himpunan (V, E) , dengan V adalah himpunan tak kosong dari simpul-simpul pada G , $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, dan E adalah himpunan rusuk pada G yang menghubungkan sepasang simpul, $E = \{(v_i, v_j) \mid v_i, v_j \in V\}$. Dalam proses pengangkutan, simpul-simpul pada graf merepresentasikan lokasi-lokasi yang dituju, sedangkan rusuk merepresentasikan bagian jalan yang dilalui.

Berdasarkan orientasi arah pada rusuknya, graf digolongkan menjadi dua yaitu graf tak berarah dan graf berarah.

1. Graf Tak Berarah (*Undirected Graph*)

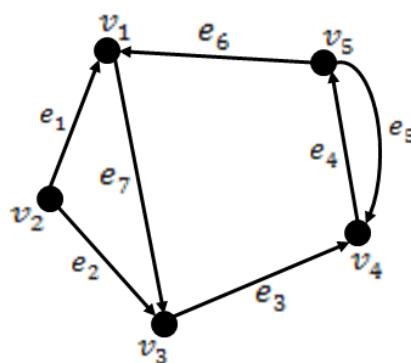
Graf tak berarah adalah graf yang rusuknya tidak mempunyai orientasi arah. Urutan pasangan simpul yang dihubungkan oleh rusuk tidak diperhatikan. Jadi $(v_i, v_j) = (v_j, v_i)$ adalah rusuk yang sama.



Gambar 2.1. Contoh Graf Tak Berarah

2. Graf Berarah (*Directed Graph*)

Graf berarah adalah graf yang setiap rusuknya memiliki orientasi arah. Pada graf berarah, $(v_i, v_j) \neq (v_j, v_i)$. Sebagai contoh pada Gambar 2.2, rusuk e_4 dan rusuk e_5 adalah dua rusuk yang berbeda walaupun berikatan dengan dua simpul yang sama, yakni v_4 dan v_5 .

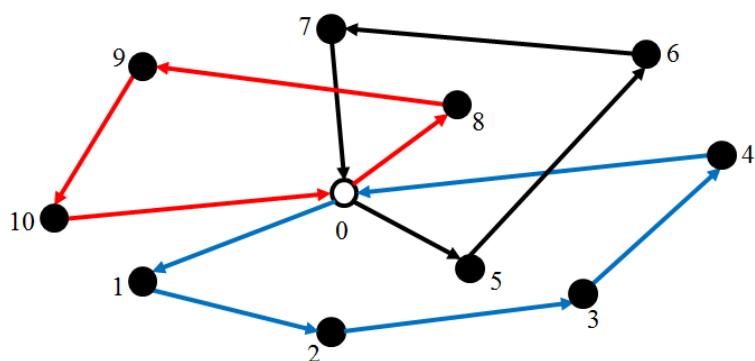


Gambar 2.2. Contoh Graf Berarah

C. *Vehicle Routing Problem*

Vehicle Routing Problem (VRP) merupakan permasalahan yang membahas mengenai pencarian rute suatu kendaraan dengan tujuan tertentu. Menurut Toth & Vigo (2002), VRP adalah masalah penentuan rute kendaraan dalam mendistribusikan barang dari tempat produksi yang dinamakan depot ke konsumen dengan tujuan meminimumkan total jarak tempuh kendaraan. Selain dapat meminimumkan jarak tempuh kendaraan, VRP juga bertujuan meminimumkan biaya transportasi dan waktu tempuh kendaraan yang digunakan. Permasalahan VRP erat kaitannya dengan pendistribusian produk atau barang antara depot dengan konsumen. Depot digambarkan sebagai gudang atau tempat keluar dan kembalinya kendaraan yang digunakan untuk mendistribusikan barang/produk tersebut kepada konsumen.

Pada Gambar 2.3, simpul 0 menyatakan depot, simpul 1, 2, 3, dan 4 menyatakan konsumen yang dilalui oleh kendaraan 1, simpul 5, 6, dan 7 menyatakan konsumen yang dilalui oleh kendaraan 2, sedangkan simpul 8, 9, dan 10 menyatakan konsumen yang dilalui oleh kendaraan 3.



Gambar 2.3. Ilustrasi VRP dengan 3 Kendaraan

VRP pertama kali diteliti oleh Dantzig dan Ramser pada tahun 1959 dalam kasus penjadwalan kendaraan dan penentuan rutenya. Pada tahun 1964, Clarke dan Wright melanjutkan penelitian tersebut dengan memperkenalkan istilah depot sebagai tempat keberangkatan dan kembalinya kendaraan. Semenjak saat itu penelitian tentang VRP terus berkembang dalam dunia perindustrian, khususnya dalam penentuan rute pendistribusian barang. Selain itu, permasalahan VRP dapat diaplikasikan dalam masalah sistem transportasi sehari-hari, misalnya untuk perencanaan rute angkutan umum, rute kendaraan pengumpul sampah, rute pembersihan jalan, dan lain sebagainya. Menurut Toth dan Vigo (2002), terdapat beberapa komponen dalam VRP. Karakteristik dari komponen-komponen tersebut perlu diperhatikan di dalam permasalahan VRP. Komponen-komponen VRP antara lain sebagai berikut.

1. Jaringan Jalan

Jaringan jalan biasanya dideskripsikan dalam sebuah graf yang terdiri dari *edge* (rusuk) yang merepresentasikan bagian jalan yang digunakan dan *vertex* (simpul) yang merepresentasikan konsumen dan depot.

2. Konsumen

Dalam menyelesaikan masalah VRP, terlebih dahulu harus menetapkan lokasi konsumen-konsumen yang ada. Kemudian diperhatikan pula permintaan yang dibutuhkan oleh konsumen tersebut. Besarnya permintaan yang dibutuhkan oleh konsumen, mempengaruhi lamanya waktu bongkar-muat (*loading-unloading*) barang. Selain itu, perlu diperhatikan

juga apakah ada rentang waktu (*time window*) yang disyaratkan dalam melayani konsumen-konsumen tersebut.

3. Depot

Lokasi dimana depot berada juga merupakan komponen yang penting, sebab depot merupakan tempat awal dan berakhirnya suatu kendaraan dalam mendistribusikan barang. Kemudian perlu diketahui jumlah kendaraan yang ada pada depot serta jam operasional yang ditentukan pada depot. Tujuannya untuk membatasi waktu kinerja kendaraan dalam proses distribusi.

4. Kendaraan

Komponen yang perlu diperhatikan dari kendaraan yaitu antara lain, jumlah dan kapasitas kendaraan yang digunakan. Kapasitas kendaraan tersebut membatasi permintaan konsumen, artinya jumlah permintaan konsumen tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan yang digunakan. Kemudian ditentukan pula bahwasanya dalam satu rute hanya dilayani oleh satu kendaraan. Kemudian dalam satu kendaraan, disediakan alat untuk melayani konsumen (*loading-unloading*) dan biaya-biaya yang berhubungan dengan penggunaan kendaraan tersebut, seperti misalnya bahan bakar yang dikeluarkan, dan lainnya.

5. Pengemudi

Pengemudi memiliki kendala seperti jam kerja harian, durasi maksimum perjalanan, dan tambahan jam lembur jika diperlukan.

Toth & Vigo (2002) juga mendefinisikan tujuan umum permasalahan VRP yaitu meminimumkan jarak dan biaya tetap yang berhubungan dengan kendaraan, meminimumkan jumlah kendaraan yang dibutuhkan untuk melayani semua konsumen, menyeimbangkan rute-rute dalam hal waktu dan muatan kendaraan, meminimumkan pinalti akibat pelayanan yang kurang memuaskan terhadap konsumen, seperti keterlambatan pengiriman dan lain sebagainya.

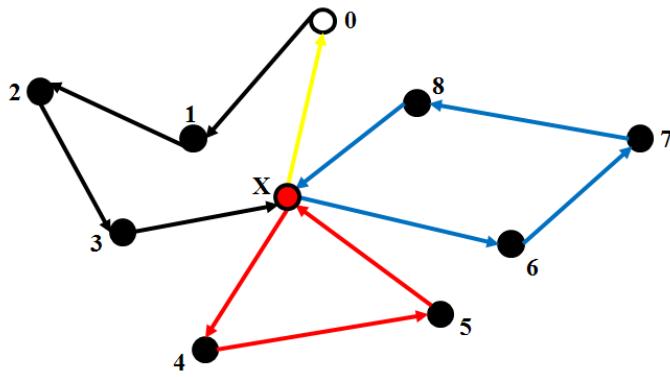
Untuk mencapai tujuan-tujuan tersebut, perlu diperhatikan beberapa batasan yang harus dipenuhi yaitu setiap kendaraan yang akan mendistribusikan barang kepada konsumen harus memulai rute perjalanan dari depot, setiap konsumen hanya boleh dilayani satu kali oleh satu kendaraan, setiap konsumen mempunyai permintaan yang harus dipenuhi, diasumsikan permintaan tersebut sudah diketahui sebelumnya, dan setiap kendaraan memiliki batasan tertentu sehingga setiap kendaraan akan melayani konsumen sesuai dengan kapasitasnya.

D. *Vehicle Routing Problem with Multiple Trips and Intermediate Facility*

Vehicle Routing Problem with Multiple Trips and Intermediate Facility (VRPMTIF) merupakan salah satu variasi dari permasalahan VRP dengan menambahkan kendala *multiple trips* dan *intermediate facility*.

Intermediate facility merupakan fasilitas tambahan yang digunakan dalam pembentukan rute (Angelelli & Speranza, 2002). Dalam proses pengangkutan, *intermediate facility* menunjukkan tempat dimana kendaraan dapat membongkar muatan. *Intermediate facility* juga merupakan tempat yang harus dilalui kendaraan sebelum kembali ke depot, sedangkan *trip* merupakan serangkaian perjalanan kendaraan dalam melayani konsumen. Rangkaian perjalanan yang dimaksud dapat

di awali dari depot ke *intermediate facility*, dari *intermediate facility* ke *intermediate facility*, atau dari *intermediate facility* ke depot. Kendala *multiple trips* memberi batasan bahwa dalam satu rute perjalanan dapat terdiri lebih dari satu *trip*, minimal *trip* dari depot ke *intermediate facility* dan *trip* dari *intermediate facility* ke depot. Dalam penelitian ini, setiap satu rute perjalanan ditempuh oleh satu kendaraan. Berikut ilustrasi VRPMTIF dengan 4 *trip* dalam 1 rute/kendaraan.



Gambar 2.4. Ilustrasi VRPMTIF dengan 4 *Trip* dalam 1 Rute

Pada Gambar 2.4, simpul 0 menyatakan depot dan simpul X menyatakan *intermediate facility*. Simpul 1,2, dan 3 menyatakan konsumen yang dilalui kendaraan pada *trip* pertama, simpul 4 dan 5 menyatakan konsumen yang dilalui kendaraan pada *trip* kedua, simpul 6, 7, dan 8 menyatakan konsumen yang dilalui kendaraan pada *trip* ketiga, sedangkan *trip* keempat adalah perjalanan kendaraan dari *intermediate facility* (X) ke depot (0).

VRPMTIF didefinisikan sebagai suatu graf berarah $G = (V, E)$ dengan $V = \{0, 1, \dots, n, n + 1\}$ adalah himpunan simpul, 0 menyatakan depot yaitu tempat kendaraan memulai dan mengakhiri rute perjalanan, $n + 1$ sebagai *intermediate facility*, dan $\{1, 2, \dots, n\}$ menyatakan konsumen (C). $E = \{(i, j) | i, j \in V, i \neq j\}$

adalah himpunan rusuk berarah yang menghubungkan antar simpul. Setiap simpul $i \in V \setminus \{0, n + 1\}$ memiliki permintaan/muatan (*demand*) sebesar d_i dengan d_i adalah bilangan positif dan memiliki waktu pelayanan (*loading* dan *unloading*). Himpunan $K = \{1, 2, \dots, k\}$ menyatakan himpunan rute yang diwakili oleh kendaraan dengan kapasitas yang identik yaitu Q_{maks} , sehingga setiap rute dibatasi oleh kapasitas maksimal kendaraan. Setiap rusuk berarah (i, j) memiliki jarak tempuh $c_{i,j}$ yang menyatakan jarak dari simpul i ke simpul j dengan $i \neq j$ atau $c_{i,i} = 0$. Pencarian rute kendaraan juga dibatasi oleh waktu yang ditentukan oleh perusahaan sebesar T_{maks} , sehingga semua kendaraan dapat kembali ke depot dengan tepat waktu.

Permasalahan VRPMTIF mempunyai tujuan untuk meminimumkan total jarak tempuh rute kendaraan yang melayani semua konsumen dari depot melewati *intermediate facility* dan berakhir pada depot. Pada permasalahan VRPMTIF adalah menentukan sejumlah rute kendaraan yang memenuhi kondisi berikut. (1) Setiap rute berawal dan berakhir di depot, (2) setiap konsumen harus dilayani tepat satu kali oleh satu kendaraan, (3) setiap satu kendaraan yang membentuk satu rute perjalanan tidak melebihi waktu yang telah ditentukan, (4) setiap kendaraan diperbolehkan melakukan perjalanan lebih dari satu *trip* jika batasan waktu yang ditentukan mencukupi, (5) dalam pembentukan rute disediakan *intermediate facility* sebagai tempat mengisi atau membongkar muatan, (6) total permintaan/muatan konsumen dari setiap rute tidak melebihi kapasitas kendaraan, dan (7) total jarak dari semua rute diminimumkan.

Permasalahan tersebut kemudian diformulasikan ke dalam model matematis dengan tujuan meminimumkan total jarak tempuh perjalanan kendaraan. Adapun model matematisnya sebagai berikut.

$$\text{Meminimumkan } Z = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} c_{i,j} X_{i,j,k}^t \quad (2.1)$$

dengan variabel keputusan,

$$X_{i,j,k}^t = \begin{cases} 1, & \text{jika terdapat perjalanan dari } i \text{ ke } j \text{ pada trip } t \text{ pada rute } k \\ 0, & \text{jika selainnya} \end{cases} \quad (2.2)$$

$$Y_{i,k}^t = \begin{cases} 1, & \text{jika terdapat muatan pada } i \text{ yang diangkut pada trip } t \\ & \text{dalam rute } k \\ 0, & \text{jika selainnya} \end{cases} \quad (2.3)$$

dengan memisalkan,

$V = \{0, 1, \dots, n, n + 1\}$ = himpunan semua simpul, dengan 0 menyatakan depot dan $n + 1$ menyatakan *intermediate facility*,

$C = \{1, 2, \dots, n\}$ = himpunan konsumen,

$E = \{(i, j) | i, j \in V, i \neq j\}$ = himpunan rusuk berarah,

$T = \{1, 2, \dots, t\}$ = himpunan banyaknya *trip*,

$K = \{1, 2, \dots, k\}$ = himpunan rute yang diwakili oleh kendaraan dengan kapasitas identik,

$c_{i,j}$ = jarak/biaya perjalanan dari konsumen i ke konsumen j ,

d_i = permintaan/muatan pada konsumen i ,

Q = total permintaan/muatan dalam satu rute,

$$Q = \sum_{i \in C} d_i Y_{i,k}^t \quad (2.4)$$

Q_{maks} = kapasitas maksimal dalam satu rute,

v = kecepatan rata-rata kendaraan,

$T_{i,j}$ = waktu perjalanan dari konsumen i ke j ,

$$T_{i,j} = \frac{c_{i,j}}{v} \quad (2.5)$$

l = waktu mengisi muatan ke dalam kendaraan (*loading*) per m^3 ,

u = waktu membongkar muatan dari kendaraan (*unloading*) per m^3 ,

S_k^t = waktu pelayanan (*loading* dan *unloading*) muatan pada *trip* t pada satu rute k ,

$$S_k^t = (l + u) \cdot \sum_{i=1}^C d_i Y_{i,k}^t \quad (2.6)$$

CT = total waktu penyelesaian rute,

T_{maks} = waktu maksimal yang disediakan untuk melakukan rute perjalanan.

Adapun kendala-kendala yang diberikan adalah sebagai berikut.

1. Setiap rute melayani konsumen dimulai dari depot yang dimodelkan sebagai

$$\sum_{j \in C} X_{0,j,k}^1 = 1, \quad \forall k \in K. \quad (2.7)$$

2. Setiap konsumen hanya dilayani tepat satu kali pada satu rute yang dimodelkan sebagai

$$\sum_{j \in C} \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} X_{i,j,k}^t = 1, \quad \forall i \in C, j \neq i, \quad (2.8)$$

$$\sum_{i \in C} \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} X_{i,j,k}^t = 1, \quad \forall j \in C, i \neq j. \quad (2.9)$$

3. Total permintaan/muatan pada suatu *trip* tidak melebihi kapasitas maksimal dalam setiap rute, dimodelkan sebagai

$$\sum_{i \in C} d_i Y_{i,k}^t \leq Q_{maks}, \quad \forall t \in T, \forall k \in K. \quad (2.10)$$

4. Kendaraan menuju *intermediate facility* untuk membongkar (*unloading*) muatan yang dimodelkan sebagai

$$\sum_{i \in C} X_{i,n+1,k}^t = 1, \quad \forall t \in T, \forall k \in K. \quad (2.11)$$

5. Waktu penyelesaian rute dihitung dari jumlah waktu perjalanan (Persamaan 2.5) ditambah dengan waktu pelayanan (Persamaan 2.6) muatan, dirumuskan sebagai

$$CT = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{t \in T} T_{i,j} X_{i,j,k}^t + \sum_{t \in T} S_k^t, \quad \forall k \in K. \quad (2.12)$$

6. Waktu penyelesaian rute tidak melebihi waktu maksimal yang disediakan untuk melakukan rute perjalanan, dimodelkan sebagai

$$CT \leq T_{maks}. \quad (2.13)$$

7. Rute dapat dimulai dari *intermediate facility* pada *trip* selanjutnya jika waktu maksimal yang disediakan masih mencukupi, dimodelkan sebagai

$$\sum_{j \in C} X_{n+1,j,k}^t = 1, \quad \forall t \in T \setminus \{1\}, \forall k \in K. \quad (2.14)$$

8. Setiap rute diakhiri pada depot dalam keadaan kosong (tanpa muatan) yang dimodelkan sebagai

$$\sum_{t \in T} X_{n+1,0,k}^t = 1, \quad \forall k \in K. \quad (2.15)$$

9. Variabel keputusan yang digunakan merupakan bilangan biner yang dimodelkan sebagai

$$X_{i,j,k}^t \in \{0,1\}, \quad \forall k \in K, \forall i, j \in V, i \neq j. \quad (2.16)$$

$$Y_{i,k}^t \in \{0,1\}, \quad \forall k \in K, \forall i \in V, i \neq j. \quad (2.17)$$

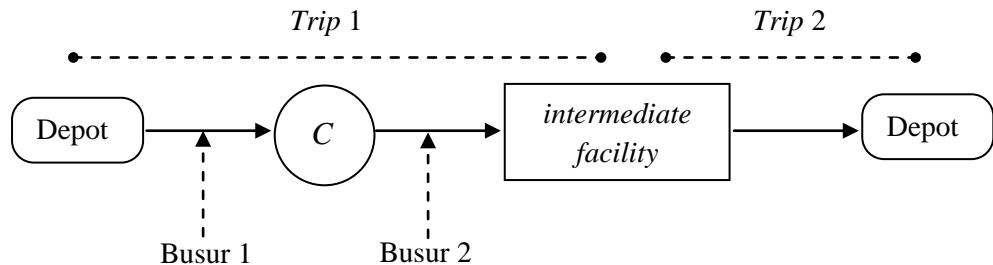
E. Metode *Sequential Insertion* dan Metode *Nearest Neighbour*

Penyelesaian masalah rute kendaraan atau *Vehicle Routing Problem* (VRP) memiliki banyak metode untuk memecahkannya. Salah satu metode yang dapat diterapkan untuk menyelesaikan VRP dan variasinya adalah Metode *Heuristik*. Metode *Heuristik* merupakan teknik untuk menyelesaikan permasalahan dengan lebih menekankan pada performa komputasi sederhana. Menurut Dedy Sukma (2005), Metode *Heuristik* mudah diimplementasikan pada formulasi matematis yang diketahui dapat menjamin suatu solusi optimal. Menurut Laporte (1983), salah satu contoh Metode *Heuristik* antara lain Metode *Insertion* dan *Nearest Neighbour*.

1. Metode *Sequential Insertion*

Prinsip dasar dari Metode *Sequential Insertion* adalah dengan menyisipkan konsumen di antara busur penyisipan yang ada pada rute yang dibentuk. Busur penyisipan didefinisikan sebagai lintasan yang menghubungkan secara langsung satu lokasi dengan lokasi yang lain. Menurut Chairul (2014), Metode *Sequential Insertion* adalah cara

memecahkan masalah dengan menyisipkan konsumen diantara urutan konsumen yang telah terbentuk agar didapatkan hasil yang maksimal.



Gambar 2.5. Ilustrasi Penyisipan dengan Metode *Sequential Insertion*

Pada Gambar 2.5, konsumen pertama dinotasikan dengan C . Konsumen pertama akan disisipkan pada busur penyisipan antara depot dan *intermediate facility*. Penyisipan konsumen selanjutnya dapat disisipkan pada busur penyisipan yang ada, yakni pada busur 1 atau busur 2. Menurut Imawati dalam Suprayogi & Yusuf P. (2008) menyatakan bahwa terdapat beberapa kriteria dalam pemilihan konsumen pertama. Adapun kriteria pemilihan konsumen pertama yang dapat digunakan yaitu *earliest deadline*, *earliest ready time*, *shortest time window*, dan *longest travel time*. Berdasarkan karakteristik permasalahan, kriteria yang cocok dan tepat untuk diterapkan dalam pemilihan konsumen pertama adalah berdasar *shortest time window*. Sehingga pada penelitian ini, penentuan node awal diambil berdasarkan waktu penyelesaian terkecil (*shortest time window*).

Adapun langkah-langkah pemecahan masalah VRPMTIF dengan Metode *Sequential Insertion* yang diadopsi dari Lisye, dkk (2009) adalah sebagai berikut.

a. Langkah 1

Mulai dari rute pertama ($k = 1$) dan *trip* pertama ($t = 1$).

Tetapkan permintaan/muatan dalam kendaraan (Q) = 0 m^3 .

b. Langkah 2

Tetapkan semua konsumen yang belum dilewati. Jika semua konsumen telah dilewati, lanjutkan ke langkah 10.

c. Langkah 3

Sisipkan semua konsumen yang belum dilewati pada busur penyisipan yang mungkin pada *trip* t saat ini. Untuk $t = 1$, busur penyisipannya yaitu antara depot (0) dan *intermediate facility* (X).

Untuk $t = t + 1$, busur penyisipannya yaitu antara X dan X .

d. Langkah 4

Hitung waktu penyelesaian rute (CT) berdasarkan Persamaan (2.12) dari setiap penambahan penyisipan konsumen tersebut. Pilih rute yang memiliki CT paling kecil/minimum. Jika $CT \leq$ Waktu maksimal perjalanan (T_{maks}), catat permintaan/muatan konsumen (d_i) dan hitung permintaan/muatan dalam kendaraan ($Q = Q + d_i$), kemudian lanjutkan ke langkah 5. Jika $CT > T_{maks}$, lanjutkan ke langkah 9.

e. Langkah 5

Jika $Q <$ Kapasitas maksimal kendaraan (Q_{maks}), lanjutkan ke langkah 6. Jika $Q = Q_{maks}$, lanjutkan ke langkah 7. Jika $Q > Q_{maks}$, lanjutkan ke langkah 8.

f. Langkah 6

Perbarui *trip* dengan konsumen terpilih, kemudian ulangi langkah 2.

g. Langkah 7

Perbarui *trip* dengan konsumen terpilih. Bentuk *trip* baru ($t = t + 1$), kemudian ulangi langkah 1.

h. Langkah 8

Batalkan pemilihan konsumen terakhir, kemudian ulangi langkah 7.

i. Langkah 9

Batalkan pemilihan konsumen terakhir. Bentuk rute baru ($k = k + 1$), kemudian ulangi langkah 1.

j. Langkah 10

Semua konsumen telah terlewati, maka pencarian rute selesai.

2. Metode *Nearest Neighbour*

Metode *Nearest Neighbour* merupakan metode yang digunakan untuk memecahkan masalah pemilihan rute dengan cara mencari jarak terpendek untuk menempuh lokasi pengiriman (Chairul, dkk. 2014). Prinsip dasar dari Metode *Nearest Neighbour* yaitu membentuk rute perjalanan dengan memilih konsumen yang terdekat dari lokasi awal.

Adapun langkah-langkah pemecahan masalah VRPMTIF dengan Metode *Nearest Neighbour* yang diadiopsi dari Fatharani, dkk. (2013) adalah sebagai berikut.

a. Langkah 1

Tetapkan permintaan/muatan dalam kendaraan ($Q = 0 \text{ m}^3$).

Untuk rute pertama ($k = 1$) pada *trip* pertama ($t = 1$), lokasi awal pada depot (0).

b. Langkah 2

Pilih konsumen tujuan yang paling dekat dengan lokasi awal.

Jika semua konsumen sudah terpilih, lanjutkan ke langkah 11.

c. Langkah 3

Hitung permintaan/muatan kendaraan ($Q = Q + d_i$).

d. Langkah 4

Jika $Q < \text{Kapasitas maksimal kendaraan } (Q_{maks})$, lanjutkan ke langkah 5. Jika $Q = Q_{maks}$, lanjutkan ke langkah 7. Jika $Q > Q_{maks}$, lanjutkan ke langkah 8.

e. Langkah 5

Hitung waktu penyelesaian rute (CT) berdasarkan Persamaan (2.12). Jika $CT \leq \text{Waktu maksimal kendaraan } (T_{maks})$, lanjutkan ke langkah 6. Jika $CT > T_{maks}$, lanjutkan ke langkah 10.

f. Langkah 6

Bentuk konsumen yang terpilih sebagai lokasi awal, kemudian ulangi langkah 2.

g. Langkah 7

Hitung CT . Jika $CT \leq T_{maks}$, lanjutkan ke langkah 9. Jika $CT > T_{maks}$, lanjutkan ke langkah 10.

h. Langkah 8

Batalkan pemilihan konsumen terakhir, kemudian pilih konsumen lain yang belum terpilih yang paling dekat dengan lokasi awal dan lanjutkan ke langkah 3. Jika semua konsumen tidak ada yang layak, lanjutkan ke langkah 9.

i. Langkah 9

Kendaraan menuju *intermediate facility* (X) untuk mengisi atau membongkar muatan. Bentuk *trip* baru ($t = t + 1$) dengan X sebagai lokasi awal, kemudian ulangi langkah 1.

j. Langkah 10

Batalkan pemilihan konsumen terakhir, kemudian kembali ke langkah 1 untuk membentuk rute berikutnya ($k = k + 1$).

k. Langkah 11

Semua konsumen telah terpilih, maka pencarian rute selesai.

F. Pengumpulan dan Pengangkutan Sampah

1. Pengertian Sampah

Pengertian sampah berdasarkan Kamus Besar Bahasa Indonesia adalah barang-barang buangan atau barang yang tidak berharga. Menurut Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan atau proses alam yang berbentuk padat. Menurut SNI 19-2454-2002 tentang Tata Cara Teknik Operasional Sampah Perkotaan, sampah adalah limbah yang bersifat padat yang terdiri dari bahan organik dan anorganik yang dianggap tidak berguna

lagi dan harus dikelola agar tidak membahayakan lingkungan dan melindungi investasi pembangunan. Menurut Tchobanoglous (1977:51) dalam Joseph C., (2011), sumber sampah antara lain berasal dari daerah permukiman, perdagangan, perkantoran/pemerintahan, industri, lapangan terbuka/taman, pertanian dan perkebunan.

2. Pewadahan Sampah

Berdasarkan SNI 19-2454-2002 tentang Tata Cara Teknik Operasional Sampah Perkotaan, Pewadahan sampah adalah aktivitas menampung sampah sementara dalam suatu wadah individual atau komunal di tempat sumber sampah.

a. Wadah Individual

Wadah Individual adalah wadah khusus yang digunakan untuk menampung sampah sementara milik pribadi. Penempatan wadah individual antara lain sebagai berikut.

- 1) Di halaman muka.
- 2) Di halaman belakang untuk sumber sampah dari hotel atau restoran.

b. Wadah Komunal

Wadah Komunal adalah suatu wadah bersama, baik dari berbagai sumber maupun sumber umum guna untuk menampung sampah sementara. Penempatan wadah komunal antara lain sebagai berikut.

- 1) Sedekat mungkin dengan sumber sampah.

- 2) Tidak mengganggu pemakai jalan atau sarana umum lainnya.
- 3) Di luar jalur lalu lintas, pada suatu lokasi yang mudah untuk pengoperasiannya.
- 4) Di ujung gang kecil.
- 5) Di sekitar taman dan pusat keramaian, maksimal mempunyai jarak 100 m.

3. Pola Pengumpulan Sampah

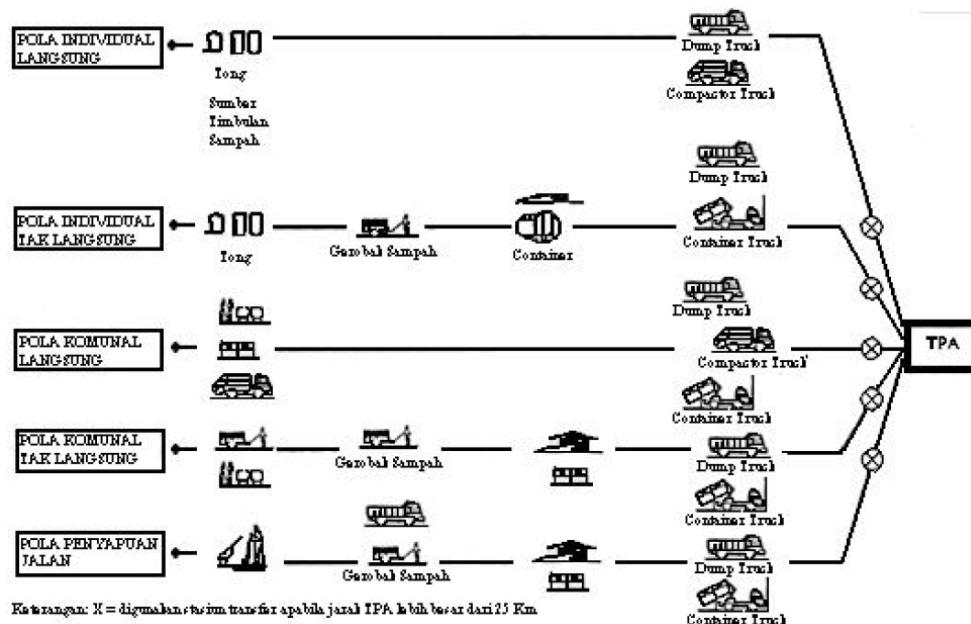
Berdasarkan SNI 19-2454-2002 tentang Tata Cara Teknik Operasional Sampah Perkotaan, pola pengumpulan sampah terdiri dari:

- a. Pola individual langsung dengan persyaratan sebagai berikut.
 - 1) Kondisi jalan cukup lebar dan pengumpulan tidak mengganggu pemakai jalan.
 - 2) Kondisi dan jumlah alat yang memadai.
 - 3) Jumlah timbulan sampah $> 0,3 \text{ m}^3$.
 - 4) Bagi penghuni yang berlokasi di jalan protokol.
- b. Pola individual tidak langsung dengan persyaratan sebagai berikut.
 - 1) Bagi daerah yang partisipasi masyarakatnya pasif.
 - 2) Tersedia lahan untuk lokasi pemindahan.
 - 3) Alat pengumpul sampah masih dapat menjangkau secara langsung.

- 4) Kondisi lebar jalan dapat dilalui alat pengumpul jalan tanpa mengganggu pemakai jalan lainnya.
- c. Pola komunal langsung dengan persyaratan sebagai berikut.
 - 1) Bila alat pengumpul sulit menjangkau sumber-sumber sampah individual.
 - 2) Bila kemampuan pengendalian peralatan relatif rendah.
 - 3) Peran serta masyarakat tinggi.
 - 4) Wadah komunal ditempatkan sesuai dengan kebutuhan dan lokasi yang dituju mudah dijangkau oleh alat pengangkut.
- d. Pola komunal tidak langsung dengan persyaratan sebagai berikut.
 - 1) Peran serta masyarakat tinggi.
 - 2) Wadah komunal ditempatkan sesuai dengan kebutuhan dan lokasi yang dituju mudah dijangkau oleh alat pengangkut.
 - 3) Lahan untuk lokasi pemindahan tersedia.
 - 4) Bagi kondisi daerah tertentu, dapat menggunakan alat pengumpul non mesin (gerobak atau karung).
- e. Pola penyapuan jalan dengan persyaratan sebagai berikut.
 - 1) Juru sapu harus mengetahui cara penyapuan untuk setiap daerah pelayanan.

- 2) Pengumpulan sampah hasil penyapuan jalan diangkut ke lokasi pemindahan untuk kemudian diangkut ke TPA.
- 3) Pengendalian personil dan peralatan harus baik.
- 4) Penanganan penyapuan jalan untuk setiap daerah berbeda, tergantung pada fungsi dan nilai daerah yang dilayani.

Adapun ilustrasi pola pengumpulan sampah perkotaan sebagai berikut.



Gambar 2.6. Ilustrasi Pelayanan Masing-masing Pola Operasional Persampahan Kota

4. Pola Pengangkutan Sampah

Berdasarkan SNI 19-2454-2002 tentang Tata Cara Teknik Operasional Sampah Perkotaan, pola pengangkutan sampah dibagi menurut sistem pengumpulan sampah. Pola pengangkutan tersebut sebagai berikut.

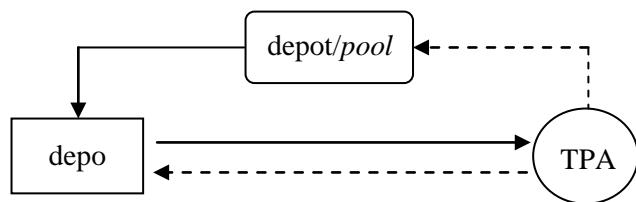
- a. Pola pangangkutan sampah dengan sistem pengumpulan individual langsung (*door to door*), yakni dengan urutan sebagai berikut.
- 1) Kendaraan pengangkut sampah dari depot/*pool* menuju titik sumber sampah pertama untuk mengambil sampah.
 - 2) Kendaraan mengambil sampah pada titik-titik sumber sampah berikutnya sampai kendaraan penuh sesuai dengan kapasitasnya.
 - 3) Kendaraan mengangkut sampah ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah.
 - 4) Setelah pengosongan di TPA, kendaraan menuju lokasi sumber sampah berikutnya sampai *trip* yang telah ditetapkan.



Gambar 2.7. Pola Pengangkutan Sampah dengan Sistem Pengumpulan Individual Langsung (*door to door*)

- b. Pola pengangkutan sampah dengan sistem pemindahan depo, yakni dengan urutan sebagai berikut.
- 1) Kendaraan pengangkut sampah keluar dari depot/*pool* langsung menuju lokasi pemindahan di depo untuk mengangkut sampah ke TPA.

- 2) Dari TPA, kendaraan kembali ke depo untuk pengambilan pada *trip* berikutnya.
- 3) Kendaraan kembali ke depot/pool setelah selesai melakukan pengangkutan.



Keterangan:

→ Pengangkutan dengan muatan

→ Pengangkutan tanpa muatan

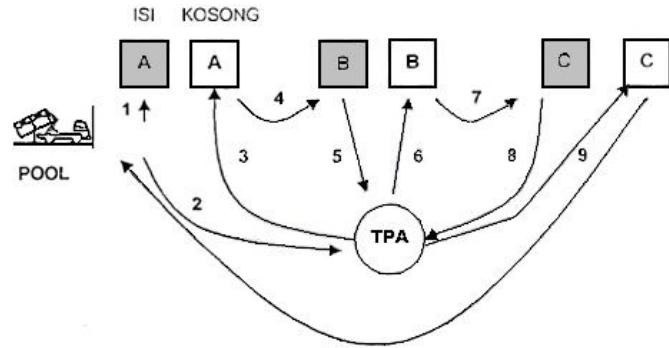
Gambar 2.8. Pola Pengangkutan Sampah Dengan Sistem Pemindahan Depo

c. Pola pengangkutan dengan sistem pengosongan *container*, terbagi menjadi empat cara pengambilan landasan *container* yakni sebagai berikut.

- 1) Pola pengangkutan dengan sistem pengosongan *container* cara I dapat dilihat pada Gambar 2.9, dengan proses sebagai berikut.

- a) Kendaraan dari depot/pool menuju *container* isi pertama untuk mengangkut sampah ke TPA.
- b) *Container* kosong dikembalikan ke tempat semula.
- c) Menuju ke *container* isi berikutnya untuk diangkut ke TPA.
- d) *Container* kosong dikembalikan ke tempat semula.

- e) Demikian seterusnya sampai *container* terakhir.

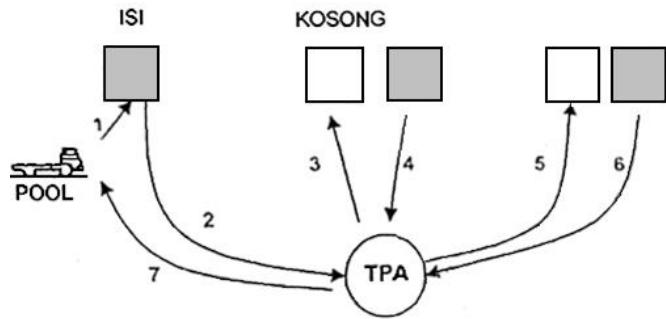


Gambar 2.9. Pola Pengangkutan dengan Sistem Pengosongan *Container* Cara I

Pada Gambar 2.9, angka 1, 2, ..., 10 adalah rute alat angkut.

2) Pola pengangkutan dengan sistem pengosongan *container* cara II dapat dilihat pada Gambar 2.10, dengan proses sebagai berikut.

- Kendaraan dari depot/pool menuju *container* isi pertama untuk mengangkut sampah ke TPA.
- Dari TPA, kendaraan tersebut dengan *container* kosong menuju lokasi kedua untuk menurunkan *container* kosong dan membawa *container* isi untuk diangkut ke TPA.
- Demikian seterusnya sampai selesai.
- Terakhir, kendaraan menuju ke lokasi *container* pertama, kemudian kendaraan kembali ke depot/pool tanpa *container*.

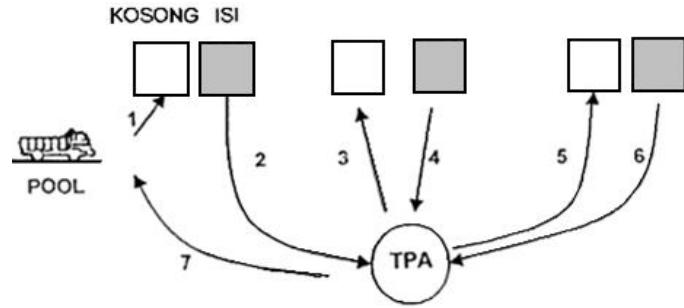


Gambar 2.10. Pola Pengangkutan dengan Sistem Pengosongan *Container* Cara II

Pada gambar 2.10, angka 1, 2, ..., 7 adalah rute alat angkut.

3) Pola pengangkutan dengan sistem pengosongan *container* cara III dapat dilihat pada Gambar 2.11, dengan proses sebagai berikut.

- Kendaraan dari depot/pool dengan membawa *container* kosong menuju ke lokasi *container* isi untuk mengganti/mengambil dan langsung membawanya ke TPA.
- Kendaraan dengan membawa *container* kosong dari TPA menuju ke *container* isi berikutnya.
- Demikian seterusnya sampai selesai.

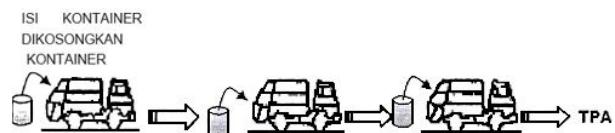


Gambar 2.11. Pola Pengangkutan dengan Sistem Pengosongan *Container* Cara III

Pada gambar 2.11, angka 1, 2, ..., 7 adalah rute alat angkut.

4) Pola pengangkutan sampah dengan sistem *container* tetap dapat dilihat pada Gambar 2.12, dengan proses sebagai berikut.

- Kendaraan dari depot/pool menuju *container* pertama, sampah dituangkan dalam truk *compactor* dan meletakkan kembali *container* yang kosong.
- Kendaraan menuju ke *container* berikutnya sehingga truk penuh, kemudian langsung ke TPA.
- Demikian seterusnya sampai selesai.



Gambar 2.12. Pola Pengangkutan Sampah dengan Sistem *Container* Tetap

BAB III **PEMBAHASAN**

A. Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data volume sampah per sektor Kota Yogyakarta tahun 2013 (Lampiran 1) dan data rute kendaraan pengangkut sampah yang digunakan Badan Lingkungan Hidup (BLH) Kota Yogyakarta tahun 2013 (Lampiran 2). Data tersebut diperoleh dari wawancara dengan Kepala Subbidang Kebersihan BLH Kota Yogyakarta selaku penanggungjawab kebersihan Kota Yogyakarta. Pengambilan data dilakukan pada bulan Agustus 2013.

Data yang diperoleh kemudian digunakan untuk menentukan jarak antar lokasi. Lokasi yang digunakan yakni antara lain pangkalan truk BLH Kota Yogyakarta selaku depot, tempat-tempat pengumpul sampah sementara, dan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang ditempatkan di Piyungan, Bantul. Tempat pengumpul sampah yang ada di Kota Yogyakarta antara lain depo, Tempat Pembuangan Sementara (TPS), dan landasan *container*. Penentuan jarak antar lokasi tersebut ditentukan menggunakan *Google Maps* dan disajikan dalam matriks jarak (Lampiran 3).

B. Deskripsi Masalah

Badan Lingkungan Hidup (BLH) Kota Yogyakarta merupakan badan yang salah satu fungsinya menangani tentang pengelolaan sampah dan kebersihan lingkungan di Kota Yogyakarta. Pengelolaan tersebut meliputi pengumpulan,

penangkutan, dan pemusnahan/pemanfaatan sampah. BLH Kota Yogyakarta dibagi dalam empat bidang, yaitu

1. Bidang Pengawasan dan Pemulihan, meliputi:
 - a. Subbidang Pengawasan dan Pengendalian,
 - b. Subbidang Pemulihan.
2. Bidang Kebersihan, meliputi:
 - a. Subbidang Kebersihan,
 - b. Subbidang Pengangkutan.
3. Bidang Keindahan, meliputi:
 - a. Subbidang Pertanaman,
 - b. Subbidang Perindang Jalan.
4. Bidang Pengembangan Kapasitas, meliputi:
 - a. Subbidang Pengembang Sumber Daya Lingkungan Hidup,
 - b. Subbidang Daur Ulang Sampah.

Bidang yang bertanggung jawab mengurus pengelolaan sampah adalah Bidang Kebersihan. Menurut data yang diperoleh dari Kepala Subbidang Kebersihan, sistem pengangkutan sampah di Kota Yogyakarta dibagi dalam 5 sektor pembagian wilayah angkutan, yaitu

1. Sektor Gunung Ketur, meliputi Kecamatan Pakualaman, Kecamatan Umbulharjo bagian utara, dan Kecamatan Danurejan bagian timur.
2. Sektor Kotagede, meliputi Kecamatan Kotagede dan Kecamatan Umbulharjo bagian selatan.
3. Sektor Krasak, meliputi sebagian besar Kecamatan Gondokusuman.

4. Sektor Malioboro-Kranggan, meliputi Kecamatan Tegalrejo, Kecamatan Jetis, Kecamatan Gondomanan, dan Kecamatan Danurejan bagian barat.
5. Sektor Ngasem-Gading, meliputi Kecamatan Kraton, Kecamatan Mantrijeron, Kecamatan Mergangsan, dan Kecamatan Wirobrajan.

Berdasarkan data volume sampah per sektor di Kota Yogyakarta pada tahun 2013 (Lampiran 1), diketahui jumlah tempat-tempat pengumpul sampah yang tersebar di masing-masing sektor adalah sebagai berikut.

Tabel 3.1 Jumlah Tempat Pengumpul Sampah Sementara

NO	SEKTOR	Jumlah (buah)		
		Depo	TPS	Container
1.	Sektor Gunungketur	1	18	4
2.	Sektor Kotagede	4	1	3
3.	Sektor Krasak	1	37	2
4.	Sektor Malioboro-Kranggan	1	9	5
5.	Sektor Ngasem-Gading	3	12	3
Total		10	77	17

Pada penelitian ini, peneliti akan mengambil sampel pada tempat pengumpul sampah berupa TPS. Untuk mengangkut semua sampah yang berasal dari TPS, BLH Kota Yogyakarta menyediakan kendaraan pengangkut berupa *dump* truk dengan kapasitas maksimal 6 m^3 . Berikut jenis *dump* truk yang digunakan untuk mengangkut sampah.



Gambar 3.1. *Dump* Truk dengan Kapasitas 6 m³

Truk tersebut digunakan setiap harinya untuk mengangkut sampah dari TPS menuju TPA Piyungan dengan rute yang telah ditentukan pada Lampiran 2. Truk memulai mengangkut sampah pada pagi hari pukul 06.00 WIB hingga selesai. Rata-rata dengan kondisi yang ada, sebuah truk mampu kembali ke BLH Kota Yogyakarta setelah beroperasi selama \pm 4-5 jam. Bahan bakar yang disediakan untuk mengangkut sampah setiap harinya untuk setiap truk adalah 15 liter, sehingga jika diasumsikan harga bahan bakar Rp 5.500/liter, maka pengeluaran yang dibutuhkan setiap truk untuk mengangkut sampah setiap harinya adalah Rp 82.500,00.

Berdasarkan analisis data dari Data Volume Sampah (Lampiran 1) dan Rute Kendaraan Pengangkut Sampah (Lampiran 2), rute pengangkutan sampah yang saat ini digunakan masih belum efektif. Kurang efektifnya rute kendaraan yang digunakan tersebut didasari dengan banyaknya TPS yang berada di Sektor Krasak Kota, akan tetapi dalam proses pengangkutan sampah kurang memaksimalkan volume truk yang digunakan. Oleh sebab itu, truk akan membentuk rute baru untuk menyelesaikan proses pengangkutan sampah yang tidak dimaksimalkan pada rute sebelumnya. Hal tersebut tentu saja berpengaruh terhadap pengeluaran

yang dikeluarkan oleh BLH Kota Yogyakarta. Oleh karena itu, diperlukan suatu model matematis yang dapat menghasilkan rute dengan total jarak minimum serta mempertimbangkan kapasitas truk.

Pada penelitian ini, model yang dibentuk berdasar pada data volume tempat pengumpul sampah sementara dan rute pengangkutan sampah pada Sektor Krasak. Sektor Krasak merupakan salah satu sektor yang memiliki jumlah tempat pengumpul sampah sementara yang paling banyak. Selain itu, model yang dibentuk dapat berlaku untuk semua sektor, hanya saja perlu penyesuaian dengan data-data yang ada pada masing-masing sektor.

C. Formulasi Masalah

Fungsi tujuan dari model penentuan rute truk pengangkut sampah pada penelitian ini adalah meminimumkan total jarak tempuh truk pengangkut sampah dengan memperhatikan batasan/kendala berikut.

1. Setiap rute melayani TPS diawali dari depot (dalam hal ini BLH Kota Yogyakarta).
2. Setiap TPS hanya dilayani tepat satu kali oleh satu truk.
3. Jumlah kapasitas TPS yang diangkut pada suatu *trip* dalam suatu rute, tidak melebihi kapasitas maksimal truk.
4. Truk menuju *intermediate facility* (dalam hal ini TPA Piyungan) untuk membuang sampah dan mengosongkan truk.
5. Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu rute, tidak melebihi waktu maksimal yang ditentukan BLH Kota Yogyakarta.

6. Rute dapat dimulai dari *intermediate facility* (dalam hal ini TPA Piyungan) jika waktu maksimal yang ditentukan BLH Kota Yogyakarta masih mencukupi.
7. Setiap rute diakhiri pada depot (dalam hal ini BLH Kota Yogyakarta) dalam keadaan kosong (tidak membawa sampah).

Untuk menyederhanakan masalah, maka dalam penelitian ini digunakan asumsi-umsi sebagai berikut.

1. Tempat pengumpul sampah yang digunakan sebagai sampel penelitian adalah Tempat Pembuangan Sementara (TPS) yang tersebar di Sektor Krasak Kota Yogyakarta.
2. Pola pengangkutan sampah yang digunakan adalah pola pengangkutan individual langsung (*door to door*) menggunakan truk angkut berupa truk dengan kapasitas seragam, yakni 6 m^3 .
3. Keadaan volume/kapasitas sampah pada setiap TPS selalu penuh.
4. Kemacetan diabaikan dan kecepatan truk konstan, yaitu 40 km/jam.
5. Waktu yang disediakan untuk menyelesaikan proses pengangkutan sampah adalah 4 jam.
6. Waktu pelayanan di TPS (*loading*) per 1 m^3 selama 4 menit, sedangkan waktu pelayanan di TPA (*unloading*) per 1 m^3 selama 2 menit.

Untuk mengefisienkan penulisan, tempat/lokasi yang digunakan di Sektor Krasak diberi notasi/label seperti pada Tabel 3.2 di bawah ini. Dari Tabel 3.2,

terlihat bahwa total volume sampah yang dapat ditampung di Sektor Krasak yakni sebesar $54,5 \text{ m}^3$.

Tabel 3.2. Penotasian TPS di Sektor Krasak

Notasi	Tempat/Lokasi yang Digunakan	Volume	Satuan
0	Depot (BLH Kota Yogyakarta)	0	m^3
1	TPS SMP 8	1	m^3
2	TPS SMP 5	2	m^3
3	TPS SMA Bopkri 2	2	m^3
4	TPS Jl. Herman Yohanes	1	m^3
5	TPS Jl. Sagan	1,5	m^3
6	TPS Jl. Suroto	1	m^3
7	TPS Jl. Wardani	1	m^3
8	TPS Jl. Wahidin	1	m^3
9	TPS Telkom	1	m^3
10	TPS Kantor Perikanan	1	m^3
11	TPS Mirota	1	m^3
12	TPS Superindo	2	m^3
13	TPS Jl. Atmosukarto	2	m^3
14	TPS Kridosono	1	m^3
15	TPS Jl. Krasak	3	m^3
16	TPS Kusbini Barat	1	m^3
17	TPS Kusbini Tengah	1	m^3
18	TPS Kusbini Timur	2	m^3
19	TPS Jl. Ungaran	2	m^3
20	TPS Jl. Nyoman Oka	1	m^3
21	TPS Jl. Patimura	1	m^3
22	TPS SMA 3 Padmanaba	2	m^3
23	TPS Gedung Pamungkas	1	m^3
24	TPS Jl. Hadidarsono	1	m^3

Notasi	Tempat/Lokasi yang Digunakan	Volume	Satuan
25	TPS Jl. Johar Nurhadi	1	m ³
26	TPS Jl. Munggur	2	m ³
27	TPS Tribata Selatan	3	m ³
28	TPS Tribata Utara	3	m ³
29	TPS Jl. Balapan	1	m ³
30	TPS Duta Foto	1	m ³
31	TPS Akprind	1	m ³
32	TPS SD Klitren	1	m ³
33	TPS Hotel Jogja	1	m ³
34	TPS SD Bhayangkara	1	m ³
35	TPS Jl. Kusbini	3	m ³
36	TPS Jl. Langensari	3	m ³
X	<i>Intermediate Facility (TPA Piyungan)</i>	0	m ³
	Total	54,5	m ³

Berdasarkan data rute kendaraan pengangkut sampah (Lampiran 2), berikut rekapitulasi rute yang saat ini digunakan oleh BLH Kota Yogyakarta pada Sektor Krasak.

Tabel 3.3. Rekapitulasi Rute Lama Sektor Krasak

No	Rute	Jarak (km)	Waktu (menit)
1.	0 – 1 – 2 – 3 – X – 4 – 5 – 6 – X – 7 – 8 – 9 – X – 10 – 11 – 12 – X – 13 – 14 – 15 – X – 0	164,59	375,88
2.	0 – 16 – 17 – 18 – 19 – X – 20 – 21 – 22 – X – 23 – 24 – 25 – X – 0	95,81	221,72
3.	0 – 26 – 27 – X – 28 – 29 – 30 – 31 – X – 32 – 33 – 34 – X – 0	88,60	216,90
4.	0 – 35 – 36 – X – 0	30,73	82,10
	Total	379,73	896,60

Pada Tabel 3.3, BLH Kota Yogyakarta menggunakan 4 rute untuk mengangkut sampah di Sektor Krasak. Rute yang pertama yaitu $0 - 1 - 2 - 3 - X - 4 - 5 - 6 - X - 7 - 8 - 9 - X - 10 - 11 - 12 - X - 13 - 14 - 15 - X - 0$. Pada rute pertama, terdiri dari 6 *trip*. Truk pada *trip* pertama menempuh perjalanan dari $0 - 1 - 2 - 3 - X$, *trip* kedua menempuh perjalanan dari $X - 4 - 5 - 6 - X$, dan seterusnya hingga truk menempuh *trip* ke-6, yakni dari $X - 0$. Hal yang sama diterapkan pada rute yang lain, sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa rute kedua terdiri dari 4 *trip*, rute ketiga terdiri dari 4 *trip*, dan rute keempat terdiri dari 2 *trip*.

Berdasarkan data dari Tabel 3.2 dan Tabel 3.3, dapat dianalisis keefektifan volume sampah yang terangkut pada setiap *trip* terhadap kapasitas maksimal truk. Dari hasil analisis tersebut, diperoleh data sebagai berikut.

Tabel 3.4. Analisis Volume Sampah yang Terangkut pada Rute Lama

Rute ke-	<i>Trip</i> ke-	Perjalanan	Sampah terangkut	Penggunaan Kapasitas Truk (%)
I	I	$0 - 1 - 2 - 3 - X$	5 m^3	83,33 %
	II	$X - 4 - 5 - 6 - X$	$3,5 \text{ m}^3$	58,33 %
	III	$X - 7 - 8 - 9 - X$	3 m^3	50 %
	IV	$X - 10 - 11 - 12 - X$	4 m^3	66,67 %
	V	$X - 13 - 14 - 15 - X$	6 m^3	100 %
	VI	$X - 0$	0 m^3	0 %
II	I	$0 - 16 - 17 - 18 - 19 - X$	6 m^3	100 %
	II	$X - 20 - 21 - 22 - X$	4 m^3	66,67 %
	III	$X - 23 - 24 - 25 - X$	3 m^3	50 %
	IV	$X - 0$	0 m^3	0 %

Rute ke-	Trip ke-	Perjalanan	Sampah terangkut	Penggunaan Kapasitas Truk (%)
III	I	0 – 26 – 27 – X	5 m ³	83,33 %
	II	X – 28 – 29 – 30 – 31 – X	6 m ³	100 %
	III	X – 32 – 33 – 34 – X	3 m ³	50 %
	IV	X – 0	0 m ³	0 %
IV	I	0 – 35 – 36 – X	6 m ³	100 %
	II	X – 0	0 m ³	0 %
Total Volume Sampah yang Terangkut			54,5 m ³	

Pada Tabel 3.4, dapat dilihat bahwa rute yang digunakan BLH Kota Yogyakarta kurang efektif. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan terdapatnya beberapa *trip* yang belum memaksimalkan kapasitas dalam truk, yakni 6 m³. Sebagai contoh pada *trip* pertama rute yang pertama, truk hanya menampung sampah sebanyak 5 m³. Artinya pada *trip* ini, kapasitas dalam truk hanya terisi 83,33 % dari total keseluruhan kapasitas truk. Sedangkan *trip* yang tidak mengangkut sampah (volumenya 0 m³), merupakan perjalanan truk ke BLH Kota Yogyakarta (0).

D. Model

Tujuan dari model matematis penentuan rute truk yang dibuat adalah untuk meminimumkan total jarak tempuh truk dalam proses pengangkutan sampah. Pengangkutan sampah dimulai dari BLH Kota Yogyakarta, kemudian ke sejumlah tempat pengumpul sampah di Sektor Krasak, kemudian menuju ke TPA Piyungan untuk membuang sampah sebelum, dan selanjutnya kembali lagi ke BLH Kota Yogyakarta.

Berdasarkan Persamaan (2.1) – (2.15) dan dengan mempertimbangkan kendala serta asumsi pada Bab III. C., proses penentuan rute pengangkut sampah dapat dimodelkan secara matematis dengan mendefinisikan

$V = \{0, 1, \dots, 36, X\}$ = himpunan semua simpul, dengan 0 menyatakan BLH

Kota Yogyakarta dan X menyatakan TPA Piyungan,

$C = \{1, 2, \dots, 36\}$ = himpunan Tempat Pembuangan Sementara (TPS),

$E = \{(i, j) | i, j \in V, i \neq j\}$ = himpunan rusuk berarah,

$T = \{1, 2, \dots, t\}$ = himpunan banyaknya *trip*,

$K = \{1, 2, \dots, k\}$ = himpunan rute yang diwakili oleh kendaraan dengan kapasitas yang identik,

$c_{i,j}$ = jarak dari TPS i ke TPS ke j ,

$v = 40 \text{ km/jam}$ = kecepatan rata-rata truk,

$T_{i,j}$ = waktu perjalanan dari konsumen i ke j ,

$$T_{i,j} = \frac{c_{i,j}}{v} = \frac{c_{i,j}}{40 \text{ km/jam}} \quad (3.1)$$

d_i = kapasitas sampah pada TPS i ,

Q = kapasitas sampah dalam satu rute,

$Q_{maks} = 6 \text{ m}^3$ = kapasitas maksimal dalam satu rute,

$l = 4 \text{ menit}$ = waktu mengisi muatan ke dalam truk (*loading*) per m^3 ,

$u = 2 \text{ menit}$ = waktu membongkar muatan dari truk (*unloading*) per m^3 ,

S_k^t = waktu pelayanan (*loading* dan *unloading*) muatan pada *trip* t dalam rute

k ,

$$S_k^t = (l + u) \cdot \sum_{i=1}^C d_i Y_{i,k}^t = (4 + 2) \cdot \sum_{i=1}^{36} d_i Y_{i,k}^t \quad (3.2)$$

CT = total waktu penyelesaian rute,

$T_{maks} = 4$ jam = waktu maksimal yang disediakan untuk melakukan rute perjalanan.

Variabel keputusan yang digunakan yaitu

$$X_{i,j,k}^t = \begin{cases} 1, & \text{jika truk } k \text{ melakukan perjalanan dari TPS } i \text{ ke TPS } j \text{ pada trip } t \\ 0, & \text{jika selainnya} \end{cases} \quad (3.3)$$

$$Y_{i,k}^t = \begin{cases} 1, & \text{jika terdapat muatan pada TPS } i \text{ yang diangkut oleh kendaraan } k \text{ pada trip } t \\ 0, & \text{jika selainnya} \end{cases} \quad (3.4)$$

dengan fungsi tujuan dari permasalahan penentuan rute truk pengangkut sampah adalah meminimumkan total jarak tempuh dari rute perjalanan. Adapun model matematisnya yaitu sebagai berikut.

$$\text{Meminimumkan } Z = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} c_{i,j} X_{i,j,k}^t \quad (3.5)$$

dengan kendala-kendala,

1. Setiap melayani TPS, rute dimulai dari depot yang dimodelkan sebagai

$$\sum_{j \in C} X_{0,j,k}^1 = 1, \quad \forall k \in K. \quad (3.6)$$

2. Setiap TPS hanya dilayani tepat satu kali pada satu rute yang dimodelkan sebagai

$$\sum_{j \in C} \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} X_{i,j,k}^t = 1, \quad \forall i \in C, j \neq i, \quad (3.7)$$

$$\sum_{i \in C} \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} X_{i,j,k}^t = 1, \quad \forall j \in C, i \neq j. \quad (3.8)$$

3. Kapasitas sampah dalam truk pada suatu *trip* adalah jumlahan dari kapasitas TPS yang telah dilayani, dirumuskan sebagai

$$Q = \sum_{i \in C} d_i Y_{i,k}^t, \quad \forall t \in T, \forall k \in K. \quad (3.9)$$

4. Kapasitas sampah pada suatu *trip* tidak melebihi kapasitas maksimal dalam setiap rute, dimodelkan sebagai

$$Q \leq 6 \text{ m}^3 \quad (3.10)$$

5. Truk menuju *intermediate facility* untuk membongkar (*unloading*) sampah yang dimodelkan sebagai

$$\sum_{i \in C} X_{i,X,k}^t = 1, \quad \forall t \in T, \forall k \in K. \quad (3.11)$$

6. Waktu penyelesaian (*CT*) rute dihitung dari jumlah waktu perjalanan truk (Persamaan 3.1) ditambah dengan waktu pelayanan (*loading* dan *unloading*) sampah di setiap TPS yang dilayani (Persamaan 3.2), dirumuskan sebagai

$$CT = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{t \in T} T_{i,j} X_{i,j,k}^t + \sum_{t \in T} S_k^t, \quad \forall k \in K. \quad (3.12)$$

7. Waktu penyelesaian rute tidak melebihi waktu maksimal yang disediakan untuk melakukan rute perjalanan, dimodelkan sebagai

$$CT \leq 240 \text{ menit.} \quad (3.13)$$

8. Rute dapat dimulai dari *intermediate facility* pada *trip* selanjutnya jika waktu maksimal yang disediakan masih mencukupi, dimodelkan sebagai

$$\sum_{j \in C} X_{X,j,k}^t = 1, \quad \forall t \in T \setminus \{1\}, \forall k \in K. \quad (3.14)$$

9. Setiap rute diakhiri pada depot dalam keadaan kosong (tanpa muatan) yang dimodelkan sebagai

$$\sum_{t \in T} X_{X,0,k}^t = 1, \quad \forall k \in K. \quad (3.15)$$

10. Variabel keputusan yang digunakan merupakan bilangan biner

$$X_{i,j,k}^t \in \{0,1\}, \quad \forall k \in K, \forall i, j \in V, i \neq j. \quad (3.16)$$

$$Y_{i,k}^t \in \{0,1\}, \quad \forall k \in K, \forall i \in V, i \neq j. \quad (3.17)$$

Permasalahan penentuan rute truk pengangkut sampah dengan model diatas, kemudian diselesaikan menggunakan Metode *Sequential Insertion* dan Metode *Nearest Neighbour*. Hasil penyelesaian dari kedua metode tersebut, kemudian akan dibandingkan keefektifan rute yang dibentuk.

E. Penyelesaian Menggunakan Metode *Sequential Insertion*

1. Metode *Sequential Insertion*

Pencarian rute truk pengangkut sampah dapat diselesaikan menggunakan Metode *Sequential Insertion*. Prinsip dasar dari Metode *Sequential Insertion* adalah menyisipkan TPS di antara busur penyisipan yang ada pada rute yang telah dibentuk. Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, menurut Imawati dalam Suprayogi & Yusuf P. (2008),

dalam pemilihan TPS pertama, terdapat beberapa kriteria, yaitu *earliest deadline*, *earliest ready time*, *shortest time window*, dan *longest travel time*.

Dalam penelitian ini, kriteria yang cocok pada masalah pengangkutan sampah di Kota Yogyakarta adalah kriteria *shortest time window*, yakni dengan mempertimbangkan waktu penyelesaian terkecil (CT). Dengan demikian, TPS pertama yang nanti terpilih berdasar kriteria tersebut akan disisipkan pada busur penyisipan antara BLH Kota Yogyakarta (0) dan TPA Piyungan (X). Berikut langkah-langkah penyelesaian masalah pengangkutan yang diadopsi dari Lisye, dkk (2009).

a. Langkah 1

Mulai dari rute pertama ($k = 1$) dan *trip* pertama ($t = 1$).

Tetapkan kapasitas sampah dalam truk (Q) = 0 m^3 .

b. Langkah 2

Tetapkan semua TPS yang belum dilayani. Jika semua TPS telah dilayani, lanjutkan ke langkah 10.

c. Langkah 3

Sisipkan semua TPS yang belum dilayani pada busur penyisipan yang mungkin pada *trip* t saat ini. Untuk $t = 1$, busur penyisipannya yaitu antara BLH Kota Yogyakarta (0) dan TPA Piyungan (X). Untuk $t = t + 1$, busur penyisipannya yaitu antara X dan X .

d. Langkah 4

Hitung waktu penyelesaian rute (CT) berdasarkan Persamaan (3.12) dari setiap penambahan penyisipan TPS tersebut. Pilih rute

yang memiliki CT paling kecil/minimum. Jika $CT \leq T_{maks}$, catat kapasitas sampah pada TPS ke i (d_i) dan hitung kapasitas sampah dalam truk ($Q = Q + d_i$), kemudian lanjutkan ke langkah 5. Jika $CT > T_{maks}$, lanjutkan ke langkah 9.

e. Langkah 5

Jika $Q < Q_{maks}$, lanjutkan ke langkah 6. Jika $Q = Q_{maks}$, lanjutkan ke langkah 7. Jika $Q > Q_{maks}$, lanjutkan ke langkah 8.

f. Langkah 6

Perbarui $trip$ dengan TPS terpilih, kemudian ulangi langkah 2.

g. Langkah 7

Perbarui $trip$ dengan TPS terpilih. Bentuk $trip$ baru ($t = t + 1$), kemudian ulangi langkah 1.

h. Langkah 8

Batalkan pemilihan TPS terakhir, kemudian ulangi langkah 7.

i. Langkah 9

Batalkan pemilihan TPS terakhir. Bentuk rute baru ($k = k + 1$), kemudian ulangi langkah 1.

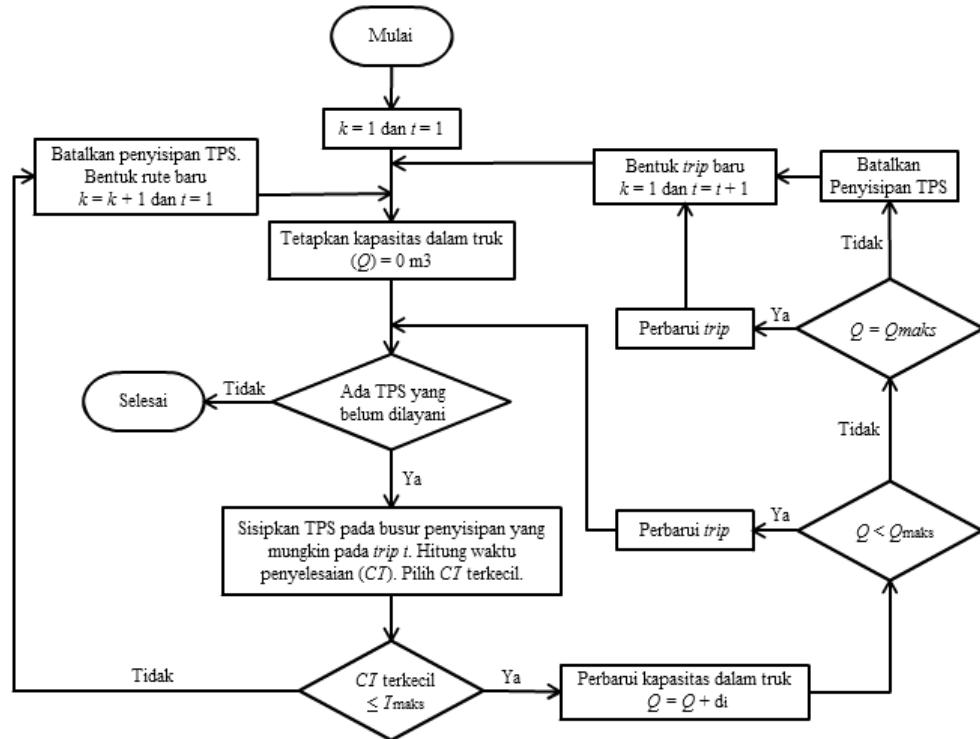
j. Langkah 10

Semua TPS telah dilayani, maka pencarian rute selesai.

2. Diagram Alir Metode *Sequential Insertion*

Berdasarkan langkah-langkah penyelesaian masalah pengangkutan sampah menggunakan Metode *Sequential Insertion* diatas, penjelasan

tersebut dapat ditampilkan dalam diagram alir seperti Gambar 3.2 sebagai berikut.



Gambar 3.2. Diagram Alir Metode *Sequential Insertion*

3. Penyelesaian Model Menggunakan Metode *Sequential Insertion*

Masalah pembentukan rute pengangkutan sampah di Sektor Krasak Kota Yogyakarta akan diselesaikan menggunakan Metode *Sequential Insertion*. Dalam metode ini, pemilihan TPS yang layak untuk disisipkan di busur penyisipan adalah TPS yang mempunyai waktu penyelesaian rute (CT) terkecil. Perhitungan CT didasari oleh Persamaan (3.12) dan disajikan dalam tabel Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4). Berikut langkah-langkah pembentukan rute pengangkut sampah.

a. Pembentukan *Trip* Pertama ($t = 1$) pada Rute Pertama ($k = 1$)

Pada pembentukan *trip* pertama pada rute pertama, truk mengawali perjalanan dari BLH Kota Yogyakarta (0) dan mengakhiri perjalanan di TPA Piyungan (X). Truk sampah dalam keadaan kosong, sehingga kapasitas dalam truk (Q) = 0 m^3 . Adapun langkah-langkah pembentukan *trip* pertama pada rute pertama sebagai berikut.

1) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 17 pada busur penyisipan antara 0 dan X mempunyai CT terkecil, yakni $48,08$ menit $< T_{maks}$.

Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 17 (d_{17}) = 1 m^3 , maka kapasitas dalam truk (Q) = $Q + d_{17} = 0 + 1 = 1 \text{ m}^3 < Q_{maks}$. Sehingga rute yang terbentuk menjadi $0 - 17 - X - 0$.

2) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 16 pada busur penyisipan antara TPS 17 dan X mempunyai CT terkecil, yakni $54,35$ menit $< T_{maks}$. Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 16 (d_{16}) = 1 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{16} = 1 + 1 = 2 \text{ m}^3 < Q_{maks}$. Sehingga rute yang terbentuk menjadi $0 - 17 - 16 - X - 0$.

3) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 34 pada busur penyisipan antara TPS 16 dan X mempunyai CT terkecil, yakni $61,16$ menit $<$

T_{maks} . Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 34 (d_{34}) = 1 m³. Kapasitas dalam truk (Q) = $Q + d_{34} = 2 + 1 = 3$ m³ < Q_{maks} . Sehingga rute yang terbentuk menjadi 0 – 17 – 16 – 34 – X – 0.

4) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 32 pada busur penyisipan antara TPS 34 dan X mempunyai CT terkecil, yakni 67,86 menit < T_{maks} . Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 32 (d_{32}) = 1 m³, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{32} = 3 + 1 = 4$ m³ < Q_{maks} . Sehingga rute yang terbentuk menjadi 0 – 17 – 16 – 34 – 32 – X – 0.

5) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 29 pada busur penyisipan antara TPS 34 dan TPS 32 mempunyai CT terkecil, yakni 74,10 menit < T_{maks} . Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 29 (d_{29}) = 1 m³, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{29} = 4 + 1 = 5$ m³ < Q_{maks} . Sehingga rute yang terbentuk menjadi 0 – 17 – 16 – 34 – 29 – 32 – X – 0.

6) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 30 pada busur penyisipan antara TPS 29 dan TPS 32 mempunyai CT terkecil, yakni 80,43 menit < T_{maks} . Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 30 (d_{30}) = 1 m³, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{30} = 5 + 1 = 6$ m³ < Q_{maks} . Sehingga rute yang terbentuk menjadi 0 – 17 – 16 – 34 – 29 – 30 – X – 0.

$d_{30} = 5 + 1 = 6 \text{ m}^3 = Q_{maks}$. Sehingga rute yang terbentuk menjadi $0 - 17 - 16 - 34 - 29 - 30 - 32 - X - 0$.

Pada langkah ke-6, kapasitas sampah dalam truk sama dengan kapasitas maksimal truk. Sehingga truk menuju TPA Piyungan (X) untuk membongkar kapasitas dalam truk. Kemudian karena $CT \leq T_{maks}$, truk membentuk *trip* baru dengan mengawali perjalanan dari X dan kapasitas sampah dalam truk kembali menjadi 0 m^3 .

b. Pembentukan *Trip* Kedua ($t = 2$) pada Rute Pertama ($k = 1$)

Pada pembentukan *trip* kedua pada rute pertama, truk mengawali perjalanan dari TPA Piyungan (X) dan mengakhiri perjalanan di TPA Piyungan (X). Truk sampah dalam keadaan kosong, sehingga kapasitas dalam truk (Q) = 0 m^3 . Adapun langkah-langkah pembentukan *trip* kedua pada rute pertama:

1) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 33 pada busur penyisipan antara X dan X mempunyai CT terkecil, yakni $129,96$ menit $< T_{maks}$.

Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 33 (d_{33}) = 1 m^3 . Kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{33} = 0 + 1 = 1 \text{ m}^3 < Q_{maks}$. Sehingga rute yang terbentuk menjadi $0 - 17 - 16 - 34 - 29 - 30 - 32 - X - 33 - X - 0$.

2) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 31 pada busur penyisipan antara TPS 33 dan X mempunyai CT terkecil, yakni $136,29$ menit $<$

T_{maks} . Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 31 (d_{31}) = 1 m³, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{31} = 1 + 1 = 2$ m³ < Q_{maks} . Sehingga rute yang terbentuk menjadi 0 – 17 – 16 – 34 – 29 – 30 – 32 – X – 33 – 31 – X – 0.

3) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 8 pada busur penyisipan antara TPS 31 dan X mempunyai CT terkecil, yakni 144,42 menit < T_{maks} . Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 8 (d_8) = 1 m³, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_8 = 2 + 1 = 3$ m³ < Q_{maks} . Sehingga rute yang terbentuk menjadi 0 – 17 – 16 – 34 – 29 – 30 – 32 – X – 33 – 31 – 8 – X – 0.

4) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 4 pada busur penyisipan antara TPS 31 dan TPS 8 mempunyai CT terkecil, yakni 151,11 menit < T_{maks} . Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 4 (d_4) = 1 m³, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_4 = 3 + 1 = 4$ m³ < Q_{maks} . Sehingga rute yang terbentuk menjadi 0 – 17 – 16 – 34 – 29 – 30 – 32 – X – 33 – 31 – 4 – 8 – X – 0.

5) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 10 pada busur penyisipan antara

TPS 4 dan TPS 8 mempunyai CT terkecil, yakni 157,68 menit < T_{maks} . Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 10 (d_{10}) = 1 m³, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{10}$ = 4 + 1 = 5 m³ < Q_{maks} . Sehingga rute yang terbentuk menjadi 0 – 17 – 16 – 34 – 29 – 30 – 32 – X – 33 – 31 – 4 – 10 – 8 – X – 0.

6) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 23 pada busur penyisipan antara TPS 8 dan X mempunyai CT terkecil, yakni 165,14 menit < T_{maks} . Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 23 (d_{23}) = 1 m³, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{23}$ = 5 + 1 = 6 m³ = Q_{maks} . Sehingga rute yang terbentuk menjadi 0 – 17 – 16 – 34 – 29 – 30 – 32 – X – 33 – 31 – 4 – 10 – 8 – 23 – X – 0.

Pada langkah ke-6, kapasitas sampah dalam truk sama dengan kapasitas maksimal truk, sehingga truk bergerak menuju TPA Piyungan (X) untuk membongkar kapasitas dalam truk. Kemudian karena $CT \leq T_{maks}$, truk membentuk *trip* baru dengan mengawali perjalanan dari X dan kapasitas sampah dalam truk kembali menjadi 0 m³.

c. Pembentukan *Trip* Ketiga ($t = 3$) pada Rute Pertama ($k = 1$)

Pada pembentukan *trip* ketiga pada rute pertama, truk mengawali perjalanan dari TPA Piyungan (X) dan mengakhiri

perjalanan di TPA Piyungan (X). Truk sampah dalam keadaan kosong, sehingga kapasitas dalam truk (Q) = 0 m^3 . Adapun langkah-langkah pembentukan *trip* ketiga pada rute pertama sebagai berikut.

- 1) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 14 pada busur penyisipan antara X dan X mempunyai CT terkecil, yakni 216,90 menit $< T_{maks}$. Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 14 (d_{14}) = 1 m^3 . Kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{14} = 0 + 1 = 1 \text{ m}^3 < Q_{maks}$. Sehingga rute yang terbentuk menjadi $0 - 17 - 16 - 34 - 29 - 30 - 32 - X - 33 - 31 - 4 - 10 - 8 - 23 - X - 14 - X - 0$.
- 2) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 9 pada busur penyisipan antara TPS 14 dan X mempunyai CT terkecil, yakni 222,93 menit $< T_{maks}$. Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 9 (d_9) = 1 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_9 = 1 + 1 = 2 \text{ m}^3 < Q_{maks}$. Sehingga rute yang terbentuk menjadi $0 - 17 - 16 - 34 - 29 - 30 - 32 - X - 33 - 31 - 4 - 10 - 8 - 23 - X - 14 - 9 - X - 0$.
- 3) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 7 pada busur penyisipan antara TPS 9 dan X mempunyai CT terkecil, yakni 229,41 menit $< T_{maks}$. Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 7

$(d_7) = 1 \text{ m}^3$, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_7 = 2 + 1 = 3 \text{ m}^3 < Q_{maks}$. Sehingga rute yang terbentuk menjadi 0 – 17 – 16 – 34 – 29 – 30 – 32 – X – 33 – 31 – 4 – 10 – 8 – 23 – X – 14 – 9 – 7 – X – 0.

4) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 24 pada busur penyisipan antara TPS 9 dan TPS 7 mempunyai CT terkecil, yakni 235,82 menit < T_{maks} . Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 24 $(d_{24}) = 1 \text{ m}^3$, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{24} = 3 + 1 = 4 \text{ m}^3 < Q_{maks}$. Sehingga rute yang terbentuk menjadi 0 – 17 – 16 – 34 – 29 – 30 – 32 – X – 33 – 31 – 4 – 10 – 8 – 23 – X – 14 – 9 – 24 – 7 – X – 0.

5) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 6 pada busur penyisipan antara TPS 9 dan TPS 24 mempunyai CT terkecil, yakni 242,48 menit > T_{maks} .

Pada langkah ini penyisipan TPS 6 dibatalkan, karena waktu penyelesaiannya melebihi waktu maksimal yang disediakan untuk melakukan rute perjalanan, sehingga rute pertama diambil dari hasil penyisipan rute yang terbentuk pada langkah sebelumnya (langkah ke-4), yakni 0 – 17 – 16 – 34 – 29 – 30 – 32 – X – 33 – 31 – 4 – 10 – 8 – 23 – X – 14 – 9 – 24 – 7 – X – 0. Total jarak yang

ditempuh pada rute pertama adalah 93,21 km dengan total waktu penyelesaian selama 235,82 menit.

Dari hasil perhitungan, pada rute pertama, truk melayani 16 TPS. Dengan demikian, TPS yang belum dilayani sebanyak 20 TPS. Oleh karena masih terdapat TPS yang belum dilayani, maka akan dibentuk rute kedua sebagai berikut.

d. Pembentukan *Trip* Pertama ($t = 1$) pada Rute Kedua ($k = 2$)

Pada pembentukan *trip* pertama pada rute kedua, truk mengawali perjalanan dari BLH Kota Yogyakarta (0) dan mengakhiri perjalanan di TPA Piyungan (X). Truk sampah dalam keadaan kosong, sehingga kapasitas dalam truk (Q) = 0 m^3 . Adapun langkah-langkah pembentukan *trip* pertama pada rute kedua sebagai berikut.

1) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 6 pada busur penyisipan antara 0 dan X mempunyai CT terkecil, yakni $52,88$ menit $< T_{maks}$. Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 6 (d_6) = 1 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_6 = 0 + 1 = 1 \text{ m}^3 < Q_{maks}$. Sehingga rute yang terbentuk menjadi $0 - 6 - X - 0$.

2) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 25 pada busur penyisipan antara 0 dan TPS 6 mempunyai CT terkecil, yakni $59,40$ menit $< T_{maks}$. Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 25 (d_{25}) =

1 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{25} = 1 + 1 = 2 \text{ m}^3 < Q_{maks}$. Sehingga rute yang terbentuk menjadi $0 - 25 - 6 - X - 0$.

3) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 21 pada busur penyisipan antara TPS 6 dan X mempunyai CT terkecil, yakni 66,62 menit $< T_{maks}$. Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 21 (d_{21}) = 1 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{21} = 2 + 1 = 3 \text{ m}^3 < Q_{maks}$. Sehingga rute yang terbentuk menjadi $0 - 25 - 6 - 21 - X - 0$.

4) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 20 pada busur penyisipan antara TPS 6 dan TPS 21 mempunyai CT terkecil, yakni 73,13 menit $< T_{maks}$. Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 20 (d_{20}) = 1 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{20} = 3 + 1 = 4 \text{ m}^3 < Q_{maks}$. Sehingga rute yang terbentuk menjadi $0 - 25 - 6 - 20 - 21 - X - 0$.

5) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 1 pada busur penyisipan antara TPS 6 dan TPS 20 mempunyai CT terkecil, yakni 79,95 menit $< T_{maks}$. Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 1 (d_1) = 1 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q +$

$d_1 = 4 + 1 = 5 \text{ m}^3 < Q_{maks}$. Sehingga rute yang terbentuk menjadi $0 - 25 - 6 - 1 - 20 - 21 - X - 0$.

6) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 11 pada busur penyisipan antara TPS 1 dan TPS 20 mempunyai CT terkecil, yakni 89,06 menit $< T_{maks}$. Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 11 (d_{11}) = 1 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{11} = 5 + 1 = 6 \text{ m}^3 = Q_{maks}$. Sehingga rute yang terbentuk menjadi $0 - 25 - 6 - 1 - 11 - 20 - 21 - X - 0$.

Pada langkah ke-6, kapasitas sampah dalam truk sama dengan kapasitas maksimal truk. Sehingga truk menuju TPA Piyungan (X) untuk membongkar kapasitas dalam truk. Kemudian karena $CT \leq T_{maks}$, truk membentuk *trip* baru dengan mengawali perjalanan dari X dan kapasitas sampah dalam truk kembali menjadi 0 m^3 .

e. Pembentukan *Trip* Kedua ($t = 2$) pada Rute Kedua ($k = 2$)

Pada pembentukan *trip* kedua pada rute kedua, truk mengawali perjalanan dari TPA Piyungan (X) dan mengakhiri perjalanan di TPA Piyungan (X). Truk sampah dalam keadaan kosong, sehingga kapasitas dalam truk (Q) = 0 m^3 . Adapun langkah-langkah pembentukan *trip* kedua pada rute kedua sebagai berikut.

1) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 18 pada busur penyisipan antara X dan X mempunyai CT terkecil, yakni 142,88 menit $< T_{maks}$.

Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 18 (d_{18}) = 2 m³, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{18} = 0 + 2 = 2$ m³ < Q_{maks} . Sehingga rute yang terbentuk menjadi 0 – 25 – 6 – 1 – 11 – 20 – 21 – X – 18 – X – 0.

2) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 26 pada busur penyisipan antara X dan TPS 18 mempunyai CT terkecil, yakni 155,15 menit < T_{maks} . Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 26 (d_{26}) = 2 m³, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{26} = 2 + 2 = 4$ m³ < Q_{maks} . Sehingga rute yang terbentuk menjadi 0 – 25 – 6 – 1 – 11 – 20 – 21 – X – 26 – 18 – X – 0.

3) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 5 pada busur penyisipan antara TPS 18 dan X mempunyai CT terkecil, yakni 169,47 menit < T_{maks} . Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 5 (d_5) = 1,5 m³, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_5 = 4 + 1,5 = 5,5$ m³ < Q_{maks} . Sehingga rute yang terbentuk menjadi 0 – 25 – 6 – 1 – 11 – 20 – 21 – X – 26 – 18 – 5 – X – 0.

4) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 3 pada busur penyisipan antara TPS 18 dan TPS 5 mempunyai CT terkecil, yakni 182,04 menit

$< T_{maks}$. Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 3 (d_3) = 2 m³, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_3 = 5,5 + 2 = 7,5$ m³ > Q_{maks} .

Namun pemilihan TPS 3 dibatalkan, karena kapasitas sampah dalam truk melebihi kapasitas maksimal truk. Sehingga rute yang terbentuk sementara diambil dari hasil pembentukan rute pada langkah sebelumnya (langkah 3), yakni 0 – 25 – 6 – 1 – 11 – 20 – 21 – X – 26 – 18 – 5 – X – 0. Kemudian truk menuju TPA Piyungan (X) untuk membongkar kapasitas dalam truk. Selanjutnya truk akan membentuk *trip* baru dengan mengawali perjalanan dari X dan kapasitas sampah dalam truk kembali menjadi 0 m³.

f. Pembentukan *Trip* Ketiga ($t = 3$) pada Rute Kedua ($k = 2$)

Pada pembentukan *trip* ketiga pada rute kedua, truk mengawali perjalanan dari TPA Piyungan (X) dan mengakhiri perjalanan di TPA Piyungan (X). Truk sampah dalam keadaan kosong, sehingga kapasitas dalam truk (Q) = 0 m³. Adapun langkah-langkah pembentukan *trip* ketiga pada rute kedua sebagai berikut.

- 1) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 13 pada busur penyisipan antara X dan X mempunyai *CT* terkecil, yakni 225,99 menit $< T_{maks}$. Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 13 (d_{13}) = 2 m³, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{13} = 0 + 2 = 2$ m³ < Q_{maks} . Sehingga rute yang terbentuk menjadi

0 – 25 – 6 – 1 – 11 – 20 – 21 – X – 26 – 18 – 5 – X –

13 – X – 0.

2) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 2 pada busur penyisipan antara X dan TPS 13 mempunyai CT terkecil, yakni 239,66 menit $< T_{maks}$. Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 2 (d_2) = 2 m³, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_2 = 2 + 2 = 4$ m³ $< Q_{maks}$. Sehingga rute yang terbentuk menjadi 0 – 25 – 6 – 1 – 11 – 20 – 21 – X – 26 – 18 – 5 – X – 2 – 13 – X – 0

3) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian (Lampiran 4), penyisipan TPS 19 pada busur penyisipan antara X dan TPS 2 mempunyai CT terkecil, yakni 252,13 menit $> T_{maks}$.

Namun pemilihan TPS 19 dibatalkan, karena waktu penyelesaiannya melebihi waktu maksimal yang disediakan untuk melakukan rute perjalanan. Sehingga rute kedua diambil dari hasil penyisipan rute yang terbentuk pada langkah sebelumnya (langkah 2), yakni 0 – 25 – 6 – 1 – 11 – 20 – 21 – X – 26 – 18 – 5 – X – 2 – 13 – X – 0. Total jarak yang ditempuh pada rute kedua adalah 97,77 km dengan total waktu penyelesaian sebesar 239,66 menit.

Pada rute pertama, truk melayani 16 TPS, sedangkan pada rute kedua, truk melayani 12 TPS. Dengan demikian, TPS yang belum

dilayani sebanyak 9 TPS. Oleh karena masih terdapat TPS yang belum dilayani, maka akan dibentuk rute ketiga sebagai berikut.

g. Pembentukan *Trip* Pertama ($t = 1$) pada Rute Ketiga ($k = 3$)

Pada pembentukan *trip* pertama pada rute ketiga, truk mengawali perjalanan dari BLH Kota Yogyakarta (0) dan mengakhiri perjalanan di TPA Piyungan (X). Truk sampah dalam keadaan kosong, sehingga kapasitas dalam truk (Q) = 0 m^3 . Adapun langkah-langkah pembentukan *trip* pertama pada rute ketiga sebagai berikut.

1) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 3 pada busur penyisipan antara 0 dan X mempunyai CT terkecil, yakni $58,85$ menit $< T_{maks}$.

Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 3 (d_3) = 2 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_3 = 0 + 2 = 2 \text{ m}^3 < Q_{maks}$. Sehingga rute yang terbentuk menjadi $0 - 3 - X - 0$.

2) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 12 pada busur penyisipan antara TPS 3 dan X mempunyai CT terkecil, yakni $71,51$ menit $< T_{maks}$. Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 12 (d_{12}) = 2 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{12} = 2 + 2 = 4 \text{ m}^3 < Q_{maks}$. Sehingga rute yang terbentuk menjadi $0 - 3 - 12 - X - 0$.

3) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 19 pada busur penyisipan antara TPS 12 dan X mempunyai CT terkecil, yakni 84,14 menit $< T_{maks}$. Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 19 (d_{19}) = 2 m³, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{19}$ = 4 + 2 = 6 m³ = Q_{maks} . Sehingga rute yang terbentuk menjadi 0 – 3 – 12 – 19 – X – 0.

Pada langkah ke-3, kapasitas sampah dalam truk sama dengan kapasitas maksimal truk. Sehingga truk menuju TPA Piyungan (X) untuk membongkar kapasitas dalam truk. Kemudian karena $CT \leq T_{maks}$, truk membentuk *trip* baru dengan mengawali perjalanan dari X dan kapasitas sampah dalam truk kembali menjadi 0 m³.

h. Pembentukan *Trip* Kedua ($t = 2$) pada Rute Ketiga ($k = 3$)

Pada pembentukan *trip* kedua pada rute ketiga, truk mengawali perjalanan dari TPA Piyungan (X) dan mengakhiri perjalanan di TPA Piyungan (X). Truk sampah dalam keadaan kosong, sehingga kapasitas dalam truk (Q) = 0 m³. Adapun langkah-langkah pembentukan *trip* kedua pada rute ketiga sebagai berikut.

1) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 22 pada busur penyisipan antara X dan X mempunyai CT terkecil, yakni 142,77 menit $< T_{maks}$. Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 22 (d_{22}) = 2 m³, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{22}$ = 0 +

$2 = 2 \text{ m}^3 < Q_{maks}$. Sehingga rute yang terbentuk menjadi $0 - 3 - 12 - 19 - X - 22 - X - 0$.

2) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 35 pada busur penyisipan antara TPS 22 dan X mempunyai CT terkecil, yakni 161,34 menit $< T_{maks}$. Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 35 (d_{35}) = 3 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{35} = 2 + 3 = 5 \text{ m}^3 < Q_{maks}$. Sehingga rute yang terbentuk menjadi $0 - 3 - 12 - 19 - X - 22 - 35 - X - 0$.

3) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 36 pada busur penyisipan antara TPS 35 dan X mempunyai CT terkecil, yakni 179,63 menit $< T_{maks}$. Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 36 (d_{36}) = 3 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{36} = 5 + 3 = 8 \text{ m}^3 > Q_{maks}$.

Namun pemilihan TPS 36 dibatalkan, karena kapasitas sampah dalam truk melebihi kapasitas maksimal truk. Sehingga rute yang terbentuk sementara diambil dari hasil pembentukan rute pada langkah sebelumnya (langkah ke-2), yakni $0 - 3 - 12 - 19 - X - 22 - 35 - X - 0$. Kemudian truk menuju TPA Piyungan (X) untuk membongkar kapasitas dalam truk. Selanjutnya truk akan membentuk *trip* baru dengan mengawali perjalanan dari X dan kapasitas sampah dalam truk kembali menjadi 0 m^3 .

i. Pembentukan *Trip* Ketiga ($t = 3$) pada Rute Ketiga ($k = 3$)

Pada pembentukan *trip* ketiga pada rute ketiga, truk mengawali perjalanan dari TPA Piyungan (X) dan mengakhiri perjalanan di TPA Piyungan (X). Truk sampah dalam keadaan kosong, sehingga kapasitas dalam truk (Q) = 0 m^3 . Adapun langkah-langkah pembentukan *trip* ketiga pada rute ketiga sebagai berikut.

- 1) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 27 pada busur penyisipan antara X dan X mempunyai CT terkecil, yakni $221,84$ menit $< T_{maks}$.

Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 27 (d_{27}) = 3 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{27} = 0 + 3 = 3 \text{ m}^3 < Q_{maks}$. Sehingga rute yang terbentuk menjadi $0 - 3 - 12 - 19 - X - 22 - 35 - X - 27 - X - 0$.

- 2) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 28 pada busur penyisipan antara X dan TPS 27 mempunyai CT terkecil, yakni $240,39$ menit $> T_{maks}$.

Namun pemilihan TPS 28 dibatalkan, karena waktu penyelesaiannya melebihi waktu maksimal yang disediakan untuk melakukan rute perjalanan. Sehingga rute ketiga diambil dari hasil penyisipan rute yang terbentuk pada langkah sebelumnya (langkah 1), yakni $0 - 3 - 12 - 19 - X - 22 - 35 - X - 27 - X - 0$. Total

jarak yang ditempuh pada rute ketiga adalah 91,89 km dengan total waktu penyelesaian sebesar 221,84 menit.

Pada rute pertama, truk melayani 16 TPS, sedangkan pada rute kedua, truk melayani 12 TPS dan pada rute ketiga, truk melayani 6 TPS. Dengan demikian, TPS yang belum dilayani masih tersisa sebanyak 3 TPS. Oleh karena masih terdapat TPS yang belum dilayani, maka akan dibentuk rute keempat sebagai berikut.

j. Pembentukan *Trip* Pertama ($t = 1$) pada Rute Keempat ($k = 4$)

Pada pembentukan *trip* pertama pada rute keempat, truk mengawali perjalanan dari BLH Kota Yogyakarta (0) dan mengakhiri perjalanan di TPA Piyungan (X). Truk sampah dalam keadaan kosong, sehingga kapasitas dalam truk (Q) = 0 m^3 . Adapun langkah-langkah pembentukan *trip* pertama pada rute keempat sebagai berikut.

1) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 28 pada busur penyisipan antara 0 dan X mempunyai CT terkecil, yakni $60,80$ menit $< T_{maks}$.

Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 28 (d_{28}) = 3 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{28} = 0 + 3 = 3 \text{ m}^3 < Q_{maks}$. Sehingga rute yang terbentuk menjadi $0 - 28 - X - 0$.

2) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 36 pada busur penyisipan antara 0 dan TPS 28 mempunyai CT terkecil, yakni $80,33$ menit $< T_{maks}$.

Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 36 (d_{36}) = 3 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{36} = 3 + 3 = 6 \text{ m}^3 = Q_{maks}$. Sehingga rute yang terbentuk menjadi $0 - 36 - 28 - X - 0$.

Pada langkah ke-2, kapasitas sampah dalam truk sama dengan kapasitas maksimal truk, sehingga truk bergerak menuju TPA Piyungan (X) untuk membongkar kapasitas dalam truk. Kemudian karena $CT \leq T_{maks}$, maka truk membentuk *trip* baru dengan mengawali perjalanan dari X dan kapasitas sampah dalam truk kembali menjadi 0 m^3 .

k. Pembentukan *Trip* Kedua ($t = 2$) pada Rute Keempat ($k = 4$)

Pada pembentukan *trip* kedua pada rute keempat, truk mengawali perjalanan dari TPA Piyungan (X) dan mengakhiri perjalanan di TPA Piyungan (X). Truk sampah dalam keadaan kosong, sehingga kapasitas dalam truk (Q) = 0 m^3 . Adapun langkah-langkah pembentukan *trip* kedua pada rute keempat sebagai berikut.

1) Berdasarkan Perhitungan Waktu Penyelesaian Rute (Lampiran 4), penyisipan TPS 15 pada busur penyisipan antara X dan X mempunyai CT terkecil, yakni 144,42 menit $< T_{maks}$.

Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 15 (d_{15}) = 3 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{15} = 0 + 3 = 3 < Q_{maks}$. Sehingga rute yang terbentuk menjadi $0 - 36 - 28 - X - 15 - X - 0$.

Pada langkah ini, semua TPS telah dilayani dengan demikian pembentukan rute keempat selesai. Adapun rute keempat yang terbentuk adalah $0 - 36 - 28 - X - 15 - X - 0$ dengan total jarak yang ditempuh sejauh 60,65 km dan total waktu penyelesaian sebesar 144,98 menit.

Dari perhitungan yang telah dilakukan menggunakan metode *sequential insertion*, permasalahan proses pengangkutan sampah di Sektor Krasak Kota Yogyakarta menghasilkan 4 rute yang melayani 36 TPS. Adapun rekapitulasi hasil penyelesaian masalah menggunakan metode *sequential insertion* sebagai berikut.

Tabel 3.5. Rekapitulasi Hasil Penyelesaian Masalah Menggunakan Metode *Sequential Insertion*

No.	Rute	Jarak (km)	CT (menit)
1.	$0 - 17 - 16 - 34 - 29 - 30 - 32 - X - 33 - 31 - 4 - 10 - 8 - 23 - X - 14 - 9 - 24 - 7 - X - 0$	93,21	235,82
2.	$0 - 25 - 6 - 1 - 11 - 20 - 21 - X - 26 - 18 - 5 - X - 2 - 13 - X - 0$	97,77	239,65
3.	$0 - 3 - 12 - 19 - X - 22 - 35 - X - 27 - X - 0$	91,89	221,83
4.	$0 - 36 - 28 - X - 15 - X - 0$	60,65	144,98
Total		343,52	842,28

Pada Tabel 3.5, pembentukan rute menggunakan Metode *Sequential Insertion* menghasilkan 4 rute. Pada rute yang pertama, truk melayani 16 TPS yang terbagi dalam 4 *trip*. Pada rute ini, truk menempuh perjalanan sejauh 93,21 km dengan waktu penyelesaian selama 235,82 menit. Pada rute

yang kedua, truk melayani 11 TPS yang terbagi dalam 4 *trip*. Pada rute ini, truk menempuh perjalanan sejauh 97,77 km dengan waktu penyelesaian selama 239,65 menit. Pada rute ketiga, truk melayani 6 TPS yang terbagi dalam 4 *trip*. Pada rute ini, truk menempuh perjalanan sejauh 91,89 km dengan waktu penyelesaian selama 221,83 menit. Sedangkan pada rute keempat, truk hanya melayani 3 TPS yang terbagi dalam 3 *trip*. Pada rute ini, truk menempuh perjalanan sejauh 60,65 km dengan waktu penyelesaian selama 144,98 menit.

Berdasarkan data dari Tabel 3.2 dan Tabel 3.5, dapat dianalisis keefektifan volume sampah yang terangkut pada setiap *trip* terhadap kapasitas maksimal truk. Dari hasil analisis tersebut, diperoleh data sebagai berikut.

Tabel 3.6. Analisis Volume Sampah yang Terangkut pada Rute dengan Metode *Sequential Insertion*

Rute ke-	Trip ke-	Perjalanan	Sampah terangkut	Penggunaan Kapasitas Truk (%)
I	I	0 – 17 – 16 – 34 – 29 – 30 – 32 – X	6 m ³	100 %
	II	X – 33 – 31 – 4 – 10 – 8 – 23 – X	6 m ³	100 %
	III	X – 14 – 9 – 24 – 7 – X	4 m ³	66,67 %
	IV	X – 0	0 m ³	0 %
II	I	0 – 25 – 6 – 1 – 11 – 20 – 21 – X	6 m ³	100 %
	II	X – 26 – 18 – 5 – X	5,5 m ³	91,67 %
	III	X – 2 – 13 – X	4 m ³	66,67 %
	IV	X – 0	0 m ³	0 %
III	I	0 – 3 – 12 – 19 – X	6 m ³	100 %
	II	X – 22 – 35 – X	5 m ³	83,33 %

Rute ke-	Trip ke-	Perjalanan	Sampah terangkut	Penggunaan Kapasitas Truk (%)
III	III	X – 27 – X	3 m ³	50 %
	IV	X – 0	0 m ³	0 %
IV	I	0 – 36 – 28 – X	6 m ³	100 %
	II	X – 15 – X	3 m ³	50 %
	III	X – 0	0 m ³	0 %
Total Volume Sampah yang Terangkut			54,5 m ³	

Pada Tabel 3.6, dapat dilihat bahwa rute yang dibentuk menggunakan Metode *Sequential Insertion*, masih terdapat beberapa *trip* yang kurang efektif. Kurang efektifnya *trip-trip* tersebut dikarenakan kurangnya waktu untuk memaksimalkan kapasitas truk. Artinya, jika setiap *trip* memaksimalkan kapasitas truk, maka waktu penyelesaian rute (*CT*) dapat melebihi waktu yang ditetapkan, yakni 4 jam. Sebagai contoh pada *trip* ke III rute ke I, *trip* ke III rute ke II, dan *trip* ke III rute ke III. Sedangkan pada *trip* ke II rute ke II, *trip* ke II rute ke III, dan *trip* ke II rute ke IV kurang efektifnya kapasitas dikarenakan tidak adanya TPS yang layak untuk dilayani sesuai dengan Metode *Sequential Insertion*. Sedangkan *trip* yang tidak mengangkut sampah (volumenya 0 m³), merupakan perjalanan truk ke BLH Kota Yogyakarta (0).

F. Penyelesaian Menggunakan Metode *Nearest Neighbour*

1. Metode *Nearest Neighbour*

Pencarian rute truk pengangkut sampah dapat juga diselesaikan menggunakan Metode *Nearest Neighbour*. Prinsip dasar dari Metode

Nearest Neighbour yaitu dalam membentuk rute perjalanan, truk melayani TPS yang paling dekat dengan lokasi yang terakhir dikunjungi. Berikut langkah-langkah penyelesaian masalah pengangkutan yang diadopsi dari Fatharani, dkk (2013).

a. Langkah 1

Tetapkan kapasitas sampah dalam truk ($Q = 0 \text{ m}^3$). Untuk rute pertama ($k = 1$) pada *trip* pertama ($t = 1$), lokasi awal pada depot (0).

b. Langkah 2

Pilih TPS tujuan yang paling dekat dengan lokasi awal. Jika semua TPS sudah terpilih, lanjutkan ke langkah 11.

c. Langkah 3

Hitung kapasitas sampah dalam truk ($Q = Q + d_i$).

d. Langkah 4

Jika $Q < Q_{maks}$, lanjutkan ke langkah 5. Jika $Q = Q_{maks}$, lanjutkan ke langkah 7. Jika $Q > Q_{maks}$, lanjutkan ke langkah 8.

e. Langkah 5

Hitung waktu penyelesaian rute (CT) berdasarkan Persamaan (3.12). Jika $CT \leq T_{maks}$, lanjutkan ke langkah 6. Jika $CT > T_{maks}$, lanjutkan ke langkah 10.

f. Langkah 6

Bentuk TPS yang terpilih sebagai lokasi awal, kemudian ulangi langkah 2.

g. Langkah 7

Hitung CT . Jika $CT \leq T_{maks}$, lanjutkan ke langkah 9. Jika $CT > T_{maks}$, lanjutkan ke langkah 10.

h. Langkah 8

Batalkan pemilihan TPS terakhir, kemudian pilih TPS lain yang belum terpilih yang paling dekat dengan lokasi awal dan lanjutkan ke langkah 3. Jika semua TPS tidak ada yang layak, lanjutkan ke langkah 9.

i. Langkah 9

Truk menuju *intermediate facility* (X) untuk mengisi atau membongkar sampah. Bentuk *trip* baru ($t = t + 1$) dengan X sebagai lokasi awal, kemudian ulangi langkah 1.

j. Langkah 10

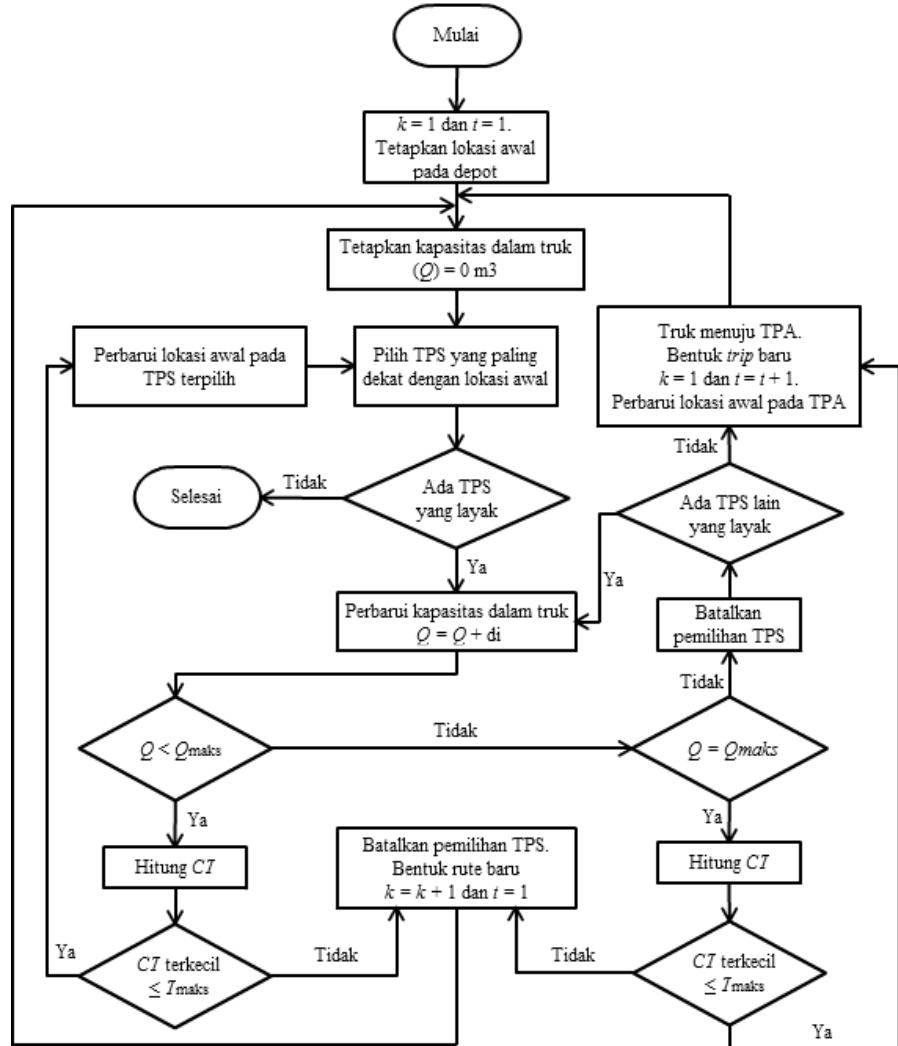
Batalkan pemilihan TPS terakhir, kemudian kembali ke langkah 1 untuk membentuk rute berikutnya ($k = k + 1$).

k. Langkah 11

Semua TPS telah dilayani, maka pencarian rute selesai.

2. Diagram Alir Metode *Nearest Neighbour*

Berdasarkan langkah-langkah penyelesaian masalah pengangkutan sampah menggunakan metode *Nearest Neighbour* di atas, penjelasan tersebut dapat ditampilkan dalam diagram alir seperti Gambar 3.3 sebagai berikut.



Gambar 3.3. Diagram Alir Metode *Nearest Neighbour*

3. Penyelesaian Model dengan Metode *Nearest Neighbour*

Masalah pembentukan rute pengangkutan sampah di Sektor Krasak Kota Yogyakarta akan diselesaikan menggunakan Metode *Nearest Neighbour*. Dalam metode ini, pemilihan TPS yang layak untuk dirangkai menjadi rute adalah TPS yang paling dekat dengan lokasi yang terakhir dikunjungi. Penentuan TPS tersebut didasari dari data Matriks Jarak (Lampiran 3). Kemudian rute yang terbentuk, akan diuji kelayakannya

berdasarkan kapasitas truk dan waktu penyelesaian rute (CT). Berikut langkah-langkah pembentukan rute pengangkut sampah dengan Metode *Nearest Neighbour*.

a. Pembentukan *Trip* Pertama ($t = 1$) pada Rute Pertama ($k = 1$)

Pada pembentukan *trip* pertama pada rute pertama, truk mengawali perjalanan dari BLH Kota Yogyakarta (0) dan TPS berturut-turut dilayani setelah mengunjungi lokasi sebelumnya hingga mengakhiri perjalanan di TPA Piyungan (X). Truk sampah dalam keadaan kosong, sehingga kapasitas dalam truk (Q) = 0 m^3 . Adapun langkah-langkah pembentukan *trip* pertama pada rute pertama sebagai berikut.

1) Pada langkah ini, karena truk mengawali perjalanan dari BLH Kota Yogyakarta (0), maka dipilih TPS yang paling dekat dengan 0. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan 0 adalah TPS 18 dengan jarak $0,12 \text{ km}$. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 18 - X - 0$ dan selanjutnya perlu dilakukan uji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 18 (d_{18}) = 2 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{18} = 0 + 2 = 2 \text{ m}^3 < Q_{maks}$.

b) Berdasarkan Persamaan (3.12), CT dapat ditentukan dengan menjumlahkan total waktu perjalanan

(Persamaan 3.1) dan total waktu pelayanan (Persamaan 3.2). Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3) dan Persamaan (3.1), total waktu

$$\text{perjalanan} = \frac{c_{0,18} + c_{18,X} + c_{X,0}}{40 \text{ km/jam}} = \frac{0,12 + 13,94 + 13,82}{40 \text{ km/jam}} =$$

$$\frac{27,88}{40 \text{ km/jam}} = 41,82 \text{ menit. Total waktu pelayanan}$$

$$(\sum S_k^t) = (S_1^1) = (4 + 2) \cdot d_{18} = 6 \cdot (2) = 12$$

menit. Sehingga $CT = 41,82 + 12 = 53,82$ menit

$$< T_{maks}.$$

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 18 masuk dalam kategori layak, sehingga rute 0 – 18 – X – 0 dianggap layak.

2) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 18, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 18. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 18 adalah TPS 17 dengan jarak 0,09 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi 0 – 18 – 17 – X – 0 dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 17 (d_{17}) = 1 m³, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{17} = 2 + 1 = 3 \text{ m}^3 < Q_{maks}$.

- b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 60,08$ menit $< T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 17 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 18 - 17 - X - 0$ dianggap layak.

- 3) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 17, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 17. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 17 adalah TPS 16 dengan jarak 0,09 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 18 - 17 - 16 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

- a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 16 (d_{16}) = 1 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{16} = 3 + 1 = 4 \text{ m}^3 < Q_{maks}$.

- b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 66,38$ menit $< T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 16 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 18 - 17 - 16 - X - 0$ dianggap layak.

- 4) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 16, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 16. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang

paling dekat dengan TPS 16 adalah TPS 34 dengan jarak 0,26 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi 0 – 18 – 17 – 16 – 34 – X – 0 dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

- a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 34 (d_{34}) = 1 m³, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{34} = 4 + 1 = 5 \text{ m}^3 < Q_{maks}$.
- b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 73,16 \text{ menit} < T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 34 masuk dalam kategori layak, sehingga rute 0 – 18 – 17 – 16 – 34 – X – 0 dianggap layak.

- 5) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 34, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 34. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 34 adalah TPS 32 dengan jarak 0,24 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi 0 – 18 – 17 – 16 – 34 – 32 – X – 0 dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

- a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 32 (d_{32}) = 1 m³, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{32} = 5 + 1 = 6 \text{ m}^3 = Q_{maks}$.

- b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 79,86$ menit $< T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 32 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 18 - 17 - 16 - 34 - 32 - X - 0$ dianggap layak.

Pada langkah ke-5, kapasitas sampah dalam truk sama dengan kapasitas maksimal truk, sehingga truk menuju TPA Piyungan (X) untuk membongkar kapasitas dalam truk. Kemudian karena $CT \leq T_{maks}$, truk membentuk *trip* baru dengan lokasi awal pada X dan kapasitas sampah dalam truk 0 m^3 .

- b. Pembentukan *Trip* Kedua ($t = 2$) pada Rute Pertama ($k = 1$)

Pada pembentukan *trip* kedua pada rute pertama, truk mengawali perjalanan dari TPA Piyungan (X) dan TPS berturut-turut dilayani setelah mengunjungi lokasi sebelumnya hingga mengakhiri perjalanan di TPA Piyungan (X). Truk sampah dalam keadaan kosong, sehingga kapasitas dalam truk (Q) = 0 m^3 . Adapun langkah-langkah pembentukan *trip* kedua pada rute pertama sebagai berikut.

- 1) Pada langkah ini, karena truk mengawali perjalanan dari TPA Piyungan (X), maka dipilih TPS yang paling dekat dengan X . Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan X adalah TPS 26 dengan jarak 13,98 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 18 - 17 - 16 -$

$34 - 32 - X - 26 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS

$26 (d_{26}) = 2 \text{ m}^3$, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{26} = 0 + 2 = 2 \text{ m}^3 < Q_{maks}$.

b) Berdasarkan Persamaan (3.12), CT dapat ditentukan

dengan menjumlahkan total waktu perjalanan (Persamaan 3.1) dan total waktu pelayanan (Persamaan 3.2). Berdasarkan Matriks Jarak

(Lampiran 3) dan Persamaan (3.1), total waktu

$$\text{perjalanan} = \frac{c_{0,18} + c_{18,17} + c_{17,16} + c_{16,34} + c_{34,32} + c_{32,X}}{40 \text{ km/jam}} +$$

$$\frac{c_{X,26} + c_{26,X} + c_{X,0}}{40 \text{ km/jam}} = \frac{15,42 + 41,78}{40 \text{ km/jam}} = \frac{57,20}{40 \text{ km/jam}} = 85,80$$

menit. Total waktu pelayanan ($\sum S_k^t$) = $S_1^1 + S_1^2 =$

$$(4 + 2) \cdot (d_{18} + d_{17} + d_{16} + d_{34} + d_{32}) +$$

$$(4 + 2) \cdot (d_{26}) = 6 \cdot (6) + 6 \cdot (2) = 36 + 12 =$$

$$48 \text{ menit. Sehingga } CT = 85,80 + 48 = 133,80$$

$$\text{menit} < T_{maks}.$$

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 26 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 18 - 17 - 16 - 34 - 32 - X - 26 - X - 0$ dianggap layak.

2) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 26, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan

TPS 26. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 26 adalah TPS 27 dengan jarak 0,30 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi 0 – 18 – 17 – 16 – 34 – 32 – X – 26 – 27 – X – 0 dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

- a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 27 (d_{27}) = 3 m³, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{27} = 2 + 3 = 5 \text{ m}^3 < Q_{maks}$.
- b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 152,33$ menit $< T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 27 masuk dalam kategori layak, sehingga rute 0 – 18 – 17 – 16 – 34 – 32 – X – 26 – 27 – X – 0 dianggap layak.

- 3) Pada langkah ini, lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 27, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 27. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 27 adalah TPS 28 dengan jarak 0,19 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi 0 – 18 – 17 – 16 – 34 – 32 – X – 26 – 27 – 28 – X – 0 dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

- a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 28 (d_{28}) = 3 m³, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{28} = 5 + 3 = 8 \text{ m}^3 > Q_{maks}$.

Oleh karena $Q > Q_{maks}$, maka pemilihan TPS 28 tidak masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 18 - 17 - 16 - 34 - 32 - X - 26 - 27 - 28 - X - 0$ dianggap tidak layak. Kemudian akan dicari TPS lain yang paling dekat dengan lokasi sebelumnya, yakni TPS 27.

4) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dilayani truk adalah TPS 27. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 27 selain TPS 28 adalah TPS 33 dengan jarak 0,36 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 18 - 17 - 16 - 34 - 32 - X - 26 - 27 - 33 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 33 (d_{33}) = 1 m³, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{33} = 5 + 1 = 6 \text{ m}^3 = Q_{maks}$.

b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 159,75 \text{ menit} < T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 33 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 18 - 17 - 16 - 34 - 32 - X - 26 - 27 - 33 - X - 0$ dianggap layak.

Pada langkah ke-4, kapasitas sampah dalam truk sama dengan kapasitas maksimal truk, sehingga truk menuju TPA Piyungan (X) untuk membongkar kapasitas dalam truk. Kemudian karena $CT \leq$

T_{maks} , truk membentuk *trip* baru dengan lokasi awal pada X dan kapasitas sampah dalam truk 0 m^3 .

c. Pembentukan *Trip* Ketiga ($t = 3$) pada Rute Pertama ($k = 1$)

Pada pembentukan *trip* ketiga pada rute pertama, truk mengawali perjalanan dari TPA Piyungan (X) dan TPS berturut-turut dilayani setelah mengunjungi lokasi sebelumnya hingga mengakhiri perjalanan di TPA Piyungan (X). Truk sampah dalam keadaan kosong, sehingga kapasitas dalam truk (Q) = 0 m^3 . Adapun langkah-langkah pembentukan *trip* ketiga pada rute pertama sebagai berikut.

1) Pada langkah ini, karena truk mengawali perjalanan dari TPA Piyungan (X), maka dipilih TPS yang paling dekat dengan X . Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan X adalah TPS 28 dengan jarak 14,48 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 18 - 17 - 16 - 34 - 32 - X - 26 - 27 - 33 - X - 28 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 28 (d_{28}) = 3 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{28} = 0 + 3 = 3 \text{ m}^3 < Q_{maks}$.

b) Berdasarkan Persamaan (3.12), CT dapat ditentukan dengan menjumlahkan total waktu perjalanan (Persamaan 3.1) dan total waktu pelayanan (Persamaan 3.2). Berdasarkan Matriks Jarak

(Lampiran 3) dan Persamaan (3.1), total waktu

$$\text{perjalanan} = \frac{c_{0,18} + c_{18,17} + c_{17,16} + c_{16,34} + c_{34,32} + c_{32,X}}{40 \text{ km/jam}} +$$

$$\frac{c_{X,26} + c_{26,27} + c_{27,33} + c_{33,X}}{40 \text{ km/jam}} + \frac{c_{X,28} + c_{28,X} + c_{X,0}}{40 \text{ km/jam}} =$$

$$\frac{15,42 + 29,26 + 42,51}{40 \text{ km/jam}} = \frac{87,19}{40 \text{ km/jam}} = 130,79 \text{ menit. Total}$$

$$\text{waktu pelayanan} (\sum S_k^t) = S_1^1 + S_1^2 + S_1^3 =$$

$$(4+2) \cdot (d_{18} + d_{17} + d_{16} + d_{34} + d_{32}) +$$

$$(4+2) \cdot (d_{26} + d_{27} + d_{33}) + (4+2) \cdot (d_{28}) = 6 \cdot$$

$$(6) + 6 \cdot (6) + 6 \cdot (3) = 36 + 36 + 18 = 90 \text{ menit.}$$

$$\text{Sehingga } CT = 130,79 + 90 = 220,79 \text{ menit}$$

$$< T_{maks}.$$

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 28 masuk dalam kategori layak, sehingga rute 0 – 18 – 17 – 16 – 34 – 32 – X – 26 – 27 – 33 – X – 28 – X – 0 dianggap layak.

2) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 28, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 28. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 28 adalah TPS 31 dengan jarak 0,19 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi 0 – 18 – 17 – 16 – 34 – 32 – X – 26 – 27 – 33 – X – 28 – 31 – X – 0 dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 31 (d_{31}) = 1 m³, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{31} = 3 + 1 = 4 \text{ m}^3 < Q_{maks}$.

b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 227,72$ menit $< T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 31 masuk dalam kategori layak, sehingga rute 0 – 18 – 17 – 16 – 34 – 32 – X – 26 – 27 – 33 – X – 28 – 31 – X – 0 dianggap layak.

3) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 31, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 31. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 31 adalah TPS 29 dengan jarak 0,41 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi 0 – 18 – 17 – 16 – 34 – 32 – X – 26 – 27 – 33 – X – 28 – 31 – 29 – X – 0 dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 29 (d_{29}) = 1 m³, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{29} = 4 + 1 = 5 \text{ m}^3 < Q_{maks}$.

b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 234,38$ menit $< T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 29 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 18 - 17 - 16 - 34 - 32 - X - 26 - 27 - 33 - X - 28 - 31 - 29 - X - 0$ dianggap layak.

4) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 29, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 29. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 29 adalah TPS 30 dengan jarak 0,21 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 18 - 17 - 16 - 34 - 32 - X - 26 - 27 - 33 - X - 28 - 31 - 29 - 30 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

- a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 30 (d_{30}) = 1 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{30} = 5 + 1 = 6 \text{ m}^3 = Q_{maks}$.
- b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 240,74$ menit $> T_{maks}$.

Oleh karena $CT > T_{maks}$, maka pemilihan TPS 30 dibatalkan. Jadi rute $0 - 18 - 17 - 16 - 34 - 32 - X - 26 - 27 - 33 - X - 28 - 31 - 29 - 30 - X - 0$ tidak layak. Dengan demikian rute pertama diambil dari hasil penyisipan rute yang terbentuk pada langkah sebelumnya (langkah 3), yakni $0 - 18 - 17 - 16 - 34 - 32 - X - 26 - 27 - 33 - X - 28 -$

$31 - 29 - X - 0$. Total jarak yang ditempuh pada rute pertama adalah 88,25 km dengan total waktu penyelesaian sebesar 234,38 menit.

Pada rute pertama, truk melayani 11 TPS. Dengan demikian, TPS yang belum dilayani ada sebanyak 25 TPS. Oleh karena masih terdapat TPS yang belum dilayani, maka akan dibentuk rute kedua sebagai berikut.

d. Pembentukan *Trip* Pertama ($t = 1$) pada Rute Kedua ($k = 2$)

Pada pembentukan *trip* pertama pada rute kedua, truk mengawali perjalanan dari BLH Kota Yogyakarta (0) dan TPS berturut-turut dilayani setelah mengunjungi lokasi sebelumnya hingga mengakhiri perjalanan di TPA Piyungan (X). Truk sampah dalam keadaan kosong, sehingga kapasitas dalam truk (Q) = 0 m³. Adapun langkah-langkah pembentukan *trip* pertama pada rute kedua sebagai berikut.

1) Pada langkah ini, karena truk mengawali perjalanan dari BLH Kota Yogyakarta (0), maka dipilih TPS yang paling dekat dengan 0. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan 0 adalah TPS 36 dengan jarak 0,68 km, sehingga rute yang terbentuk menjadi $0 - 36 - X - 0$ dan sehingga perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 36 (d_{36}) = 3 m³, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{36} = 0 + 3 = 3 \text{ m}^3 < Q_{maks}$.

b) Berdasarkan Persamaan (3.12), CT dapat ditentukan dengan menjumlahkan total waktu perjalanan (Persamaan 3.1) dan total waktu pelayanan (Persamaan 3.2). Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3) dan Persamaan (3.1), total waktu perjalanan = $\frac{c_{0,36} + c_{36,X} + c_{X,0}}{40 \text{ km/jam}} = \frac{0,68 + 14,60 + 13,82}{40 \text{ km/jam}} = \frac{29,10}{40 \text{ km/jam}} = 43,65$ menit. Total waktu pelayanan $(\sum S_k^t) = S_2^1 = (4 + 2) \cdot d_{36} = 6 \cdot (3) = 18$ menit. Sehingga $CT = 43,65 + 18 = 61,65$ menit $< T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 36 masuk dalam kategori layak, sehingga rute 0 – 36 – X – 0 dianggap layak.

2) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 36, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 36. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 36, adalah TPS 30 dengan jarak 0,57 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi 0 – 36 –

$30 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS

$$30 \ (d_{30}) = 1 \text{ m}^3, \text{ maka kapasitas sampah dalam truk } (Q) = Q + d_{30} = 3 + 1 = 4 \text{ m}^3 < Q_{maks}.$$

b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 68,66$ menit $< T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 30 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 36 - 30 - X - 0$ dianggap layak.

3) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 30, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 30. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 30 adalah TPS 3 dengan jarak 0,77 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 36 - 30 - 3 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS

$$3 \ (d_3) = 2 \text{ m}^3, \text{ maka kapasitas sampah dalam truk } (Q) = Q + d_3 = 4 + 2 = 6 \text{ m}^3 = Q_{maks}.$$

b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 83,49$ menit $< T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 3 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 36 - 30 - 3 - X - 0$ dianggap layak.

Pada langkah ke-5, kapasitas sampah dalam truk sama dengan kapasitas maksimal truk, sehingga truk menuju TPA Piyungan (X) untuk membongkar kapasitas dalam truk. Kemudian karena $CT \leq T_{maks}$, truk membentuk *trip* baru dengan lokasi awal pada X dan kapasitas sampah dalam truk 0 m^3 .

e. Pembentukan *Trip* Kedua ($t = 2$) pada Rute Kedua ($k = 2$)

Pada pembentukan *trip* kedua pada rute kedua, truk mengawali perjalanan dari TPA Piyungan (X) dan TPS berturut-turut dilayani setelah mengunjungi lokasi sebelumnya hingga mengakhiri perjalanan di TPA Piyungan (X). Truk sampah dalam keadaan kosong, sehingga kapasitas dalam truk ($Q = 0 \text{ m}^3$). Adapun langkah-langkah pembentukan *trip* kedua pada rute kedua sebagai berikut.

- 1) Pada langkah ini, karena truk mengawali perjalanan dari TPA Piyungan (X), maka dipilih TPS yang paling dekat dengan X . Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan X adalah TPS 13 dengan jarak 14,71 km, sehingga rute yang terbentuk menjadi $0 - 36 - 30 - 3 - X - 13 - X - 0$ dan sehingga perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 13 (d_{13}) = 2 m³, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{13} = 0 + 2 = 2 \text{ m}^3 < Q_{maks}$.

b) Berdasarkan Persamaan (3.12), CT dapat ditentukan dengan menjumlahkan total waktu perjalanan (Persamaan 3.1) dan total waktu pelayanan (Persamaan 3.2). Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3) dan Persamaan (3.1), total waktu perjalanan = $\frac{c_{0,36} + c_{36,30} + c_{30,3} + c_{3,X}}{40 \frac{\text{km}}{\text{jam}}} + \frac{c_{X,13} + c_{13,X} + c_{X,0}}{40 \frac{\text{km}}{\text{jam}}}$

$$= \frac{17,84 + 43,24}{40 \text{ km/jam}} = \frac{61,08}{40 \text{ km/jam}} = 91,62 \text{ menit. Total waktu pelayanan } (\sum S_k^t) = S_2^1 + S_2^2 = (4 + 2) \cdot (d_{36} + d_{30} + d_3) + (4 + 2) \cdot (d_{13}) = 6 \cdot (6) + 6 \cdot (2) = 36 + 12 = 48 \text{ menit. Sehingga } CT = 91,62 + 48 = 139,62 \text{ menit} < T_{maks}.$$

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 13 masuk dalam kategori layak, sehingga rute 0 – 36 – 30 – 3 – X – 13 – X – 0 dianggap layak.

2) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 13, maka dilipih TPS yang paling dekat dengan TPS 13. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 13 adalah TPS 23 dengan jarak 0,14 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi 0 – 36 –

$30 - 3 - X - 13 - 23 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

- a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 23 (d_{23}) = 1 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{23} = 2 + 1 = 3 \text{ m}^3 < Q_{maks}$.
- b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 146,01$ menit $< T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 23 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 36 - 30 - 3 - X - 13 - 23 - X - 0$ dianggap layak.

- 3) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 23, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 23. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 23 adalah TPS 14 dengan jarak 0,29 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 36 - 30 - 3 - X - 13 - 23 - 14 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

- a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 14 (d_{14}) = 1 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{14} = 3 + 1 = 4 \text{ m}^3 < Q_{maks}$.
- b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 153,27$ menit $< T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 14 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 36 - 30 - 3 - X - 13 - 23 - 14 - X - 0$ dianggap layak.

4) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 14, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 14. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 14 adalah TPS 15 dengan jarak 0,25 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 36 - 30 - 3 - X - 13 - 23 - 14 - 15 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 15 (d_{15}) = 3 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{15} = 4 + 3 = 7 \text{ m}^3 > Q_{maks}$.

Oleh karena $Q > Q_{maks}$, maka pemilihan TPS 15 tidak masuk dalam kategori layak. Dengan demikian rute $0 - 36 - 30 - 3 - X - 13 - 23 - 14 - 15 - X - 0$ dianggap tidak layak. Kemudian akan dicari TPS lain yang paling dekat dengan lokasi sebelumnya, yakni TPS 14.

5) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 14, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 14. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 14 selain TPS 15 adalah TPS 19 dengan jarak 0,27 km. Dengan demikian rute yang terbentuk

menjadi $0 - 36 - 30 - 3 - X - 13 - 23 - 14 - 19 - X - 0$

dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS

19 (d_{19}) = 2 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{19} = 4 + 2 = 6 \text{ m}^3 = Q_{maks}$.

b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 165,69$ menit $< T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 19 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 36 - 30 - 3 - X - 13 - 23 - 14 - 19 - X - 0$ dianggap layak.

Pada langkah ke-5, kapasitas sampah dalam truk sama dengan kapasitas maksimal truk, sehingga truk menuju TPA Piyungan (X) untuk membongkar kapasitas dalam truk. Kemudian karena $CT \leq T_{maks}$, truk membentuk *trip* baru dengan lokasi awal pada X dan kapasitas sampah dalam truk 0 m^3 .

f. Pembentukan *Trip* Ketiga ($t = 3$) pada Rute Kedua ($k = 2$)

Pada pembentukan *trip* ketiga pada rute kedua, truk mengawali perjalanan dari TPA Piyungan (X) dan TPS berturut-turut dilayani setelah mengunjungi lokasi sebelumnya hingga mengakhiri perjalanan di TPA Piyungan (X). Truk sampah dalam keadaan kosong, sehingga kapasitas dalam truk (Q) = 0 m^3 . Adapun langkah-langkah pembentukan *trip* ketiga pada rute kedua sebagai berikut.

1) Pada langkah ini, karena truk mengawali perjalanan dari TPA Piyungan (X), maka dipilih TPS yang paling dekat dengan X . Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan X adalah TPS 8 dengan jarak 14,79 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 36 - 30 - 3 - X - 13 - 23 - 14 - 19 - X - 8 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS

$$8 (d_8) = 1 \text{ m}^3, \text{ maka kapasitas sampah dalam truk}$$

$$(Q) = Q + d_8 = 0 + 1 = 1 \text{ m}^3 < Q_{maks}.$$

b) Berdasarkan Persamaan (3.12), CT dapat ditentukan

dengan menjumlahkan total waktu perjalanan

(Persamaan 3.1) dan total waktu pelayanan

(Persamaan 3.2). Berdasarkan Matriks Jarak

(Lampiran 3) dan Persamaan (3.1), total waktu

$$\text{perjalanan} = \frac{c_{0,36} + c_{36,30} + c_{30,3} + c_{3,X}}{40 \text{ km/jam}} +$$

$$\frac{c_{X,13} + c_{13,23} + c_{23,14} + c_{14,19} + c_{19,X}}{40 \text{ km/jam}} + \frac{c_{X,8} + c_{8,X} + c_{X,0}}{40 \text{ km/jam}} =$$

$$\frac{17,84 + 30,80 + 43,40}{40 \text{ km/jam}} = \frac{92,04}{40 \text{ km/jam}} = 138,06 \text{ menit. Total}$$

$$\text{waktu pelayanan} (\sum S_k^t) = S_2^1 + S_2^2 + S_2^3 =$$

$$(4 + 2) \cdot (d_{36} + d_{30} + d_3) + (4 + 2) \cdot$$

$$(d_{13} + d_{23} + d_{14} + d_{19}) + (4 + 2) \cdot (d_8) = 6 \cdot$$

$$(6) + 6 \cdot (6) + 6 \cdot (1) = 36 + 36 + 6 = 78 \text{ menit.}$$

Diperoleh $CT = 138,06 + 78 = 216,06$ menit

$< T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, sehingga pemilihan TPS 8 masuk dalam kategori layak. Jadi rute $0 - 36 - 30 - 3 - X - 13 - 23 - 14 - 19 - X - 8 - X - 0$ dianggap layak.

2) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 8, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 8. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 8 adalah TPS 35 dengan jarak 0,35 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 36 - 30 - 3 - X - 13 - 23 - 14 - 19 - X - 8 - 35 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 35 (d_{35}) = 3 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{35} = 1 + 3 = 4 \text{ m}^3 < Q_{maks}$.

b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 234,33$ menit $< T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 35 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 36 - 30 - 3 - X - 13 - 23 - 14 - 19 - X - 8 - 35 - X - 0$ dianggap layak.

3) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 35, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 35. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 35 adalah TPS 4 dengan jarak 1,60 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi 0 – 36 – 30 – 3 – X – 13 – 23 – 14 – 19 – X – 8 – 35 – 4 – X – 0 dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 4 (d_4) = 1 m³, maka kapasitas sampah dalam truk $(Q) = Q + d_4 = 4 + 1 = 5 \text{ m}^3 < Q_{maks}$.

b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 243,81 \text{ menit} > T_{maks}$.

Oleh karena $CT > T_{maks}$, maka pemilihan TPS 4 dibatalkan. Jadi rute 0 – 36 – 30 – 3 – X – 13 – 23 – 14 – 19 – X – 8 – 35 – 4 – X – 0 dianggap tidak layak. Dengan demikian rute kedua diambil dari hasil penyisipan rute yang terbentuk pada langkah sebelumnya (langkah 2), yakni 0 – 36 – 30 – 3 – X – 13 – 23 – 14 – 19 – X – 8 – 35 – X – 0.

Total jarak yang ditempuh pada rute kedua adalah 92,22 km dengan total waktu penyelesaian sebesar 234,33 menit.

Pada rute pertama, truk melayani 11 TPS, sedangkan pada rute kedua, truk melayani 9 TPS. Dengan demikian, TPS yang belum

dilayani ada sebanyak 16 TPS. Oleh karena masih terdapat TPS yang belum dilayani, maka akan dibentuk rute ketiga sebagai berikut.

g. Pembentukan *Trip* Pertama ($t = 1$) pada Rute Ketiga ($k = 3$)

Pada pembentukan *trip* pertama pada rute ketiga, truk mengawali perjalanan dari BLH Kota Yogyakarta (0) dan TPS berturut-turut dilayani setelah mengunjungi lokasi sebelumnya hingga mengakhiri perjalanan di TPA Piyungan (X). Truk sampah dalam keadaan kosong, sehingga kapasitas dalam truk (Q) = 0 m^3 . Adapun langkah-langkah pembentukan *trip* pertama pada rute ketiga sebagai berikut.

1) Pada langkah ini, karena truk mengawali perjalanan dari BLH Kota Yogyakarta (0), maka dipilih TPS yang paling dekat dengan 0. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan 0 adalah TPS 4 dengan jarak 1,62 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 4 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS (d_4) = 1 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_4 = 0 + 1 = 1 \text{ m}^3 < Q_{maks}$.

b) Berdasarkan Persamaan (3.12), CT dapat ditentukan dengan menjumlahkan total waktu perjalanan (Persamaan 3.1) dan total waktu pelayanan (Persamaan 3.2). Berdasarkan Matriks Jarak

(Lampiran 3) dan Persamaan (3.1), total waktu

$$\text{perjalanan} = \frac{c_{0,4} + c_{4,X} + c_{X,0}}{40 \text{ km/jam}} = \frac{1,62 + 15,34 + 13,82}{40 \text{ km/jam}} =$$

$$\frac{30,78}{40 \text{ km/jam}} = 46,17 \text{ menit. Total waktu pelayanan}$$

$$(\sum S_k^t) = (S_3^1) = (4 + 2) \cdot d_4 = 6 \cdot (1) = 6 \text{ menit.}$$

$$\text{Sehingga } CT = 46,17 + 6 = 52,17 \text{ menit} <$$

$$T_{maks}.$$

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 4 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 4 - X - 0$ dianggap layak.

2) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 4, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 4. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 4 adalah TPS 10 dengan jarak 0,24 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 4 - 10 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 10 (d_{10}) = 1 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{10} = 1 + 1 = 2 \text{ m}^3 < Q_{maks}$.

b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 58,74 \text{ menit} < T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 10 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 4 - 10 - X - 0$ dianggap layak.

3) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 10, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 10. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 10 adalah TPS 5 dengan jarak 0,20 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 4 - 10 - 5 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 5 (d_5) = $1,5 \text{ m}^3$, maka kapasitas sampah dalam truk $(Q) = Q + d_5 = 2 + 1,5 = 3,5 \text{ m}^3 < Q_{maks}$.

b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 68,36 \text{ menit} < T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 5 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 4 - 10 - 5 - X - 0$ dianggap layak.

4) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 5, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 5. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 5 adalah TPS 12 dengan jarak 0,55 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 4 -$

$10 - 5 - 12 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS

$12 (d_{12}) = 2 \text{ m}^3$, maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{12} = 3,5 + 2 = 5,5 \text{ m}^3 < Q_{maks}$.

b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 81,78$ menit $< T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 12 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 4 - 10 - 5 - 12 - X - 0$ dianggap layak.

Pada langkah ke-4, dapat dilihat bahwa kapasitas sampah dalam truk telah terisi sebanyak $5,5 \text{ m}^3$. Untuk memaksimalkan kapasitas dalam truk menjadi 6 m^3 , truk hanya bisa melayani TPS dengan volume kurang dari atau sama dengan $0,5 \text{ m}^3$ ($d_i \leq 0,5 \text{ m}^3$). Berdasarkan data Volume Sampah per Sektor Kota Yogyakarta (Lampiran 1), khususnya pada Sektor Krasak, tidak ada TPS yang mempunyai volume kurang dari 1 m^3 . Sehingga berdasarkan perhitungan dengan metode *nearest neighbour*, tidak terdapat TPS yang layak. Oleh sebab itu, truk menuju TPA Piyungan (X) untuk membongkar kapasitas dalam truk. Kemudian karena $CT \leq T_{maks}$, truk membentuk *trip* baru dengan lokasi awal pada X dan kapasitas sampah dalam truk 0 m^3 .

h. Pembentukan *Trip* Kedua ($t = 2$) pada Rute Ketiga ($k = 3$)

Pada pembentukan *trip* kedua pada rute ketiga, truk mengawali perjalanan dari TPA Piyungan (X) dan TPS berturut-turut dilayani setelah mengunjungi lokasi sebelumnya hingga mengakhiri perjalanan di TPA Piyungan (X). Truk sampah dalam keadaan kosong, sehingga kapasitas dalam truk (Q) = 0 m^3 . Adapun langkah-langkah pembentukan *trip* kedua pada rute ketiga sebagai berikut.

1) Pada langkah ini, karena truk mengawali perjalanan dari TPA Piyungan (X), maka dipilih TPS yang paling dekat dengan X . Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan X adalah TPS 15 dengan jarak 15,38 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 4 - 10 - 5 - 12 - X - 15 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 15 (d_{15}) = 3 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{15} = 0 + 3 = 3 \text{ m}^3 < Q_{maks}$.

b) Berdasarkan Persamaan (3.12), CT dapat ditentukan dengan menjumlahkan total waktu perjalanan (Persamaan 3.1) dan total waktu pelayanan (Persamaan 3.2). Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3) dan Persamaan (3.1), total waktu perjalanan

$$= \frac{c_{0,4} + c_{4,10} + c_{10,5} + c_{5,12} + c_{12,X}}{40 \text{ km/jam}} +$$

$$\frac{c_{X,15} + c_{15,X} + c_{X,0}}{40 \text{ km/jam}} = \frac{18,70 + 44,92}{40 \text{ km/jam}} = \frac{63,62}{40 \text{ km/jam}} = 95,43$$

menit. Total waktu pelayanan ($\sum S_k^t$) = $S_3^1 + S_3^2 =$

$$(4 + 2) \cdot (d_4 + d_{10} + d_5 + d_{12}) + (4 + 2) \cdot$$

$$(d_{15}) = 6 \cdot (5,5) + 6 \cdot (3) = 33 + 18 = 51 \text{ menit.}$$

Sehingga $CT = 95,43 + 51 = 146,43 \text{ menit} <$

$$T_{maks}.$$

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 15 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 4 - 10 - 5 - 12 - X - 15 - X - 0$ dianggap layak.

2) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 15, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 15. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 15 adalah TPS 9 dengan jarak 0,68 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 4 - 10 - 5 - 12 - X - 15 - 9 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 9 (d_9) = 1 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_9 = 3 + 1 = 4 \text{ m}^3 < Q_{maks}$.

b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 152,55 \text{ menit} < T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 9 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 4 - 10 - 5 - 12 - X - 15 - 9 - X - 0$ dianggap layak.

3) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 9, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 9. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 9 adalah TPS 2 dengan jarak 0,09 km, demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 4 - 10 - 5 - 12 - X - 15 - 9 - 2 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 2 (d_2) = 2 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk

$$(Q) = Q + d_2 = 4 + 2 = 6 \text{ m}^3 = Q_{maks}.$$

b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 164,57 \text{ menit} < T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 2 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 4 - 10 - 5 - 12 - X - 15 - 9 - 2 - X - 0$ dianggap layak.

Pada langkah ke-3, kapasitas sampah dalam truk sama dengan kapasitas maksimal truk. Sehingga truk menuju TPA Piyungan (X) untuk membongkar kapasitas dalam truk. Kemudian karena $CT \leq T_{maks}$, truk membentuk *trip* baru dengan lokasi awal pada X dan kapasitas sampah dalam truk 0 m^3 .

i. Pembentukan *Trip* Ketiga ($t = 3$) pada Rute Ketiga ($k = 3$)

Pada pembentukan *trip* ketiga pada rute ketiga, truk mengawali perjalanan dari TPA Piyungan (X) dan TPS berturut-turut dilayani setelah mengunjungi lokasi sebelumnya hingga mengakhiri perjalanan di TPA Piyungan (X). Truk sampah dalam keadaan kosong, sehingga kapasitas dalam truk (Q) = 0 m^3 . Adapun langkah-langkah pembentukan *trip* ketiga pada rute ketiga sebagai berikut.

1) Pada langkah ini, karena truk mengawali perjalanan dari TPA Piyungan (X), maka dipilih TPS yang paling dekat dengan X . Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan X adalah TPS 25 dengan jarak 15,53 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 4 - 10 - 5 - 12 - X - 15 - 9 - 2 - X - 25 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 25 (d_{25}) = 1 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{25} = 0 + 1 = 1 \text{ m}^3 < Q_{maks}$.

b) Berdasarkan Persamaan (3.12), CT dapat ditentukan dengan menjumlahkan total waktu perjalanan (Persamaan 3.1) dan total waktu pelayanan (Persamaan 3.2). Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3) dan Persamaan (3.1), total waktu perjalanan $= \frac{c_{0,4} + c_{4,10} + c_{10,5} + c_{5,12} + c_{12,X}}{40 \text{ km/jam}} +$

$$\frac{c_{X,15} + c_{15,9} + c_{9,2} + c_{2,X}}{40 \text{ km/jam}} + \frac{c_{X,25} + c_{25,X} + c_{X,0}}{40 \text{ km/jam}} =$$

$$\frac{18,70 + 31,19 + 44,99}{40 \text{ km/jam}} = \frac{94,88}{40 \text{ km/jam}} = 142,33 \text{ menit. Total}$$

$$\text{waktu} \quad \text{pelayanan} \quad (\sum S_k^t) = S_3^1 + S_3^2 + S_3^3 =$$

$$(4 + 2) \cdot (d_4 + d_{10} + d_5 + d_{12}) + (4 + 2) \cdot$$

$$(d_{15} + d_9 + d_2) + (4 + 2) \cdot (d_{25}) = 6 \cdot (5,5) + 6 \cdot$$

$$(6) + 6 \cdot (1) = 33 + 36 + 6 = 75 \text{ menit. Sehingga}$$

$$CT = 142,33 + 75 = 217,33 \text{ menit} < T_{maks}.$$

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan

TPS 25 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 4 -$

$10 - 5 - 12 - X - 15 - 9 - 2 - X - 25 - X - 0$ layak.

2) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 25, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 25. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 25 adalah TPS 6 dengan jarak 0,35 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 4 - 10 - 5 - 12 - X - 15 - 9 - 2 - X - 25 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 6 (d_6) = 1 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk $(Q) = Q + d_6 = 1 + 1 = 2 \text{ m}^3 < Q_{maks}$.

b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 223,53 \text{ menit} < T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 6 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 4 - 10 - 5 - 12 - X - 15 - 9 - 2 - X - 25 - 6 - X - 0$ layak.

3) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 6, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 6. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 6 adalah TPS 24 dengan jarak 0,22 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 4 - 10 - 5 - 12 - X - 15 - 9 - 2 - X - 25 - 6 - 24 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 24 (d_{24}) = 1 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{24} = 2 + 1 = 3 < Q_{maks}$.

b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 229,85 \text{ menit} < T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 24 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 4 - 10 - 5 - 12 - X - 15 - 9 - 2 - X - 25 - 6 - 24 - X - 0$ dianggap layak.

4) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 24, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 24. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 24 adalah TPS 7 dengan jarak 0,14

km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 4 - 10 - 5 - 12 - X - 15 - 9 - 2 - X - 25 - 6 - 24 - 7 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 7 (d_7) = 1 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk $(Q) = Q + d_7 = 3 + 1 = 4 < Q_{maks}$.

b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 235,45 \text{ menit} < T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 7 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 4 - 10 - 5 - 12 - X - 15 - 9 - 2 - X - 25 - 6 - 24 - 7 - X - 0$ dianggap layak.

5) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 7, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 7. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 7 adalah TPS 22 dengan jarak 0,37 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 4 - 10 - 5 - 12 - X - 15 - 9 - 2 - X - 25 - 6 - 24 - 7 - 22 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 22 (d_{22}) = 2 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk $(Q) = Q + d_{22} = 4 + 2 = 6 = Q_{maks}$.

- b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 248,72$ menit $> T_{maks}$.

Oleh karena $CT > T_{maks}$, maka pemilihan TPS 22 tidak masuk dalam kategori layak. Jadi rute $0 - 4 - 10 - 5 - 12 - X - 15 - 9 - 2 - X - 25 - 6 - 24 - 7 - 22 - X - 0$ tidak layak, sehingga rute ketiga diambil dari hasil penyisipan rute yang terbentuk pada langkah sebelumnya (langkah 4), yakni $0 - 4 - 10 - 5 - 12 - X - 15 - 9 - 2 - X - 25 - 6 - 24 - 7 - X - 0$. Total jarak yang ditempuh pada rute ketiga adalah 94,96 km dengan total waktu penyelesaian sebesar 235,45 menit.

Pada rute pertama, truk melayani 11 TPS. Pada rute kedua, truk melayani 9 TPS, sedangkan pada rute ketiga 11 TPS. Dengan demikian, TPS yang belum dilayani sebanyak 5 TPS. Oleh karena masih terdapat TPS yang belum dilayani, maka akan dibentuk rute keempat.

- j. Pembentukan *Trip* Pertama ($t = 1$) pada Rute Keempat ($k = 4$)

Pada pembentukan *trip* pertama pada rute keempat, truk mengawali perjalanan dari BLH Kota Yogyakarta (0) dan TPS berturut-turut dilayani setelah mengunjungi lokasi sebelumnya hingga mengakhiri perjalanan di TPA Piyungan (X). Truk sampah dalam keadaan kosong, sehingga kapasitas dalam truk (Q) = 0 m^3 . Adapun

langkah-langkah pembentukan *trip* pertama pada rute keempat sebagai berikut.

- 1) Pada langkah ini, karena truk mengawali perjalanan dari BLH Kota Yogyakarta (0), maka dipilih TPS yang paling dekat dengan 0. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan 0 adalah TPS 1 dengan jarak 2,15 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 1 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

- a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS $(d_1) = 1 \text{ m}^3$, maka kapasitas sampah dalam truk $(Q) = Q + d_1 = 0 + 1 = 1 \text{ m}^3 < Q_{maks}$.

- b) Berdasarkan Persamaan (3.12), CT dapat ditentukan dengan menjumlahkan total waktu perjalanan (Persamaan 3.1) dan total waktu pelayanan (Persamaan 3.2). Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3) dan Persamaan (3.1), total waktu perjalanan $= \frac{c_{0,1} + c_{1,X} + c_{X,0}}{40 \text{ km/jam}} = \frac{2,15 + 16,18 + 13,82}{40 \text{ km/jam}} = \frac{32,15}{40 \text{ km/jam}} = 48,23 \text{ menit}$. Total waktu pelayanan $(\sum S_k^t) = (S_4^1) = (4 + 2) \cdot d_1 = 6 \cdot (1) = 6 \text{ menit}$. Sehingga $CT = 48,23 + 6 = 54,23 \text{ menit} < T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 1 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 1 - X - 0$ dianggap layak.

2) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 1, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 1. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 1 adalah TPS 20 dengan jarak 0,75 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 1 - 20 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

- a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 20 (d_{20}) = 1 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{20} = 1 + 1 = 2 < Q_{maks}$.
- b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 60,92 \text{ menit} < T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 20 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 1 - 20 - X - 0$ dianggap layak.

3) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 20, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 20. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 20 adalah TPS 21 dengan jarak 0,35 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 1 -$

$20 - 21 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS

21 (d_{21}) = 1 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{21} = 2 + 1 = 3 < Q_{maks}$.

b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 66,98$ menit $< T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 21 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 1 - 20 - 21 - X - 0$ dianggap layak.

4) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 21, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 21. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 21 adalah TPS 22 dengan jarak 0,24 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 1 - 20 - 21 - 22 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS

22 (d_{22}) = 2 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{22} = 3 + 2 = 5 < Q_{maks}$.

b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 79,20$ menit $< T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 22 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 1 - 20 - 21 - 22 - X - 0$ dianggap layak.

5) Pada langkah ini, karena lokasi terakhir yang dikunjungi truk adalah TPS 22, maka dipilih TPS yang paling dekat dengan TPS 22. Berdasarkan Matriks Jarak (Lampiran 3), TPS yang paling dekat dengan TPS 22 adalah TPS 11 dengan jarak 1,45 km. Dengan demikian rute yang terbentuk menjadi $0 - 1 - 20 - 21 - 22 - 11 - X - 0$ dan selanjutnya perlu diuji kelayakannya sebagai berikut.

a) Berdasarkan Tabel 3.2, kapasitas sampah pada TPS 11 (d_{11}) = 1 m^3 , maka kapasitas sampah dalam truk (Q) = $Q + d_{11} = 5 + 1 = 6 = Q_{maks}$.

b) Dengan cara yang sama pada langkah ke-1, maka diperoleh $CT = 88,84$ menit $< T_{maks}$.

Oleh karena $Q \leq Q_{maks}$ dan $CT \leq T_{maks}$, maka pemilihan TPS 11 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 1 - 20 - 21 - 22 - 11 - X - 0$ dianggap layak.

Pada tahap ini, semua TPS telah dilayani, dengan demikian pembentukan rute keempat selesai. Adapun rute keempat yang terbentuk adalah $0 - 1 - 20 - 21 - 22 - 11 - X - 0$ dengan total jarak yang ditempuh sejauh 35,23 km dan total waktu penyelesaian sebesar 88,84 menit.

Dari perhitungan yang telah dilakukan menggunakan Metode *Nearest Neighbour*, permasalahan proses pengangkutan sampah di Sektor Krasak Kota Yogyakarta menghasilkan 4 rute yang melayani 36 TPS. Adapun rekapitulasi hasil penyelesaian masalah menggunakan Metode *Nearest Neighbour* sebagai berikut.

Tabel 3.7. Rekapitulasi Hasil Penyelesaian Masalah dengan Metode *Nearest Neighbour*

No.	Rute	Jarak (km)	CT (menit)
1.	0 – 18 – 17 – 16 – 34 – 32 – X – 26 – 27 – 33 – X – 28 – 31 – 29 – X – 0	88,25	234,38
2.	0 – 36 – 30 – 3 – X – 13 – 23 – 14 – 19 – X – 8 – 35 – X – 0	92,22	234,33
3.	0 – 4 – 10 – 5 – 12 – X – 15 – 9 – 2 – X – 25 – 6 – 24 – 7 – X – 0	94,96	235,44
4.	0 – 1 – 20 – 21 – 22 – 11 – X – 0	35,23	88,84
	Total	310,66	792,99

Pada Tabel 3.7, pembentukan rute menggunakan Metode *Nearest Neighbour* menghasilkan 4 rute. Pada rute yang pertama, truk melayani 11 TPS yang terbagi dalam 4 *trip*. Pada rute ini, truk menempuh perjalanan sejauh 88,25 km dengan waktu penyelesaian selama 234,38 menit. Pada rute yang kedua, truk melayani 9 TPS yang terbagi dalam 4 *trip*. Pada rute ini, truk menempuh perjalanan sejauh 92,22 km dengan waktu penyelesaian selama 234,33 menit. Pada rute ketiga, truk melayani 11 TPS yang terbagi dalam 4 *trip*. Pada rute ini, truk menempuh perjalanan sejauh 94,96 km dengan waktu penyelesaian selama 235,44 menit. Sedangkan pada rute keempat, truk hanya melayani 5 TPS yang terbagi dalam 2 *trip*. Pada rute

ini, truk menempuh perjalanan sejauh 35,23 km dengan waktu penyelesaian selama 88,84 menit.

Berdasarkan data dari Tabel 3.2 dan Tabel 3.7, dapat dianalisis keefektifan volume sampah yang terangkut pada setiap *trip* terhadap kapasitas maksimal truk. Dari hasil analisis tersebut, diperoleh data sebagai berikut.

Tabel 3.8. Analisis Volume Sampah yang Terangkut pada Rute dengan Metode *Nearest Insertion*

Rute ke-	<i>Trip</i> ke-	Perjalanan	Sampah terangkut	Penggunaan Kapasitas Truk (%)
I	I	0 – 18 – 17 – 16 – 34 – 32 – X	6 m ³	100 %
	II	X – 26 – 27 – 33 – X	6 m ³	100 %
	III	X – 28 – 31 – 29 – X	5 m ³	83,33 %
	IV	X – 0	0 m ³	0 %
II	I	0 – 36 – 30 – 3 – X	6 m ³	100 %
	II	X – 13 – 23 – 14 – 19 – X	6 m ³	100 %
	III	X – 8 – 35 – X	4 m ³	66,67 %
	IV	X – 0	0 m ³	0 %
III	I	0 – 4 – 10 – 5 – 12 – X	5,5 m ³	91,67 %
	II	X – 15 – 9 – 2 – X	6 m ³	100 %
	III	X – 25 – 6 – 24 – 7 – X	4 m ³	66,67 %
	IV	X – 0	0 m ³	0 %
IV	I	0 – 1 – 20 – 21 – 22 – 11 – X – 0	6 m ³	100 %
	II	X – 0	0 m ³	0 %
Total Volume Sampah yang Terangkut			54,5 m ³	

Pada Tabel 3.8, dapat dilihat bahwa rute yang dibentuk menggunakan Metode *Nearest Neighbour*, masih terdapat beberapa *trip* yang kurang

efektif. Sama halnya seperti rute yang dibentuk menggunakan Metode *Sequential Insertion*, kurang efektifnya *trip-trip* tersebut dikarenakan kurangnya waktu untuk memaksimalkan kapasitas truk. Artinya, jika setiap *trip* memaksimalkan kapasitas truk, maka waktu penyelesaian rute (*CT*) dapat melebihi waktu yang ditetapkan. Sebagai contoh pada *trip* ke III rute ke I, *trip* ke III rute ke II, dan *trip* ke III rute ke III. Sedangkan pada *trip* ke I rute ke III, kurang efektifnya kapasitas dikarenakan tidak adanya TPS yang layak untuk dilayani untuk melengkapi *trip* sesuai dengan Metode *Nearest Neighbour*. Sedangkan *trip* yang tidak mengangkut sampah (volumenya 0 m³), merupakan perjalanan truk ke BLH Kota Yogyakarta (0).

G. Perbandingan Efektivitas Metode *Sequential Insertion* dan Metode *Nearest Neighbour*

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dengan Metode *Sequential Insertion* dan Metode *Nearest Neighbour*, didapatkan beberapa alternatif rute baru untuk mengangkut sampah di Sektor Krasak Kota Yogyakarta. Rute-rute tersebut akan dibandingkan efektivitasnya berdasarkan keefektifan volume yang diangkut dan jarak yang tempuh. Berikut ini adalah perbandingan hasil pembentukan rute menggunakan Metode *Sequential Insertion* (Rute SI) dan Metode *Nearest Neighbour* (Rute NN) dengan rute yang digunakan BLH Kota Yogyakarta (Rute Lama).

1. Perbandingan Efektivitas Volume yang Diangkut

Penentuan efektivitas volume yang diangkut, dapat dilihat dari seberapa banyak *trip* yang memaksimalkan kapasitas dalam truk. Rute

dikatakan lebih efektif apabila dalam rute tersebut memiliki *trip-trip* yang memaksimalkan kapasitas sampah dalam truk lebih banyak. Berdasarkan Tabel 3.4, Tabel 3.6, dan Tabel 3.8, data mengenai penggunaan kapasitas dalam truk dapat direkapitulasi dalam Tabel 3.9 berikut ini.

Tabel 3.9. Efektivitas Volume yang Diangkut

Rute ke-	Trip ke-	Penggunaan Kapasitas Truk (%)		
		Rute Lama	Rute SI	Rute NN
I	I	83,33 %	100 %	100 %
	II	58,33 %	100 %	100 %
	III	50 %	66,67 %	83,33 %
	IV	66,67 %	0 %	0 %
	V	100 %	-	-
	VI	0 %	-	-
II	I	100 %	100 %	100 %
	II	66,67 %	91,67 %	100 %
	III	50 %	66,67 %	66,67 %
	IV	0 %	0 %	0 %
III	I	83,33 %	100 %	91,67 %
	II	100 %	83,33 %	100 %
	III	50 %	50 %	66,67 %
	IV	0 %	0 %	0 %
IV	I	100 %	100 %	100 %
	II	0 %	50 %	0 %
	III	-	0 %	-

Pada Tabel 3.9, dapat dilihat bahwa pada rute ke I, Rute Lama terdiri dari 6 *trip*. Sedangkan Rute SI dan Rute NN terdiri dari 4 *trip*. Pada rute ke II dan ke III, semua metode sama-sama menghasilkan 4 *trip*. Pada rute ke IV, hanya Rute SI yang terdiri dari 3 *trip*, sedangkan Rute Lama dan Rute

NN terdiri dari 2 *trip*. Berdasarkan efektivitas volume yang diangkut, Rute Lama mempunyai 4 *trip* yang efektif, pada Rute SI mempunyai 5 *trip* yang efektif, sedangkan pada Rute NN memiliki 6 *trip* yang efektif, yakni *trip* ke I dan ke II pada rute ke I, *trip* ke I dan ke II pada rute ke II, *trip* ke II pada rute ke III, dan *trip* ke I pada rute ke IV. Sehingga Rute NN memiliki jumlah *trip* lebih banyak dibanding Rute yang lain. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa berdasarkan efektivitas volume yang diangkut, rute yang dibentuk menggunakan Metode *Nearest Neighbour* menghasilkan rute yang paling efektif.

2. Perbandingan Efektivitas Jarak

Penentuan efektivitas jarak dapat dilihat dari seberapa jauh truk melakukan perjalanan. Berdasarkan Tabel 3.3, Tabel 3.5, dan Tabel 3.7, data mengenai jarak yang ditempuh truk dapat direkapitulasi dalam Tabel 3.10 berikut ini.

Tabel 3.10. Efektivitas Jarak

Rute ke	Rute Lama		Rute SI		Rute NN	
	Jml. TPS	Jarak (km)	Jml. TPS	Jarak (km)	Jml. TPS	Jarak (km)
I	15	164,59	16	93,21	11	88,25
II	10	95,81	11	97,77	9	92,22
III	9	88,60	6	91,89	11	94,96
IV	2	30,73	3	60,65	5	35,23
Total	36	379,73	36	343,52	36	310,66

Pada Tabel 3.10, secara keseluruhan, Rute NN menghasilkan total jarak tempuh yang paling minimal dibandingkan dengan Metode *Sequential Insertion*. Rute NN mampu melayani 36 TPS yang terbagi dalam 4 rute dan menempuh perjalanan sejauh 310,66 km. Jarak tersebut ditempuh selama 792,99 menit. Dengan total jarak tempuh tersebut, rute yang dihasilkan menggunakan Metode *Nearest Neighbour* lebih efektif 32,86 km dari Rute SI dan lebih efektif 69,07 km dari Rute Lama. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa berdasarkan jarak yang ditempuh kendaraan, rute yang dibentuk menggunakan Metode *Nearest Neighbour* menghasilkan rute yang paling efektif untuk menyelesaikan proses pengangkutan sampah.

Berdasarkan perbandingan efektivitas terhadap volume dan jarak tempuh di atas, disimpulkan bahwa Metode *Nearest Neighbour* menghasilkan rute yang paling efektif dibandingkan Metode *Sequential Insertion*.

BAB IV **KESIMPULAN DAN SARAN**

A. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan mengenai perbandingan efektivitas Metode *Sequential Insertion* dan Metode *Nearest Neighbour* pada pembentukan rute pengangkutan sampah, diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Adapun model *Vehicle Routing Problem with Multiple Trips and Intermediate Facility* (VRPMTIF) dalam permasalahan penentuan rute kendaraan pengangkut sampah di Sektor Krasak Kota Yogyakarta yaitu,

$$\text{Meminimumkan } Z = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} c_{i,j} X_{i,j,k}^t$$

dengan kendala-kendala,

- a. Setiap melayani TPS, rute diawali dari depot.

$$\sum_{j \in C} X_{0,j,k}^1 = 1, \quad \forall k \in K$$

- b. Setiap TPS hanya dilayani tepat satu kali pada satu rute.

$$\sum_{j \in C} \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} X_{i,j,k}^t = 1, \quad \forall i \in C, j \neq i$$

$$\sum_{i \in C} \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} X_{i,j,k}^t = 1, \quad \forall j \in C, i \neq j$$

- c. Kapasitas sampah dalam truk pada suatu *trip* dalam suatu truk adalah jumlahan dari kapasitas TPS yang telah dilayani.

$$Q = \sum_{i \in C} d_i Y_{i,k}^t, \quad \forall t \in T, \forall k \in K$$

- d. Kapasitas sampah pada suatu *trip* tidak melebihi kapasitas maksimal dalam setiap truk.

$$Q \leq 6 \text{ m}^3, \quad \forall t \in T, \forall k \in K$$

- e. Truk menuju *intermediate facility* untuk membongkar (*unloading*) sampah.

$$\sum_{i \in C} X_{i,X,k}^t = 1, \quad \forall t \in T, \forall k \in K$$

- f. Waktu penyelesaian (*CT*) rute dihitung dari jumlah waktu perjalanan truk ditambah dengan waktu pelayanan (*loading* dan *unloading*) sampah di setiap TPS yang dilayani.

$$CT = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{t \in T} T_{i,j} X_{i,j,k}^t + \sum_{t \in T} S_k^t, \quad \forall k \in K$$

- g. Waktu penyelesaian rute tidak melebihi waktu maksimal yang disediakan untuk melakukan rute perjalanan.

$$CT \leq 240 \text{ menit}$$

- h. Rute dapat dimulai dari *intermediate facility* pada *trip* jika waktu maksimal yang disediakan masih mencukupi.

$$\sum_{j \in C} X_{X,j,k}^t = 1, \quad \forall t \in T \setminus \{1\}, \forall k \in K$$

- i. Setiap rute diakhiri pada depot dalam keadaan kosong (tanpa muatan).

$$\sum_{t \in T} X_{X,0,k}^t = 1, \quad \forall k \in K$$

j. Variabel keputusan yang digunakan merupakan bilangan biner.

$$X_{i,j,k}^t \in \{0,1\}, \quad \forall k \in K, \forall i, j \in V, i \neq j$$

$$Y_{i,k}^t \in \{0,1\}, \quad \forall k \in K, \forall i, j \in V, i \neq j$$

2. Adapun penyelesaian model menggunakan Metode *Sequential Insertion* dan Metode *Nearest Neighbour* menghasilkan rute sebagai berikut.

a. Berdasarkan Tabel 3.5, pembentukan rute dengan Metode *Sequential Insertion* menghasilkan rute-rute sebagai berikut.

Tabel 4.1. Rute yang Dihasilkan dengan Metode *Sequential Insertion*

Rute ke-	Trip ke-	Perjalanan
I	I	BLH Kota Yogyakarta – TPS Jl. Kusbini Tengah – TPS Jl. Kusbini Barat – TPS SD Bhayangkara – TPS Jl. Balapan – TPS Duta Foto – TPS SD Klitren – TPA Piyungan
	II	TPA Piyungan – TPS Hotel Jogja – TPS Akprind – TPS Jl. Herman Yohanes – TPS Kantor Perikanan – TPS Jl. Wahidin – TPS Gedung Pamungkas – TPA Piyungan
	III	TPA Piyungan – TPS Kridosono – TPS Telkom – TPS Jl. Hadidarsono – TPS Jl. Wardhani – TPA Piyungan
	IV	TPA Piyungan – BLH Kota Yogyakarta
II	I	BLH Kota Yogyakarta – TPS Jl. Johar Nurhadi – TPS Jl. Suroto – TPS SMP 8 – TPS Mirota – TPS Jl. Nyoman Oka – TPS JL. Pattimura – TPA Piyungan
	II	TPA Piyungan – TPS Jl. Munggur – TPS Jl. Kusbini Timur – TPS Jl. Sagan – TPA Piyungan
	III	TPA Piyungan – TPS SMP 5 – TPS Jl. Atmosukarto – TPA Piyungan
	IV	TPA Piyungan – BLH Kota Yogyakarta

III	I	BLH Kota Yogyakarta – TPS SMA Bopkri 2 – TPS Superindo – TPS Jl. Ungaran – TPA Piyungan
	II	TPA Piyungan – TPS SMA 3 – TPS Jl. Kusbini – TPA Piyungan
	III	TPA Piyungan – TPS Tribata Selatan – TPA Piyungan
	IV	TPA Piyungan – BLH Kota Yogyakarta
IV	I	BLH Kota Yogyakarta – TPS Jl. Langensari – TPS Tribata Utara – TPA Piyungan
	II	TPA Piyungan – TPS Jl. Krasak – TPA Piyungan
	III	TPA Piyungan – BLH Kota Yogyakarta

b. Berdasarkan Tabel 3.7, pembentukan rute dengan Metode *Nearest Neighbour* menghasilkan rute-rute sebagai berikut.

Tabel 4.2. Rute yang Dihasilkan dengan Metode *Nearest Neighbour*

Rute ke-	Trip ke-	Perjalanan
I	I	BLH Kota Yogyakarta – TPS Jl. Kusbini Timur – TPS Jl. Kusbini Tengah – TPS Jl. Kusbini Barat – TPS SD Bhayangkara – TPS SD Klitren – TPA Piyungan
	II	TPA Piyungan – TPS Jl. Munggur – TPS Tribata Selatan – TPS Hotel Jogja – TPA Piyungan
	III	TPA Piyungan – TPS Tribata Utara – TPS Akprind – TPS Jl. Balapan – TPA Piyungan
	IV	TPA Piyungan – BLH Kota Yogyakarta
II	I	BLH Kota Yogyakarta – TPS Jl. Langensari – TPS Duta Foto – TPS SMA Bopkri 2 – TPA Piyungan
	II	TPA Piyungan – TPS Jl. Atmosukarto – TPS Gedung Pamungkas – TPS Kridosono – TPS Jl. Ungaran – TPA Piyungan
	III	TPA Piyungan – TPS Jl. Wahidin – TPS Jl. Kusbini –

		TPA Piyungan
	IV	TPA Piyungan – BLH Kota Yogyakarta
III	I	BLH Kota Yogyakarta – TPS Jl. Herman Yohanes – TPS Kantor Perikanan – TPS Jl. Sagan – TPS Superindo – TPA Piyungan
	II	TPA Piyungan – TPS Jl. Krasak – TPS Telkom – TPS SMP 5 – TPA Piyungan
	III	TPA Piyungan – TPS Jl. Johar Nurhadi – TPS Jl. Suroto – TPS Jl. Hadidarsono – TPS Jl. Wardani – TPA Piyungan
	IV	TPA Piyungan – BLH Kota Yogyakarta
IV	I	BLH Kota Yogyakarta – TPS SMP 8 – TPS Jl. Nyoman Oka – TPS Jl. Pattimura – TPS SMA 3 Padmanaba – TPS Mirota – TPA Piyungan
	II	TPA Piyungan – BLH Kota Yogyakarta

3. Berdasarkan perbandingan efektivitas terhadap volume yang diangkut, Metode *Nearest Neighbour* menghasilkan *trip* yang paling banyak memaksimalkan kapasitas dalam truk, yakni 6 m^3 . Berdasarkan perbandingan efektivitas terhadap jarak tempuh, total jarak yang dihasilkan sejauh 310,66 km dan ditempuh selama 792,99 menit. Jarak tersebut lebih efektif 32,86 km dan 49,29 menit dari Metode *Sequential Insertion*. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa rute yang dibentuk menggunakan Metode *Nearest Neighbour*, membentuk rute yang paling efektif

B. Saran

Saran untuk BLH Kota Yogyakarta, khususnya pada Bidang Kebersihan, rute yang dibentuk menggunakan Metode *Nearest Neighbour* diharapkan mampu

sebagai rute alternatif dalam proses pengangkutan sampah di Kota Yogyakarta. Pembentukan rute pengangkutan sampah menggunakan Metode *Nearest Neighbour* diharapkan mampu memberikan hasil yang lebih efektif.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah menambahkan varian VRP yang lain, semisal VRP *with Time Window*. Penelitian ini juga dapat dikembangkan menggunakan metode penyelesaian masalah yang lain, semisal menggunakan Metode *Hibrida*, Metode *Simulated Annealing*, dan sebagainya. Selain itu, penelitian ini juga dapat dikembangkan menggunakan *software* pembantu, sehingga dapat digunakan untuk data yang lebih besar dan pembentukan rute bisa lebih cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Angelelli, E., & Speranza, M., G., (2002). *The Periodic Vehicle Routing Problem with Intermediate Facilities*. European Journal of Operational Research, Vol. 137, pp. 233-247
- Chairul A., dkk. (2014). *Penentuan Rute Kendaraan Distribusi Produk Roti Menggunakan Metode Nearest Neighbour dan Metode Sequential Insertion*. Jurnal Online Institut Teknologi Nasional, Vol. 01, No. 04
- Dedi Sukma. (2005). *Algoritma Semut dan Penerapannya pada Masalah Traveling Salesman Problem (TSP)*. Skripsi Prodi Matematika Jurusan Pendidikan Matematika UNY
- Eminugroho R.S., & Dwi L., (2013). *Optimasi Sistem Pengangkutan Sampah Di Kota Yogyakarta dengan Model Vehicle Routing Problem Menggunakan Algoritma Sequential Insertion*. Jurdikmat FMIPA UNY
- Fatharani, A., dkk. (2013). *Penentuan Rute Kendaraan Pengangkut Sampah dengan Menggunakan Metode Nearest Neighbour (Studi Kasus PD. Kebersihan Kota Bandung)*. Jurnal Online Institut Teknologi Nasional, Vol. 01, No. 01
- Joseph, C., (2011). *Analisis Sistem Pengangkutan Sampah Kota Makassar dengan Metode Penyelesaian Vehicle Routing Problem (VRP)*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Industri Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanudin Makassar.
- Laporte G., (1983). *A Branch and Bound Algorithm for Capacitated Vehicle Routing Problem*. Operation Research Specktrum 5: 77-85.
- Lisye F., dkk. (2009). *Penentuan Rute Truk Pengumpulan dan Pengangkutan Sampah di Bandung*. Jurnal Teknik Industri, Vol. 11, pp. 51-60
- Suprayogi & Yusuf P. (2008). *Algoritma Sequential Insertion untuk Memecahkan Vehicle Routing Problem dengan Multiple Trips, Time Window, dan Simultaneous Pickup Delivery*. Performa, Vol. 7, No. 1:88-96

Toth, P., & Vigo, D. (2002). *The Vehicle Routing Problem*. Bologna: Universita degli Studi

_____, (2002). *Tata Cara Teknik Operasional Pengelolaan Sampah Perkotaan*. Badan Standarisasi Nasional

_____, (2008). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah*. Jakarta

_____, (2002). *Peraturan Daerah Kota Yogyakarta Nomor 18 Tahun 2002 tentang Pengelolaan Kebersihan*. Yogyakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1

**DATA VOLUME SAMPAH PER HARI PER SEKTOR
BERDASARKAN JUMLAH DEPO, TPS, DAN LANDASAN *CONTAINER*
TAHUN 2013**

NO	NAMA TPS	VOL	SAT	KECAMATAN	JUM
SEKTOR GUNUNGKETUR					
1.	Depo Mandala Krida	46	m^3	Gondokusuman	Depo = 1
2.	TPS Jl. Bausasran Double	2	m^3	Danurejan	TPS = 18
3.	TPS Jl. Bausasran Pos Kampling	1	m^3	Danurejan	Con = 4
4.	TPS Jl. Hayam Wuruk	22	m^3	Danurejan	
5.	TPS Lempuyangan	5	m^3	Danurejan	
6.	TPS Sta. Lempuyangan (Kecil)	1	m^3	Danurejan	
7.	TPS Sta. Lempuyangan (PT KAI)	5	m^3	Danurejan	
8.	TPS Jl. Argolobang	4	m^3	Gondokusuman	
9.	TPS Jl. Mangunsarkoro	6	m^3	Pakualaman	
10.	TPS Jl. Cantel	3	m^3	Umbulharjo	
11.	TPS Jl. Cantel Baru	1	m^3	Umbulharjo	
12.	TPS Jl. Gajah	3	m^3	Umbulharjo	
13.	TPS Jl. Pramuka	4	m^3	Umbulharjo	
14.	TPS UST Sarjanawiyata	6	m^3	Umbulharjo	
15.	TPS Asrama Brimob	2	m^3	Umbulharjo	
16.	TPS LP Wirogunan	2	m^3	Mergangsan	
17.	TPS P&K	2	m^3	Danurejan	
18.	TPS Balai Kulit	2	m^3	Danurejan	
19.	TPS Pengadilan	2	m^3	Danurejan	
20.	Landasan <i>Container</i> SGM	6	m^3	Umbulharjo	
21.	Landasan <i>Container</i> XT Square	6	m^3	Umbulharjo	
22.	Landasan <i>Container</i> Balai Kota	6	m^3	Umbulharjo	
23.	Landasan <i>Container</i> Purwokinanti	6	m^3	Danurejan	
SEKTOR KOTAGEDE					
1.	Depo Jl. Veteran	29	m^3	Umbulharjo	Depo = 4

2.	Depo Kemasan Kotagede	20	m^3	Kotagede	TPS = 1 Con = 3
3.	Depo Nitikan	20	m^3	Umbulharjo	
4.	Depo Sorosutan	10	m^3	Umbulharjo	
5.	TPS Lapangan Karang	20	m^3	Kotagede	
6.	Landasan <i>Container</i> RSUD Wirosaban	6	m^3	Umbulharjo	
7.	Landasan <i>Container</i> Gembiraloka	24	m^3	Kotagede	
8.	Landasan <i>Container</i> Depokan	6	m^3	Kotagede	
SEKTOR KRASAK					
1.	Depo Sagan	20	m^3	Gondokusuman	Depo = 1 TPS = 37 Con = 2
2.	TPS Akprind	1	m^3	Gondokusuman	
3.	TPS Duta Foto	1	m^3	Gondokusuman	
4.	TPS Gedung Pamungkas	1	m^3	Gondokusuman	
5.	TPS Hotel Jogja	1	m^3	Gondokusuman	
6.	TPS Jl. Atmosukarto	2	m^3	Gondokusuman	
7.	TPS Jl. Balapan	1	m^3	Gondokusuman	
8.	TPS Jl. Hadidarsono	1	m^3	Gondokusuman	
9.	TPS Jl. Herman Yohanes	1	m^3	Gondokusuman	
10.	TPS Jl. Johar Nurhadi	1	m^3	Gondokusuman	
11.	TPS Jl. Krasak	3	m^3	Gondokusuman	
12.	TPS Jl. Kusbini	3	m^3	Gondokusuman	
13.	TPS Jl. Munggur	2	m^3	Gondokusuman	
14.	TPS Jl. Nyoman Oka	1	m^3	Gondokusuman	
15.	TPS Jl. Patimura	1	m^3	Gondokusuman	
16.	TPS Jl. Suroto	1	m^3	Gondokusuman	
17.	TPS Jl. Ungaran	2	m^3	Gondokusuman	
18.	TPS Jl. Wahidin	1	m^3	Gondokusuman	
19.	TPS Jl. Wardani	1	m^3	Gondokusuman	
20.	TPS Kantor Perikanan	1	m^3	Gondokusuman	
21.	TPS Kridosono	1	m^3	Gondokusuman	
22.	TPS Mirota	1	m^3	Gondokusuman	
23.	TPS Jl. Sagan	1,5	m^3	Gondokusuman	
24.	TPS SD Bhayangkara	1	m^3	Gondokusuman	
25.	TPS SD Klitren	1	m^3	Gondokusuman	

26.	TPS SMA 3 Padmanaba	2	m^3	Gondokusuman	
27.	TPS SMA Bopkri 1	2	m^3	Gondokusuman	
28.	TPS SMP 5	2	m^3	Gondokusuman	
29.	TPS SMP 8	1	m^3	Gondokusuman	
30.	TPS Superindo	2	m^3	Gondokusuman	
31.	TPS Telkom	1	m^3	Gondokusuman	
32.	TPS Jl. Langensari	3	m^3	Gondokusuman	
33.	TPS Jl. Pengok	12	m^3	Gondokusuman	
34.	TPS Tribata Selatan	3	m^3	Gondokusuman	
35.	TPS Tribata Utara	3	m^3	Gondokusuman	
36.	TPS Kusbini Timur	2	m^3	Gondokusuman	
37.	TPS Kusbini Tengah	1	m^3	Gondokusuman	
38.	TPS Kusbini Barat	1	m^3	Gondokusuman	
39.	Landasan <i>Container</i> Bethesda	6	m^3	Gondokusuman	
40.	Landasan <i>Container</i> RRI Jogja	12	m^3	Gondokusuman	

SEKTOR MALIOBORO – KRANGGAN

1.	Depo Makam Utoroloyo	12	m^3	Tegalrejo	Depo = 1 TPS = 9 Con = 5
2.	TPS Pasar Serangan	5	m^3	Gondomanan	
3.	TPS Serangan	2	m^3	Gondomanan	
4.	TPS Gowongan	1,5	m^3	Jetis	
5.	TPS Bangunrejo	8	m^3	Tegalrejo	
6.	TPS Kricak	4	m^3	Tegalrejo	
7.	TPS Poltabes	2	m^3	Gondomanan	
8.	TPS DPRD Provinsi	2	m^3	Danurejan	
9.	TPS Hotel Jogja	2	m^3	Danurejan	
10.	TPS Korem	2	m^3	Kraton	
11.	Landasan <i>Container</i> Kubota	2	m^3	Jetis	
12.	Landasan <i>Container</i> Bener	4	m^3	Tegalrejo	
13.	Landasan <i>Container</i> Utoroloyo	4	m^3	Tegalrejo	
14.	Landasan <i>Container</i> Sta. Tugu	4	m^3	Gedongtengen	
15.	Landasan <i>Container</i> Pasar Sore	6	m^3	Danurejan	

SEKTOR NGASEM – GADING

1.	Depo Pasar Ngasem	9	m^3	Kraton	Depo = 3
----	-------------------	---	-------	--------	----------

2.	Depo Dukuh	16	m^3	Mantrijeron	TPS = 12 Con = 3
3.	Depo Purawisata	40	m^3	Mergangsan	
4.	TPS PDHI	2	m^3	Kraton	
5.	TPS Pathuk	2	m^3	Ngampilan	
6.	TPS Alun-alun Selatan	8	m^3	Kraton	
7.	TPS Keben	2	m^3	Kraton	
8.	TPS Ngadiwinatan	2	m^3	Kraton	
9.	TPS Jembatan Tungkak	2	m^3	Mergangsan	
10.	TPS Jl. Sisisngamangaraja	6	m^3	Mergangsan	
11.	TPS Pasar Pujokusuman	6	m^3	Mergangsan	
12.	TPS Magangan	3	m^3	Kraton	
13.	TPS Perum <i>Green House</i>	5	m^3	Mergangsan	
14.	TPS PIRI	1	m^3	Mantrijeron	
15.	TPS SMK 4	2	m^3	Umbulharjo	
16.	Landasan <i>Container</i> Alun-alun Utara	24	m^3	Kraton	
17.	Landasan <i>Container</i> Tamansari	24	m^3	Wirobrajan	
18.	Landasan <i>Container</i> Bugisan	12	m^3	Wirobrajan	

Lampiran 2

RUTE KENDARAAN PENGANGKUT SAMPAH
TAHUN 2013

NO.	NOMER KENDARAAN	RUTE PENGANGKUTAN SAMPAH
SEKTOR GUNUNG KETUR		
1.	AB 8195 UA	TPS Mangunsarkoro – TPS Jl. Cantel – TPS Jl. Gajah – TPA Piyungan
		TPS Asrama Brimob – TPS Jl. Cantel Baru – TPS P&K – TPA Piyungan
		TPS Jl. Bausasran Double – TPS Jl. Bausasran Pos Kamling – TPS Balai Kulit – TPS UST Sarjanawiyata – TPA Piyungan
2.	AB 8015 UA	Depo Mandala Krida – TPA Piyungan
3.	AB 8246 UA	Depo Mandala Krida – TPA Piyungan
4.	AB 8019 UA	TPS Jl. Argolobang – TPS Hayam Wuruk – TPA Piyungan
5.	AB 8298 UA	TPS Lempuyangan – TPS Sta. Lempuyangan (Kecil) – TPS Pengadilan – TPA Piyungan
		TPS Sta. Lempuyangan (PT KAI) – TPS LP Wirogunan – TPS Jl. Pramuka – TPA Piyungan
SEKTOR KOTAGEDE		
1.	AB 8175 UA	Depo Kemasan Kotagede – TPA Piyungan
2.	AB 8253 UA	TPS Lapangan Karang – TPA Piyungan
3.	AB 8041 UA	Depo Sorosutan – TPA Piyungan
		Depo Jl. Veteran – TPA Piyungan
4.	AB 8192 UA	Depo Nitikan – TPA Piyungan
SEKTOR KRASAK		
1.	AB 8133 UA	TPS SMP 8 – TPS SMP 5 – TPS SMA Bopkri 1 – TPA

		Piyungan
		TPS Jl. Herman Yohanes – TPS Jl. Sagan – TPS Jl. Suroto – TPA Piyungan
		TPS Jl. Wardani – TPS Jl. Wahidin – TPS Telkom – TPA Piyungan
		TPS Kantor Perikanan – TPS Mirota – TPS Superindo – TPA Piyungan
		TPS Jl. Atmosukarto – TPS Kridosono – TPS Jl. Krasak – TPA Piyungan
2.	AB 8163 UA	TPS Jl. Kusbini Barat – TPS Jl. Kusbini Tengah – TPS Jl. Kusbini Timur – TPS Ungaran – TPA Piyungan
		TPS Jl. Nyoman Oka – TPS Jl. Patimura – TPS SMA 3 – TPA Piyungan
		TPS Gedung Pamungkas – TPS Jl. Hadidarsono – TPS Jl. Johar Nurhadi – TPA Piyungan
3.	AB 8126 UA	Depo Sagan – TPA Piyungan
4.	AB 8237 UA	TPS Pengok – TPA Piyungan
5.	AB 8020 UA	TPS Munggur – TPS Tribata Selatan – TPA Piyungan
		TPS Tribata Utara – TPS Jl. Balapan – TPS Duta Foto – TPS Akprind – TPA Piyungan
		TPS SD Klitren – TPS Hotel Jogja – TPS SD Bhayangkara – TPA Piyungan
6.	AB 8039 UA	TPS Jl. Kusbini – TPS Jl. Langensari – TPA Piyungan
SEKTOR MALIOBORO – KRANGGAN		
1.	AB 8110 UA	TPS Gowongan – TPS DPRD Provinsi – TPS Hotel Garuda – TPA Piyungan
2.	AB 8117 UA	TPS Serangan – TPS Korem – TPS Poltabes – TPS Kricak – TPS Bangunrejo – Depo Makam Utoroloyo
3.	AB 8023 UA	Depo Makam Utoroloyo – TPA Piyungan
		TPS Pasar Serangan – TPA Piyungan

SEKTOR NGASEM – GADING		
1.	AB 8110 UA	TPS Jl. Sisingamangaraja – TPA Piyungan
		TPS Perum <i>Green House</i> – TPA Piyungan
2.	AB 8196 UA	Depo Purawisata – TPA Piyungan
3.	AB 8247 UA	Depo Purawisata – TPA Piyungan
4.	AB 8022 UA	Depo Pasar Ngasem – TPA Piyungan
5.	AB 8125 UA	Depo Dukuh – TPA Piyungan
6.	AB 8049 UA	TPS Keben – TPS Pasar Pujokusuman – TPS Magangan – TPA Piyungan
		TPS Pathuk – TPS PDHI – TPS SMK 4 – TPS Ngadiwinatan – TPA Piyungan
7.	AB 8301 UA	TPS Alun-alun Selatan – TPA Piyungan
		TPS Jembatan Tungkak – TPS PIRI – TPA Piyungan

Lampiran 3

MATRIKS JARAK ANTAR TPS/TPA (KM)

K/ Dari	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	X
0	2.15	2.42	1.59	1.62	1.98	2.00	2.30	1.70	2.32	1.78	2.70	1.71	1.90	2.30	2.50	0.30	0.21	0.12	2.50	2.78	2.70	2.82	1.97	2.38	2.00	0.18	0.30	0.50	0.85	0.88	0.89	0.84	0.80	0.58	2.10	0.68	13.82	
1	2.62	1.20	1.90	1.60	1.30	0.75	1.10	1.70	1.10	1.30	1.50	1.50	1.40	1.50	1.10	2.30	2.40	2.50	0.85	0.75	0.87	0.83	1.34	0.95	1.03	2.60	2.60	2.80	2.30	2.50	2.70	2.50	2.83	2.30	1.79	1.99	16.18	
2	1.48	1.00	1.10	1.10	1.40	0.65	0.27	0.55	0.60	1.30	1.30	0.30	0.40	0.60	1.10	1.20	1.30	0.64	1.00	0.83	0.84	0.16	0.46	0.67	1.48	1.46	1.70	1.20	1.40	1.50	1.30	1.80	1.20	0.60	0.83	15.04		
3	2.30	0.50	0.80	1.00	0.78	0.43	0.76	1.38	0.75	0.82	1.80	0.17	1.10	1.23	1.43	1.90	2.00	2.10	1.10	1.04	1.10	1.10	1.00	0.60	0.21	2.30	2.30	2.50	2.40	2.20	2.30	2.14	2.63	2.04	1.43	1.60	15.82	
4	1.70	0.98	1.30	0.49	0.38	0.88	1.21	0.59	1.18	0.24	1.12	0.57	1.60	1.63	1.89	1.40	1.50	1.60	1.56	1.49	1.60	1.60	1.40	1.00	0.70	1.74	1.74	1.90	1.48	1.68	1.80	1.67	2.14	1.50	0.90	1.10	15.34	
5	2.10	0.70	1.30	0.83	0.38	0.87	1.20	0.92	1.18	0.20	0.89	0.55	1.59	1.63	1.90	1.70	1.80	1.90	1.60	1.50	1.60	1.40	1.10	0.69	0.21	2.10	2.30	1.80	2.00	2.20	2.10	2.00	2.40	1.80	1.30	1.50	15.69	
6	1.80	0.45	0.44	1.50	1.10	0.87	0.38	1.00	0.33	0.90	1.13	1.00	0.75	0.80	1.06	1.50	1.60	1.70	0.65	0.65	0.66	0.67	0.60	0.22	0.33	1.90	1.90	2.10	1.60	1.80	1.70	1.80	2.80	1.60	1.10	1.30	15.43	
7	1.80	0.75	0.43	1.50	1.10	1.20	0.38	0.61	0.31	1.30	1.46	1.39	0.73	0.76	1.03	1.10	1.20	1.30	0.59	0.90	0.60	0.37	0.58	0.14	0.39	1.50	1.50	1.70	1.20	1.40	1.58	1.39	1.88	1.27	0.65	0.85	15.01	
8	1.20	1.00	1.40	0.55	0.58	0.92	0.98	1.33	1.30	0.73	1.70	0.75	0.79	1.20	1.36	0.85	0.95	1.05	1.50	1.58	1.70	1.70	0.93	1.10	0.78	1.20	1.20	1.40	0.90	1.10	1.25	1.08	1.55	0.93	0.35	0.55	14.79	
9	1.50	1.40	0.09	1.20	1.20	1.82	0.78	0.43	0.65	1.42	2.05	1.43	0.42	0.46	0.71	1.25	1.35	1.45	0.73	1.10	0.93	0.98	0.25	0.56	0.78	1.58	1.58	1.77	1.32	1.51	1.63	1.46	1.93	1.33	0.73	0.93	15.12	
10	1.90	0.75	1.30	0.63	0.24	0.20	0.80	1.18	0.73	1.16	0.94	0.44	1.52	1.58	1.83	1.58	1.68	1.78	1.54	1.59	1.53	1.53	1.37	0.95	0.62	1.90	1.90	2.10	1.67	1.87	1.97	1.80	2.28	1.68	1.09	1.29	15.48	
11	3.20	1.40	1.70	2.50	2.10	1.80	1.32	1.60	2.60	1.64	1.05	2.00	2.03	1.67	1.83	2.84	2.94	3.04	1.43	1.32	1.43	1.43	1.89	1.52	1.62	3.18	3.18	3.36	2.92	3.12	3.24	3.06	3.50	2.94	2.37	2.57	16.47	
12	2.50	0.45	0.76	1.20	0.90	0.63	0.30	0.71	1.35	0.72	0.63	1.10	1.13	1.18	1.42	2.20	2.30	2.40	1.12	1.01	1.13	1.13	0.97	0.53	0.17	2.50	2.50	2.70	2.24	2.44	2.58	2.40	2.88	2.27	1.69	1.89	16.09	
13	1.30	1.30	0.80	1.03	1.04	1.39	0.97	0.95	0.45	0.73	1.22	2.06	1.24	0.45	0.70	1.05	1.15	1.25	0.73	0.90	0.92	0.14	1.03	1.24	1.40	1.58	1.13	1.33	1.45	1.27	1.76	1.16	0.55	0.75	14.71			
14	1.80	0.95	0.38	1.46	1.50	1.38	0.54	0.53	0.93	0.28	1.44	1.64	1.54	0.69	0.25	1.54	1.64	1.74	0.27	0.64	0.48	0.52	0.55	0.56	0.90	1.86	1.87	2.04	1.58	1.79	1.92	1.74	2.12	1.62	1.02	1.22	15.38	
15	1.90	1.30	0.76	1.54	1.58	1.80	0.93	0.91	1.00	0.68	1.73	2.02	1.74	0.66	0.43	1.59	1.69	1.79	0.68	1.04	0.87	0.91	0.94	0.96	1.32	1.94	1.93	2.10	1.64	1.83	1.98	1.80	2.27	1.67	1.08	1.30	15.72	
16	0.40	1.80	2.00	1.20	1.20	1.60	1.60	2.00	1.30	2.00	1.43	2.46	1.48	2.14	2.43	2.68	0.09	0.18	2.38	2.26	2.39	2.38	2.22	1.87	1.48	0.36	0.38	0.58	0.50	0.58	0.59	0.52	0.75	0.26	1.72	0.34	14.11	
17	0.21	1.90	2.10	1.30	1.30	1.70	1.70	2.10	1.40	2.10	1.53	2.56	1.58	2.24	2.53	2.78	0.09	0.09	2.49	2.38	2.48	2.47	2.32	1.97	1.58	0.24	0.27	0.45	0.60	0.70	0.69	0.63	0.60	0.38	1.82	0.47	14.03	
18	0.12	2.00	2.20	1.40	1.40	1.40	1.80	1.80	2.20	1.50	2.20	1.63	2.66	1.68	2.34	2.63	2.88	0.18	0.09	2.59	2.48	2.58	2.57	2.42	2.07	1.68	0.14	0.17	0.36	0.70	0.79	0.78	0.73	0.54	0.48	1.92	0.57	13.94
19	1.90	1.00	0.43	1.47	1.70	1.40	0.55	0.55	0.99	0.30	1.52	1.68	1.62	0.72	0.28	0.31	1.57	1.67	1.77	0.53	0.23	0.23	0.58	0.62	0.96	1.90	1.90	2.07	1.63	1.83	1.96	1.78	2.26	1.66	1.07	1.27	15.39	
20	2.40	1.30	0.90	2.12	1.89	1.80	0.63	0.90	1.55	0.83	1.68	1.84	1.78	1.33	0.64	0.53	2.15	2.25	2.35	0.53	0.35	0.58	1.18	0.78	1.18	1.26	2.49	2.67	2.20	2.40	2.55	2.37	2.84	2.24	1.66	1.86	15.89	
21	2.08	1.00	0.62	1.70	1.70	1.40	0.57	0.70	1.18	0.52	1.50	1.68	1.60	0.92	0.49	0.50	1.77	1.87	1.97	0.23	0.35	0.24	0.77	0.62	0.96	2.08	2.08	2.25	1.81	2.01	2.14	1.98	2.43	1.84	1.25	1.45	15.58	
22	2.09	0.70	0.60	1.70	1.48	1.20	0.35	0.37	1.14	0.50	1.25	1.45	1.36	0.88	0.48	0.52	1.73	1.83	1.93	0.23	0.58	0.24	0.76	0.38	0.73	2.08	2.07	2.26	1.80	2.00	2.14	1.98	2.42	1.83	1.25	1.45	15.49	
23	1.49	1.20	0.68	1.10	1.18	1.50	0.80	0.80	0.62	0.58	1.40	1.92	1.37	0.14	0.29	0.47	1.20	1.30	1.40	1.40	0.58	0.93	0.78	0.83	0.85	1.21	1.54	1.54	1.72	1.26	1.46	1.60	1.42	1.88	1.28	0.68	0.88	14.83
24	1.88	0.60	0.40	1.50	1.34	1.10	0.22	0.14	1.04	0.36	1.12	1.33	1.25	0.75	0.80	0.94	1.58	1.68	1.78	1.18	1.15	0.74	0.52	0.61	0.37	1.67	1.66	1.83	1.39	1.49	1.72	1.53	2.00	1.42	0.80	1.02	15.42	
25	2.06	0.55	0.65	1.60	1.20	0.95	0.35	0.39	0.20	1.20	0.56	1.00	1.18	1.13	0.95	1.03	1.17	1.79	1.89	1.98	1.13	1.00	1.13	1.12	0.81	0.37	1.89	1.90	2.08	1.62	1.82	1.96	1.76	2.24	1.64	1.05	1.25	16.64
26	0.18	2.10	2.40	1.60	1.90	2.00	2.30	1.70	2.32	1.78	2.78	1.78	2.48	2.46	3.04	0.36	0.23	0.14	2.71	2.61	2.73	2.63	2.48	2.14	1.81	0.30	0.50	0.86	0.93	0.78	0.85	0.57	0.62	1.96	0.66	3.98	1.64	13.98
27	0.30	2.04	2.34	1.54	1.56	1.84	1.94	2.24	1.64	2.28	1.72	2.72	1.72	2.42	2.72	3.02	0.38	0.27	0.18	2.65	2.55	2.69	2.59	2.42	2.10	1.75	0.06	0.19	0.62	0.69	0.38	0.62	0.36	0.39	2.03	0.75	14.03	
28	0.37	1.90	2.14	1.30	1.40	1.70	2.10	1.50	2.10	1.55	2.57	1.58	2.26	2.53	2.78	0.58	0.50	0.40	2.48	2.37	2.50	2.41	2.34	1.92	1.58	0.25	0.19	0.49	0.56	0.19	0.47	0.17	0.30	1.82	0.76	14.21		
29	0.85	1.50	1.80	0.97	1.00	1.30	1.40	1.70	1.10	1.74	1.18	2.20	1.20	1.88	2.18	2.44	0.50	0.60	0.70	2.12	2.01	2.12	2.04	1.99	1.56	1.22	0.74	0.62	0.46	0.21	0.42	0.15	0.61	0.25	1.46	1.72	14.67	
30	0.88	1.30	1.58	0.77	0.82	1.10	1.20	1.50	0.90	1.54	0.98	2.00	1.00	1.68	1.99	2.23	0.58	0.70	0.79	1.93	1.80	1.92	1.84	1.78	1.35	1.02	0.80	0.69	0.55	0.21	0.42	0.16	0.73	0.31	1.24	0.76	14.70	
31	0.63	1.60	1.90	1.10	1.14	1.50	1.56	1.90	1.27	1.88	1.32	2.34	1.34	2.02	2.32	2.56	0.59	0.69	0.59	2.26	2.05	2.27	2.17	2.13	1.71	1.38	0.45	0.38	0.19	0.41	0.42	0.35	0.20	0.32	1.59	0.77	14.64	
32	0.84	1.40	1.64	0.84	0.88	1.20	1.26	1.60	0.95	1.58	1.03	2.04	1.04	1.74	2.03	2.28	0.52	0.63	0.73	1.97	1.84	1.98	1.84	1.84	1.41	1.06	1.03	0.62	0.48	0.15	0.16	0.35	0.54	0.54	0.24	1.29	0.70	14.62
33	0.60	1.80	2.00	1.18	1.20	1.50	1.63	1.90	1.32	1.93	1.38	2.38	1.23	2.04	2.37	2.63	0.75	0.67	0.57	2.32	2.21	2.33	2.21	1.77	1.42													

dengan

0	BLH Kota Yogyakarta	6	TPS JL. SUROTO	12	TPS SUPERINDO	18	TPS JL. KUSBINI TIMUR	24	TPS JL. HADIDARSONO	30	TPS DUTA FOTO	36	TPS JL. LANGENSARI
1	TPS SMP 8	7	TPS JL. WARDANI	13	TPS JL. ATMOSUKARTO	19	TPS JL. UNGARAN	25	TPS JL. JOHAR NURHADI	31	TPS AKPRIND	X	TPA PIYUNGAN
2	TPS SMP 5	8	TPS JL. WAHIDIN	14	TPS KRIDOSONO	20	TPS JL. NYOMAN OKA	26	TPS JL. MUNGUR	32	TPS SD KLITREN		
3	TPS SMA BOPKRI 2	9	TPS TELEKOM	15	TPS JL. KRASAK	21	TPS JL. PATTIMURA	27	TPS TRIBATA SELATAN	33	TPS HOTEL JOGJA		
4	TPS JL. HERMAN YOHANES	10	TPS KANTOR PERIKANAN	16	TPS JL. KUSBINI BARAT	22	TPS SMA 3	28	TPS TRIBATA UTARA	34	TPS BHAYANGKARA		
5	TPS JL. SAGAN	11	TPS MIROTA	17	TPS JL. KUSBINI TENGAH	23	TPS GEDUNG PAMUNGKAS	29	TPS JL. BALAPAN	35	TPS JL. KUSBINI		

Lampiran 4

**Perhitungan Waktu Penyelesaian (CT) pada Busur Penyisipan
dengan Metode Sequential Insertion**

1) Pembentukan *Trip* Pertama Rute Pertama

penyisipan 1	
TPS	CT
17	48.08
16	48.38
34	49.19
33	49.86
32	49.92
29	50.01
30	50.02
31	50.03
8	51.47
23	51.93
4	52.17
10	52.62
7	52.7
6	52.88
9	52.89
25	53.19
14	53.25
24	53.43
18	53.82
26	53.97
21	54.15
1	54.23
20	54.74
11	55.49
5	56.24
13	57.65
3	58.85
2	58.92
12	59.43
19	59.57
22	60.2
27	60.23
28	60.8
36	61.65
35	63.81
15	66.06

penyisipan 2			
TPS	CT	TPS	CT
16	54.36	16	54.35
33	55.22	33	55.2
28	55.95	32	55.88
32	55.97	31	55.92
31	55.98	28	55.95
30	56.14	30	56.04
29	56.15	29	56.15
8	57.75	8	57.33
4	58.46	4	58.01
22	58.68	10	58.56
10	58.97	7	58.71
7	59.03	6	58.74
6	59.18	22	58.77
9	59.28	9	58.88
24	59.61	24	58.88
14	59.69	23	59.13
23	59.87	14	59.91
17	60.09	17	60.09
25	60.39	20	60.14
1	60.6	1	60.17
20	60.63	25	60.38
19	61.32	19	60.45
11	62.24	11	61.59
5	62.45	5	62.13
13	64.35	13	64.47
3	65.16	3	64.73
2	65.21	2	64.76
12	65.79	12	65.55
18	66.03	18	65.87
26	66.63	21	65.99
21	66.75	26	66.5
27	67.29	27	67.04
35	67.67	35	67.65
34	69.89	34	69.71
15	72.06	15	72.8

penyisipan 3					
TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT
34	61.47	34	61.17	34	61.16
29	62.21	29	61.86	32	61.89
33	62.23	32	61.94	29	61.94
32	62.24	30	62.13	31	62.03
31	62.39	31	62.13	30	62.1
30	62.4	33	62.94	33	62.24
8	64.01	8	63.59	8	63.32
4	64.71	4	64.26	4	63.99
23	64.94	10	64.88	10	64.55
10	65.22	6	65.01	7	64.7
7	65.28	7	65.01	6	64.73
6	65.43	9	65.24	23	64.76
9	65.54	25	65.27	9	64.86
25	65.87	23	65.49	25	64.86
14	65.94	24	65.54	24	65.12
24	66.12	14	66.32	14	65.9
18	66.35	1	66.51	21	66.14
26	66.65	21	66.59	1	66.15
1	66.86	18	66.62	18	66.36
21	66.89	20	67.01	20	66.41
20	67.58	26	67.11	26	66.69
11	68.49	5	68.31	11	67.58
5	68.7	11	68.31	5	68.12
13	70.61	2	71.01	13	70.46
3	71.42	3	71.01	3	70.71
2	71.46	13	71.15	2	70.74
12	72.05	12	71.88	12	71.54
19	72.29	19	72.3	19	71.84
27	72.89	22	72.51	22	71.99
22	73.01	27	73.19	27	72.8
28	73.53	36	73.64	28	73.37
36	73.92	28	73.76	36	73.59
35	76.14	35	75.74	35	75.69
15	78.32	15	78.77	15	78.78

penyisipan 4							
TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT
29	69.02	29	68.67	29	67.89	32	67.86
32	69.05	32	68.75	32	67.91	29	67.95
33	69.05	30	68.94	30	68.1	31	68.01
30	69.21	31	68.94	31	68.13	30	68.09
31	69.21	33	69.05	33	68.61	33	68.22
8	70.82	8	70.4	8	70.11	8	69.45
4	71.52	4	71.07	4	70.82	4	70.08
23	71.75	10	71.69	10	71.43	10	70.59
10	72.03	6	71.82	25	71.45	7	70.64
7	72.09	7	71.82	6	71.57	23	70.8
6	72.24	9	72.05	7	71.67	6	70.82
9	72.35	25	72.08	24	71.7	9	70.86
25	72.68	23	72.3	9	71.76	25	70.88
14	72.75	24	72.35	23	72.02	24	71.06
24	72.93	14	73.13	14	72.84	14	71.9
18	73.15	1	73.32	1	72.92	1	72.09
26	73.46	21	73.4	21	73.11	21	72.15
1	73.67	18	73.43	20	73.52	20	72.44
21	73.7	20	73.82	18	73.76	18	73.2
20	74.39	26	73.92	26	74.24	26	73.26
11	75.3	5	75.12	5	74.87	11	73.58
5	75.51	11	75.12	11	74.87	5	74.06
15	77.42	2	77.82	2	77.57	13	76.52
3	78.23	3	77.82	3	77.63	2	76.83
2	78.27	13	77.96	13	77.72	3	76.83
12	78.86	12	78.69	12	78.39	12	77.55
19	79.1	19	79.11	19	78.83	19	77.87
27	79.7	22	79.32	22	79.08	22	77.91
22	79.82	27	80	36	79.85	27	79.2
28	80.34	36	80.45	27	79.92	28	79.34
36	80.73	28	80.57	28	80.09	36	80.16
35	82.95	35	82.55	35	82.23	35	81.71
15	85.13	15	85.58	15	85.29	15	84.8

penyisipan 5									
TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT
29	75.72	29	75.38	29	74.6	29	74.1	29	74.16
33	75.75	30	75.65	30	74.81	30	74.21	30	74.22
30	75.92	31	75.65	31	74.84	31	74.51	31	74.42
31	75.92	33	75.75	33	75.32	33	75.03	33	74.67
8	77.52	8	77.1	8	76.82	8	76.82	8	75.54
4	78.23	4	77.78	4	77.52	4	77.51	4	76.26
23	78.45	10	78.35	10	78.14	25	77.99	10	76.7
10	78.74	6	78.53	25	78.15	10	78	7	76.85
7	78.8	7	78.53	6	78.27	7	78.14	23	76.94
6	78.95	9	78.75	7	78.38	24	78.15	9	76.98
9	79.05	25	78.78	24	78.41	6	78.3	25	76.98
25	79.38	23	79.01	9	78.47	9	78.3	6	77
14	79.46	24	79.05	23	78.72	23	78.62	24	77.18
24	79.64	14	79.83	14	79.55	14	79.37	14	78.05
18	79.86	1	80.03	1	79.62	1	79.5	21	78.27
26	80.16	21	80.1	21	79.82	21	79.68	1	78.3
1	80.37	18	80.13	20	80.22	20	80.09	20	78.53
21	80.4	20	80.52	18	80.46	18	81.32	11	79.7
20	81.09	26	80.63	26	80.94	11	81.39	18	79.94
11	82.01	5	81.83	5	81.57	5	81.45	26	80
5	82.22	11	81.83	11	81.57	26	81.5	5	80.27
13	84.12	2	84.53	2	84.27	2	84.15	13	82.61
3	84.93	3	84.53	3	84.33	3	84.24	3	82.92
2	84.98	13	84.66	13	84.42	13	84.29	2	82.95
12	85.56	12	85.4	12	85.1	12	84.95	12	83.63
19	85.8	19	85.82	19	85.53	19	85.38	19	83.97
27	86.4	22	86.03	22	85.79	22	85.58	22	84
22	86.52	27	86.7	36	86.55	28	86.66	27	85.91
28	87.05	36	87.15	27	86.63	36	87	28	85.97
36	87.44	28	87.27	28	86.79	27	87.02	36	86.88
35	89.66	35	89.25	35	88.94	35	88.82	35	87.8
15	91.83	15	92.28	15	92	15	91.85	15	90.93

penyisipan 6									
TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT
33	81.99	30	81.89	30	81.05	30	80.51	30	80.46
30	82.16	31	81.89	31	81.08	31	80.82	31	80.66
31	82.16	33	81.99	33	81.56	33	81.38	33	80.91
8	83.76	8	83.34	8	83.06	8	82.77	8	81.78
4	84.47	4	84.02	4	83.76	4	83.45	4	82.5
23	84.69	10	84.63	10	84.38	25	84	10	84.35
10	84.98	6	84.77	25	84.39	10	84.03	25	84.35
7	85.04	7	84.77	6	84.51	7	84.08	7	84.51
6	85.19	9	84.99	7	84.62	24	84.17	24	84.51
9	85.29	25	85.02	24	84.65	6	84.23	6	83.22
25	85.62	23	85.25	9	84.71	9	84.32	9	83.24
14	85.7	24	85.29	23	84.96	23	84.6	23	84.99
24	85.88	14	86.07	14	85.79	14	85.35	14	85.76
18	86.1	1	86.27	1	85.86	1	85.43	1	85.88
26	86.4	21	86.34	21	86.06	21	85.65	21	86.03
1	86.61	18	86.37	20	86.46	20	86.01	20	86.45
21	86.64	20	86.76	18	86.7	5	87.38	11	87.77
20	87.33	26	86.87	26	87.18	11	87.41	5	87.83
11	88.25	5	88.07	5	87.81	18	87.5	18	88.02
5	88.46	11	88.07	11	87.81	26	87.74	26	88.26
13	90.36	2	90.77	2	90.51	2	90.23	2	90.53
3	91.17	3	90.77	3	90.57	13	90.3	3	90.54
2	91.22	13	90.9	13	90.66	3	90.86	13	90.6
12	91.8	12	91.64	12	91.34	12	90.93	22	91.1
19	92.04	19	92.06	19	91.77	19	91.38	12	91.28
27	92.64	22	92.27	22	92.03	22	91.53	19	91.73
22	92.76	27	92.94	36	92.79	28	92.91	28	93.27
28	93.29	36	93.39	27	92.87	36	92.97	27	93.74
36	93.68	28	93.51	28	93.03	27	93.24	36	93.77
35	95.9	35	95.49	35	95.18	35	94.82	35	95.18
15	98.07	15	98.52	15	98.24	15	97.83	15	98.24
15	91.83	15	92.28	15	92	15	91.85	15	90.93

Sehingga rute yang terbentuk setelah penyisipan pada *trip* pertama rute pertama adalah 0 - 17 - 16 - 24 - 29 - 30 - 32 - X - 0

2) Pembentukan *Trip* Kedua Rute Pertama

penyisipan 7	
TPS	CT
33	129.96
31	130.43
8	130.8
23	130.92
14	132.2
9	132.23
4	132.45
7	132.66
10	132.87
6	133.08
24	133.08
25	133.19
21	133.23
20	133.91
18	134.25
26	134.37
1	134.51
11	135.84
5	136.5
13	136.56
2	138.27
19	138.62
22	139.07
3	139.13
12	139.82
27	140.93
28	141.47
36	142.07
35	142.56
15	145.08

penyisipan 8			
TPS	CT	TPS	CT
31	136.7	31	136.29
8	138.87	8	138.2
23	139.43	4	138.84
14	140.24	10	139.32
9	140.37	7	139.4
4	140.58	23	139.59
24	140.88	9	139.61
7	140.9	6	139.62
10	141	25	139.62
25	141.02	24	139.82
21	141.44	14	140.66
6	142.07	21	140.9
18	142.08	1	141
26	142.19	20	141.18
20	142.26	26	141.66
1	142.41	18	141.8
11	144.32	11	142.31
5	144.5	5	142.82
13	145.07	13	145.22
2	146.34	3	145.53
19	146.85	2	145.59
3	147.27	12	146.3
22	147.39	19	146.6
12	147.93	22	146.61
28	148.34	28	147.6
27	148.35	27	147.62
36	149.39	36	149.33
35	150.21	35	150.41
15	152.84	15	153.56

penyisipan 9					
TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT
8	145.2	8	145.85	8	144.42
23	145.76	4	146.49	4	145.05
14	146.57	6	146.99	10	145.53
9	146.7	10	147.02	7	145.7
4	146.91	25	147.06	23	145.77
24	147.21	7	147.21	6	145.82
7	147.23	24	147.23	9	145.83
10	147.33	9	147.33	25	145.86
25	147.35	23	147.71	24	146.03
21	147.77	14	148.43	14	146.88
6	148.4	21	148.7	1	147
18	148.41	1	148.74	21	147.11
26	148.52	20	149.13	20	147.24
20	148.59	26	149.82	26	147.98
1	148.74	18	150.02	18	148.13
11	150.65	5	150.39	11	148.55
5	150.83	11	150.42	5	149.12
13	151.4	3	153.21	13	151.43
2	152.67	2	153.24	3	151.71
19	153.18	13	153.29	2	151.74
3	153.6	12	153.99	12	152.48
22	153.72	19	154.41	19	152.81
12	154.26	28	154.53	22	152.82
28	154.67	22	154.55	28	153.93
27	154.68	27	155.1	27	153.95
36	155.72	36	156.45	36	155.39
35	156.54	35	157.8	35	156.65
15	159.17	15	160.91	15	159.75

penyisipan 10							
TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT
25	153.89	18	152.13	4	151.11	23	151.88
14	154.7	19	152.16	10	151.59	4	152.12
9	154.83	4	154.62	7	152.28	10	152.55
4	155.04	6	155.12	9	152.31	7	152.75
7	155.34	10	155.15	6	152.36	6	152.85
24	155.34	27	155.19	25	152.39	9	152.87
10	155.46	7	155.34	23	152.64	25	152.87
25	155.48	26	155.36	24	152.64	24	153.02
21	155.9	9	155.46	14	153.39	14	153.11
6	156.53	25	155.84	1	153.47	1	154.01
18	156.54	14	156.56	21	153.69	21	154.16
26	156.65	23	156.83	20	153.92	20	154.44
20	156.72	1	156.87	5	155.15	11	155.49
1	156.87	22	157.26	11	155.93	5	156.15
11	158.78	28	157.95	18	157.65	18	156.72
5	158.96	20	158.15	26	157.74	26	157.01
13	159.53	5	158.52	2	158.19	13	157.49
2	160.8	11	158.55	13	158.22	3	158.79
19	161.31	3	161.34	3	158.24	2	158.9
3	161.73	2	161.37	12	158.55	12	159.5
22	161.85	13	161.42	19	159.39	19	159.57
12	162.39	12	162.12	22	159.48	22	160.02
28	162.8	21	162.54	28	163.05	35	162.69
27	162.81	24	162.68	27	163.55	36	162.96
36	163.85	36	164.58	36	163.77	27	163.08
35	164.67	35	165.93	35	165.3	28	163.65
15	167.3	15	169.04	15	165.86	15	165.86

penyisipan 11									
TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT
23	160.575	6	161.805	10	157.74	10	157.68	23	158.565
14	161.385	10	161.835	25	159.27	7	158.955	10	159.24
9	161.52	25	161.88	6	159.39	9	158.97	7	159.435
24	162.03	7	162.03	7	159.9	6	159.045	6	159.54
7	162.045	24	162.045	24	159.975	25	159.075	9	159.555
10	162.15	9	162.15	9	160.02	23	159.255	25	159.555
25	162.165	23	162.525	1	160.2	24	159.285	24	159.705
21	162.585	14	163.245	23	160.365	14	160.065	14	159.795
6	163.215	21	163.515	14	161.13	1	160.245	1	160.695
18	163.23	1	163.56	5	161.22	21	160.395	21	160.845
26	163.335	20	163.95	20	161.31	20	160.785	20	161.13
20	163.41	26	164.64	21	161.355	5	161.175	11	162.18
1	163.56	18	164.835	11	162.06	11	161.805	5	162.84
11	165.465	5	165.21	18	164.385	2	165	18	163.41
5	165.645	11	165.24	26	164.475	3	165.03	26	163.695
13	166.215	3	168.03	3	164.55	12	165.105	13	164.175
2	167.49	2	168.06	12	164.76	13	165.3	3	165.48
19	168	13	168.105	2	165.9	19	166.05	2	165.585
3	168.42	12	168.81	13	165.99	22	166.335	12	166.185
22	168.54	19	169.23	22	166.875	18	166.875	19	166.26
12	169.08	28	169.35	19	167.34	26	167.385	22	166.71
28	169.485	22	169.365	28	169.785	35	171.975	35	169.38
27	169.5	27	169.92	27	170.31	36	171.975	36	169.65
36	170.535	36	171.27	36	170.655	15	172.56	27	169.77
35	171.36	35	172.62	35	172.185	27	173.295	28	170.34
15	173.985	15	175.725	15	173.61	28	173.325	15	172.545

penyisipan 12											
TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT
23	167.145	6	168.375	25	165.84	25	165.87	7	165.27	23	165.135
14	167.955	25	168.45	6	165.96	6	165.99	6	165.285	7	166.005
9	168.09	7	168.6	7	166.47	24	166.5	9	165.3	6	166.11
24	168.6	24	168.615	24	166.545	11	166.575	25	165.315	9	166.125
7	168.615	9	168.72	9	166.59	1	166.74	23	165.57	25	166.125
25	168.735	23	169.095	1	166.77	7	167.085	24	165.57	24	166.275
21	169.155	14	169.815	23	166.935	5	167.19	1	166.26	14	166.365
6	169.785	21	170.085	14	167.7	9	167.22	14	166.35	1	167.265
18	169.8	1	170.13	5	167.79	23	167.52	21	166.65	21	167.415
26	169.905	20	170.52	20	167.88	14	167.925	5	167.265	20	167.7
20	169.98	26	171.21	21	167.925	21	167.97	20	167.295	11	168.75
1	170.13	18	171.405	11	168.63	20	168.075	11	167.895	5	169.41
11	172.035	5	171.78	18	170.955	12	171.12	12	171.27	18	169.98
5	172.215	11	171.81	26	171.045	3	171.285	2	171.36	26	170.265
13	172.785	3	174.6	3	171.12	2	173.22	13	171.54	13	170.745
2	174.06	2	174.63	12	171.33	13	173.55	3	171.6	3	172.05
19	174.57	13	174.675	2	172.47	22	173.595	19	172.38	2	172.155
3	174.99	12	175.38	13	172.56	19	173.94	22	172.59	12	172.755
22	175.11	19	175.8	22	173.445	18	174.165	18	173.505	19	172.83
12	175.65	28	175.92	19	173.91	26	174.6	26	173.985	22	173.28
28	176.055	22	175.935	28	176.355	35	179.265	35	178.62	35	175.95
27	176.07	27	176.49	27	176.88	36	179.265	36	178.62	36	176.22
36	177.105	36	177.84	36	177.225	28	180.495	15	178.83	27	176.34
35	177.93	35	179.19	35	178.755	27	180.51	27	179.895	28	176.91
15	180.555	15	182.295	15	180.18	15	180.75	28	179.985	15	179.115

Sehingga rute yang terbentuk setelah penyisipan pada *trip* kedua rute pertama adalah

0 - 17 - 16 - 24 - 29 - 30 - 32 - X - 33 - 31 - 4 - 10 - 8 - 23 - X - 0

3) Pembentukan *Trip* Ketiga Rute Pertama

penyisipan 13	
TPS	CT
14	216.9
9	216.93
7	217.365
6	217.785
24	217.785
25	217.89
21	217.935
20	218.61
18	218.955
26	219.075
1	219.21
11	220.545
5	221.205
13	221.265
2	222.975
19	223.32
22	223.77
3	223.83
12	224.52
27	225.63
28	226.17
36	226.77
35	227.265
15	229.785

penyisipan 14			
TPS	CT	TPS	CT
9	224.01	9	222.93
21	224.37	7	223.14
20	224.805	6	223.785
6	224.91	24	223.8
24	224.925	21	223.92
25	225.045	20	224.625
7	225.06	25	224.64
1	226.26	1	225.525
11	227.415	11	226.995
13	228.945	5	228.435
5	229.185	13	228.93
19	229.725	2	228.96
2	230.085	19	229.32
22	230.325	18	229.35
26	230.865	26	229.59
3	231.015	22	229.845
18	231.06	3	231.75
12	231.225	12	232.275
15	235.92	35	235.29
28	237.72	36	235.56
36	237.72	27	235.68
27	237.735	15	235.785
35	238.485	28	236.205

penyisipan 15					
TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT
21	230.4	7	229.77	7	229.41
20	230.835	6	229.815	24	230.22
6	230.94	24	229.89	6	230.565
24	230.955	21	230.01	25	230.88
25	231.075	25	230.7	21	231.015
7	231.09	20	230.715	20	231.735
1	232.29	1	231.585	1	232.62
11	233.445	11	233.43	11	234.03
13	234.975	5	235.35	2	234.945
5	235.215	19	235.365	13	234.945
19	235.755	2	235.98	18	235.335
2	236.115	22	236.04	5	235.515
22	236.355	13	236.64	26	235.59
26	236.895	3	237.825	19	236.43
3	237.045	12	237.9	22	236.955
18	237.09	18	240.42	3	237.78
12	237.255	26	240.78	12	238.53
15	241.95	15	241.905	35	241.275
28	243.75	35	245.34	36	241.545
36	243.75	36	245.34	27	241.665
27	243.765	28	246.72	28	242.22
35	244.515	27	246.735	15	242.895

penyisipan 16					
TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT
21	236.88	6	236.295	24	235.815
20	237.315	24	236.37	6	236.505
6	237.42	21	236.49	25	236.52
24	237.435	25	237.18	21	237.21
25	237.555	20	237.195	20	237.765
1	238.77	1	238.065	1	238.515
11	239.925	11	239.91	11	240.24
13	241.455	5	241.83	2	241.305
5	241.695	19	241.845	5	242.295
19	242.235	2	242.46	19	242.685
2	242.595	22	242.52	22	242.79
22	242.835	13	243.12	13	242.82
26	243.375	3	244.305	3	243.705
3	243.525	12	244.38	12	243.975
18	243.57	18	246.9	18	246.24
12	243.735	26	247.26	26	246.585
15	248.43	15	248.385	15	249.195
28	250.23	35	251.82	35	251.31
36	250.23	36	251.82	36	251.31
27	250.245	28	253.2	27	252.495
35	250.995	27	253.215	28	252.57
				15	250.02

penyisipan 17 (batal)											
TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT
21	243.285	6	242.7	6	242.475	6	242.505	6	243.015		
20	243.72	21	242.895	25	242.7	25	242.745	25	243.345		
6	243.825	25	243.585	21	243.3	21	243.765	21	243.57		
25	243.96	20	243.6	20	243.795	1	244.155	20	244.485		
1	245.175	1	244.47	1	244.5	20	244.68	1	244.695		
11	246.33	11	246.315	11	246.33	11	246	11	246.195		
13	247.86	5	248.235	2	247.8	5	248.055	5	247.635		
5	248.1	19	248.25	5	248.355	2	248.685	18	248.16		
19	248.64	2	248.865	19	249	22	248.94	13	248.46		
2	249	22	248.925	22	249.015	13	250.155	2	248.505		
22	249.24	13	249.525	13	249.15	19	250.2	26	248.52		
26	249.78	3	250.71	3	249.675	12	250.545	22	249.09		
3	249.93	12	250.785	12	249.915	3	250.995	19	249.27		
18	249.975	18	253.305	18	252.255	26	253.56	3	251.28		
12	250.14	26	253.665	26	252.555	18	253.575	12	251.52		
15	254.835	15	254.79	15	255.48	15	256.38	35	254.205		
28	256.635	35	258.225	35	257.25	35	258.255	36	254.475		
36	256.635	36	258.225	36	257.25	36	258.285	27	254.595		
27	256.65	28	259.605	27	258.495	27	259.455	28	255.165		
35	257.4	27	259.62	28	258.51	28	259.5	15	256.425		

Penyisipan TPS 6 dibatalkan karena CT melebihi T_{maks}

Sehingga rute yang terbentuk setelah penyisipan pada *trip* ketiga rute pertama adalah
0 - 17 - 16 - 34 - 29 - 30 - 32 - X - 33 - 31 - 4 - 10 - 8 - 23 - X - 14 - 9 - 24 - 7 - X - 0

4) Pembentukan *Trip* Pertama Rute Kedua

penyisipan 17	
TPS	CT
6	52.875
25	53.19
18	53.82
26	53.97
21	54.15
1	54.225
20	54.735
11	55.485
5	56.235
13	57.645
3	58.845
2	58.92
12	59.43
19	59.565
22	60.195
27	60.225
28	60.795
36	61.65
35	63.81
15	66.06

penyisipan 18			
TPS	CT	TPS	CT
25	59.4	25	59.685
1	60.225	21	60.09
21	60.78	20	60.54
20	60.99	1	60.675
11	61.905	11	62.13
5	63.15	5	63.57
18	64.755	13	64.92
12	64.89	2	64.95
3	64.905	18	65.19
26	65.145	26	65.55
13	66.18	19	65.79
19	66.45	22	65.97
2	66.48	12	67.365
22	66.63	3	67.71
27	71.235	35	71.31
28	71.325	36	71.58
36	71.565	27	71.625
15	73.02	28	72.195
35	73.995	15	72.9

penyisipan 19					
TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT
1	67.17	1	66.825	21	66.615
21	67.89	20	67.32	20	67.065
20	68.31	21	67.425	1	67.2
11	68.88	11	68.625	11	68.655
5	69.405	5	70.605	5	70.095
3	71.1	2	72.825	13	71.445
18	71.1	12	73.02	2	71.475
12	71.22	22	73.08	18	71.715
26	71.385	19	73.395	26	72.075
2	73.035	13	73.755	19	72.315
13	73.11	3	73.92	22	72.495
19	73.59	18	76.545	12	73.89
22	73.725	26	76.71	3	74.235
27	77.475	15	80.025	35	77.835
28	77.52	35	81.42	36	78.105
36	77.775	36	81.435	27	78.15
15	80.13	27	82.635	28	78.72
35	80.22	28	82.695	15	79.425

penyisipan 20					
TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT
1	74.385	1	74.04	20	73.125
20	75.525	20	74.535	1	73.605
11	76.095	11	75.84	11	75.465
5	76.62	5	77.82	5	78.33
3	78.315	2	80.04	19	78.945
18	78.315	12	80.235	22	78.99
12	78.435	22	80.295	2	79.53
26	78.6	19	80.61	13	80.13
2	80.25	13	80.97	12	80.82
13	80.325	3	81.135	3	81.525
19	80.805	18	83.76	18	84.045
22	80.94	26	83.925	26	84.57
27	84.69	15	87.24	15	86.52
28	84.735	35	88.635	35	89.295
36	84.99	36	88.65	36	89.295
15	87.345	27	89.85	27	90.51
35	87.435	28	89.91	28	90.525
					28
					85.935

penyisipan 21					
TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT
1	80.895	1	80.55	1	79.95
11	82.605	11	82.35	11	81.825
5	83.13	5	84.33	5	84.705
3	84.825	2	86.55	19	85.92
18	84.825	12	86.745	22	86.025
12	84.945	22	86.805	2	86.31
26	85.11	19	87.12	13	86.91
2	86.76	13	87.48	12	87.165
13	86.835	3	87.645	3	87.96
19	87.315	18	90.27	18	90.42
22	87.45	26	90.435	26	90.915
27	91.2	15	93.75	15	93.3
28	91.245	35	95.145	35	95.625
36	91.5	36	95.16	36	95.625
15	93.855	27	96.36	27	96.825
35	93.945	28	96.42	28	96.855

penyisipan 22					
TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT
11	89.43	11	89.175	11	89.07
5	89.955	5	91.155	5	90.63
3	91.65	2	93.375	22	93.33
18	91.65	12	93.57	2	93.435
12	91.77	22	93.63	12	93.45
26	91.935	19	93.945	19	93.75
2	93.585	13	94.305	3	94.275
13	93.66	3	94.47	13	94.35
19	94.14	18	97.095	18	96.825
22	94.275	26	97.26	26	97.275
27	98.025	15	100.575	15	100.815
28	98.07	35	101.97	36	101.7
36	98.325	36	101.985	35	101.775
15	100.68	27	103.185	27	103.185
35	100.77	28	103.245	28	103.275

Sehingga rute yang terbentuk setelah penyisipan pada *trip* pertama rute kedua adalah 0 - 25 - 6 - 1 - 11 - 20 - 21 - X - 0

5) Pembentukan *Trip* Kedua Rute Kedua

penyisipan 23	
TPS	CT
18	142.875
26	142.995
5	145.125
13	145.185
2	146.895
19	147.24
22	147.69
3	147.75
12	148.44
27	149.55
28	150.09
36	150.69
35	151.185
15	153.705

penyisipan 24			
TPS	CT	TPS	CT
26	155.145	26	155.145
5	157.35	5	157.2
13	157.905	13	159.54
2	159.195	3	159.795
19	159.72	2	159.825
3	160.08	12	160.62
22	160.26	19	160.935
12	160.815	22	161.055
27	161.685	27	161.265
28	162.285	28	161.82
36	162.72	36	162.72
35	163.275	35	164.775
15	165.72	15	167.865

penyisipan 25 akhir					
TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT
5	169.86	5	169.635	5	169.47
13	170.34	2	172.485	13	171.81
2	171.675	3	172.485	3	172.065
19	172.125	13	172.53	2	172.095
3	172.59	12	173.205	12	172.89
22	172.695	19	173.655	19	173.205
12	173.175	27	173.655	22	173.325
27	173.715	22	173.775	27	173.535
28	174.27	28	174.285	28	174.09
36	174.96	36	174.945	36	174.99
35	175.65	35	176.985	35	177.045
15	178.155	15	180.18	15	180.135
				15	177.99
				15	180.165
				15	180.315

penyisipan 26 gagal							
TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT
13	184.665	2	186.81	3	182.04	13	182.385
2	186	3	186.81	12	182.235	2	182.445
19	186.45	13	186.855	2	184.17	12	182.895
3	186.915	12	187.53	13	184.365	3	182.91
22	187.02	19	187.98	22	184.425	19	183.42
12	187.5	27	187.98	19	184.755	22	183.57
27	188.04	22	188.1	27	187.785	35	187.815
28	188.595	28	188.61	28	187.86	36	188.085
36	189.285	36	189.27	36	188.175	27	188.13
35	189.975	35	191.31	35	190.5	28	188.7
15	192.48	15	194.505	15	191.79	15	190.365

Penyisipan TPS 3 dibatalkan karena penyisipan TPS 3 akan melebihi *Qmaks*.

Sehingga rute yang terbentuk setelah penyisipan pada *trip* kedua rute kedua adalah

0 - 25 - 6 - 1 - 11 - 20 - 21 - X - 26 - 18 - 5 - X - 0

6) Pembentukan *Trip* Ketiga Rute Kedua

penyisipan 26	
TPS	CT
13	225.99
2	227.7
19	228.045
22	228.495
3	228.555
12	229.245
27	230.355
28	230.895
36	231.495
35	231.99
15	234.51

penyisipan 27	
TPS	CT
2	239.655
19	240.105
3	240.54
22	240.645
12	240.87
15	245.985
27	247.005
28	247.035
36	247.05
35	247.815
15	246.555

penyisipan 28 gagal	
TPS	CT
19	252.12
3	252.54
22	252.675
12	252.765
15	258.585
36	259.26
28	259.305
27	259.335
35	260.025
15	263.145
19	253.77
22	253.785
3	254.505
12	254.85
15	258.345
36	261.795
36	261.84
27	258.735
28	259.275
15	260.22

Penyisipan TPS 19 dibatalkan karena *CT* melebihi *Tmaks*

Sehingga rute yang terbentuk setelah penyisipan pada *trip* ketiga rute kedua adalah

0 - 25 - 6 - 1 - 11 - 20 - 21 - X - 26 - 18 - 5 - X - 2 - 13 - X - 0

7) Pembentukan *Trip* Pertama Rute Ketiga

penyisipan 28	
TPS	CT
3	58.845
12	59.43
19	59.565
22	60.195
27	60.225
28	60.795
36	61.65
35	63.81
15	66.06

penyisipan 29	
TPS	CT
12	72.825
19	74.415
22	75.24
28	77.16
27	77.22
36	77.43
35	79.86
15	80.52
12	71.505
19	71.85
22	72
28	77.19
27	77.415
36	77.61
35	78.18
15	78.84

penyisipan 30	
TPS	CT
19	87.075
22	87.9
28	89.82
27	89.88
36	90.09
35	92.52
15	93.18
22	87.33
36	93.975
35	94.005
27	94.02
28	95.28
15	95.37
19	84.135
22	84.3
36	89.835
35	90.105
27	90.165
35	90.735
15	91.08

Sehingga rute yang terbentuk setelah penyisipan pada *trip* pertama rute ketiga adalah

0 - 3 - 12 - 19 - X - 0

8) Pembentukan *Trip* Kedua Rute Ketiga

penyisipan 31	
TPS	CT
22	142.77
27	144.63
28	145.17
36	145.77
35	146.265
15	148.785

penyisipan 32	
TPS	CT
15	161.805
27	162.705
28	162.705
36	162.99
35	163.155
	161.34
	161.61
	161.685
	162.24

penyisipan 33 gagal					
TPS	CT	TPS	CT	TPS	CT
15	180.375	15	179.865	36	179.625
27	181.275	36	182.325	27	179.73
28	181.275	28	183.585	28	180.315
36	181.56	27	183.615	15	185.46

Penyisipan TPS 3 dibatalkan karena penyisipan TPS 36 akan melebihi *Qmaks*.

Sehingga rute yang terbentuk setelah penyisipan pada *trip* kedua rute ketiga adalah

0 - 3 - 12 - 19 - X - 22 - 35 - X - 0

9) Pembentukan *Trip* Ketiga Rute Ketiga

penyisipan 33	
TPS	CT
27	221.835
28	222.375
36	222.975
15	225.99

penyisipan 34 gagal	
TPS	CT
28	240.39
36	241.095
15	244.35
	240.39
	241.815
	246.9

Penyisipan TPS 28 dibatalkan karena *CT* melebihi *Tmaks*

Sehingga rute yang terbentuk setelah penyisipan pada *trip* ketiga rute ketiga adalah

0 - 3 - 12 - 19 - X - 22 - 35 - X - 27 - X - 0

10) Pembentukan *Trip* Pertama Rute Keempat

penyisipan 34		penyisipan 35	
TPS	CT	TPS	CT
28	60.795	36	80.325
36	61.65	36	80.52
15	66.06	15	84.945
			15
			85.23

Sehingga rute yang terbentuk setelah penyisipan pada *trip* pertama rute keempat adalah
0 - 36 - 28 - X - 0

11) Pembentukan *Trip* Kedua Rute Keempat

penyisipan 36	
TPS	CT
15	144.975

Sehingga rute yang terbentuk setelah penyisipan pada *trip* kedua rute keempat adalah
0 - 36 - 28 - X - 15 - X - 0