



TESIS - TI185401

**MODEL OPTIMISASI UNTUK PENENTUAN TEMPAT
PENAMPUNGAN SAMPAH PERKOTAAN DENGAN
METODE FUZZY GOAL PROGRAMMING**

**CAHAYA ANNISAA' FATHONAH
02411950030001**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Suparno, MSIE, PhD**

**Departemen Teknik Sistem dan Industri
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2021**



TESIS - TI185401

**MODEL OPTIMISASI UNTUK PENENTUAN TEMPAT
PENAMPUNGAN SAMPAH PERKOTAAN DENGAN METODE FUZZY
GOAL PROGRAMMING**

**CAHAYA ANNISAA' FATHONAH
02411950030001**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Suparno, MSIE, PhD**

**Departemen Teknik Sistem dan Industri
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2021**



THESIS - TI185401

**AN OPTIMIZATION MODEL FOR DETERMINATION
MUNICIPAL WASTE COLLECTION POINT USING
FUZZY GOAL PROGRAMMING**

**CAHAYA ANNISAA' FATHONAH
02411950030001**

**Supervisor
Prof. Ir. Suparno, MSIE, PhD**

**Department Industrial and Systems Engineering
Faculty of Industrial and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2021**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Cahaya Annisaa' Fathonah

NRP : 02411950030001

Tanggal Ujian : 21 Juli 2021

Periode Wisuda : Oktober 2021

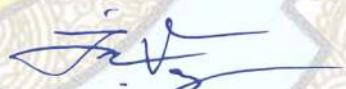
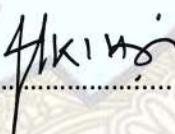
Disetujui oleh :

Pembimbing :



1. Prof. Dr. Ir. Suparno, M.S.I.E
NIP. 1948201931099

Pengaji :

1. Prof. Iwan Vanany, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197109271999031002
2. Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE., Ph.D
NIP. 197005231996011001



Kepala Departemen Teknik Sistem dan Industri
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE., Ph.D

NIP 197005231996011001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Cahaya Annisaa' Fathonah

NRP : 02411950030001

Program Studi : Magister Teknik Industri – ITS

Menyatakan bahwa tesis dengan judul

“Model Optimisasi Untuk Penentuan Tempat Penampungan Sampah Perkotaan Dengan Metode Fuzzy Goal Programming “

adalah benar – benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua karya yang dikutip meupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menenrima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 23 Mei 2021

Yang Membuat Pernyataan



Cahaya Annisaa' Fathonah

NRP. 02411950030001

Model Optimasi untuk Penentuan Tempat Penampungan Sampah Perkotaan dengan Metode Fuzzy Goal Programming

Nama : Cahaya Annisaa' Fathonah
NRP : 02411950030001
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Suparno, M.S.I.E.

ABSTRAK

Pengelolaan sampah masih menjadi masalah di berbagai daerah. Kota Yogyakarta sebagai salah satu kota di Indonesia memerlukan pengoptimalan dalam pengelolaan sampah padat. Optimisasi dilakukan terhadap dua hal utama dalam pengelolaan sampah, yaitu penentuan tempat pengumpulan sampah (TPS) beserta aktifitas pengangkutan sampah di setiap TPS tersebut. Evaluasi dilakukan karena keberadaan TPS berukuran kecil dalam jumlah besar sehingga mempengaruhi biaya kegiatan pengangkutan sampah. Selanjutnya, dikembangkan model *Multi Objective Integer Linear Programming* untuk memecahkan masalah tersebut. Model yang dikembangkan bertujuan untuk meminimalkan biaya kegiatan pengangkutan sampah dan memaksimalkan jumlah sampah yang dapat ditampung sementara di titik pengumpulan sampah yang ada secara simultan sehingga dapat digolongkan sebagai model strategi-operasional. Model tersebut merupakan *hybrid* dari teori *fuzzy*, *maximum covering problem*, dan *vehicle routing problem*. Model akan diselesaikan sebagai *single objective* dengan *Fuzzy Goal Programming*. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini untuk menampung sampah di Sektor Krasak Kota Yogyakarta memerlukan 3 TPS yaitu Depo Sagan, TPSS Kusbini I dan TPSS Pengok dengan sampah yang dapat ditampung sementara sebesar $79,93 \text{ m}^3/\text{hari}$ serta memerlukan lima kendaraan dengan 19 trip perjalanan. Total biaya aktifitas pengangkutan sebesar Rp 1.431.608,00 dan nilai maksimal λ sebesar 0,47. Analisa sensitivitas dilakukan dengan menaikkan dan menurunkan volume sampah 5% serta 15 % untuk melihat pengaruh dari perubahan nilai parameter terkait pada model. Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa volume sampah mempengaruhi penetuan TPS yang akan dipertahankan dan berdampak pada biaya pengangkutan sampah.

Kata Kunci: Pengelolaan Sampah, Facility Location - Routing Problem, Fuzzy Goal Programming

An Optimization Model For Determination Municipal Waste Collection Point Using Fuzzy Goal Programming

By : Cahaya Annisa' Fathonah
Student Identity Number : 02411950030001
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Suparno, M.S.I.E.

ABSTRACT

Solid waste management is still being a problem in many regions. Yogyakarta, one of the cities in Indonesia want to optimize solid waste management. Optimization is carried out on two main things in waste management, namely placement of waste collection point (TPS) and its routing activities. The evaluations are conducted because many small TPS existence that affected the cost of routing activities. Therefore, a Multi-Objective Integer Linear Programming model is developed to solve these problems. The objective of the propose model to simultaneously minimize the cost of routing activities and maximize the amount of waste that can be temporarily accommodated in that existed waste collection point so it is considered an operational-strategy model. This model is a hybrid of fuzzy theory, maximum covering problem, and vehicle routing problem. The model solve as single objective by Fuzzy Goal Programming. The results obtained in this study to accommodate waste in the Krasak Sector, Yogyakarta City requires 3 TPS namely Depo Sagan, TPSS Kusbini I and TPSS Pengok with waste that can be accommodated of 79.93 m³/day and requires five vehicles with 19 trips. The total cost of transportation activities is Rp. 1,431,608.00 and the maximum value of λ is 0.47. Sensitivity analysis was carried out by increasing and decreasing the volume of waste by 5% and 15% to see the effect of changes in the value of related parameters on the model. The results of the analysis show that the volume of waste affects the determination of the TPS to be maintained and has an impact on the cost of waste disposal.

Keywords : Solid Waste Management, Facility Location - Routing Problem, Fuzzy Goal Programming

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kehadirat Allah Ta'ala., Tuhan pencipta dan pemelihara alam semesta yang telah memberikan karunia dan rahmat-Nya sehingga penulis berhasil menyelesaikan penelitian ini dengan baik. Shalawat serta salam semoga terlimpah kepada Rasulullah Muhammad *Shallallahu 'alaihi wasallam*, manusia pembawa syafa'at di akhirat. Penulis menyadari bahwa penelitian ini tidak lepas dari bimbingan, kerjasama dan bantuan dari berbagai pihak. Dalam hal ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Teruntuk orang tua penulis Papa Alm. Sriyanto, Mama Almh. Indrarini, Bapak Nur Fauzi, Ibu Mahmudiyah, Abi Nur Hidayat, Umi Tri Wahyuni, Bunda Sudarini, Ayah Ali Taufan yang tidak pernah lelah dalam memberikan dukungan baik moril maupun materi untuk penulis sehingga bisa menyelesaikan penelitian ini dengan baik.
2. Keluarga (Kak Nisa, Adik Yahya, Adik Akbar, Adik Baim, Adik Oped dan Adik Tama) yang selalu memberikan dukungan secara langsung maupun tidak langsung dan keteladanan sehingga penulis selalu semangat dalam menghadapi segala permasalahan kehidupan.
3. Dosen Pembimbing tesis yaitu Prof. Ir. Suparno, MSIE., PhD yang telah membimbing dan mengarahkan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik.
4. Seluruh Dosen Departemen Teknik Sistem dan Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang telah mengajarkan ilmu yang berguna bagi penulis.

5. Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta yang telah berkenan untuk penulis melakukan penelitian pada pengelolaan sampah di Kota Yogyakarta.
6. Ibu Utaminingsih Linarti, S.T., M.T. dan Ibu Amalia Yuli Astuti, S.T., M.T. yang telah memberi semangat serta berkenan untuk menjadi teman berdiskusi selama penelitian.
7. Teman-teman seperjuangan selama menempuh perkuliahan pascasarjana (Aris, Dianda, Wulan, Fatma dan Aqfi) yang selalu memberi semangat.
8. Sahabat yang selalu memberi semangat Ratri Yuliana, Dita Fadma dan Pramudya Adi W.
9. Semua pihak yang telah membantu peneliti dalam menyelesaikan penelitian ini atau selama masa perkuliahan yang tidak bisa penulis tulis satu persatu.

. Penulis hanya bisa berdo'a semoga semua pihak yang terkait dalam penyusunan laporan penelitian ini mendapatkan balasan yang sebanding dari Allah Ta'ala. Penulis berharap semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca umumnya. Apabila dalam penulisan penelitian ini terdapat kesalahan, penulis mohon maaf.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Surabaya, 25 Juli 2021

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| LEMBAR PENGESAHAN | iv |
| LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS | v |
| ABSTRAK | vi |
| ABSTRACT | vii |
| KATA PENGANTAR | viii |
| DAFTAR ISI..... | x |
| DAFTAR TABEL..... | xiv |
| DAFTAR GAMBAR | xv |
| PENDAHULUAN | |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah..... | 8 |
| 1.3. Tujuan Penelitian | 8 |
| 1.4. Manfaat Penelitian | 9 |
| 1.5. Kontribusi Penelitian | 9 |
| 1.6. Ruang Lingkung Penelitian..... | 9 |
| 1.7. Sistematika Penulisan Penelitian | 10 |
| II. TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1. <i>Municipal Solid Waste Management</i> | 12 |
| 2.2. <i>Facility Location</i> | 14 |

| | |
|---|----|
| 2.3. <i>Graph Theory</i> | 16 |
| 2.4. <i>Vehicle Routing Problem</i> | 17 |
| 2.5. <i>Multi Objective Integer Liniear Programming</i> | 22 |
| 2.6. <i>Fuzzy Goal Programming</i> | 23 |
| 2.6. Penelitian Terdahulu | 32 |
| III. METODOLOGI PENELITIAN..... | |
| 3.1. Identifikasi dan Studi Literatur | 41 |
| 3.2. Perancangan Sistem Yang Relevan | 41 |
| 3.3. Pengumpulan Data | 42 |
| 3.4. Pengembangan Model..... | 42 |
| 3.5. Verifikasi dan Validasi Data..... | 53 |
| 3.6. Pengolahan Data | 53 |
| 3.7. Analisis Sensitivitas | 53 |
| 3.8. Analisis Hasil | 54 |
| 3.9. Kesimpulan dan Saran | 54 |
| IV. PENGEMBANGAN MODEL..... | |
| 4.1. Gambaran Umum Dinas lingkungan Hidup Kota Yogyakarta | 55 |
| 4.1.1 Profil Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta | 55 |
| 4.1.2 Struktur Organisasi Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta .. | 56 |
| 4.1.3 Permasalahan Pada Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta .. | 62 |
| 4.2. Pengembangan Model Fuzzy Goal Programming | 62 |
| 4.2.1 Notasi Matematis | 63 |

| | |
|--|-----|
| 4.2.2 Pembentukan Fungsi Tujuan..... | 67 |
| 4.2.3 Pembentukan Batasan Penentuan Lokasi..... | 72 |
| 4.2.4 Pembentukan Batasan Aktifitas Routing | 74 |
| V. PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA | |
| 5.1. Data Hipotetik | 83 |
| 5.1.1 Data Hipotetik Kendaraan..... | 83 |
| 5.1.2 Data Hipotetik TPS | 83 |
| 5.1.3 Data Hipotetik Sumber Sampah..... | 84 |
| 5.1.4 Data Hipotetik Biaya..... | 85 |
| 5.1.5 Data Hipotetik Jarak Fasilitas TPSS dan Sumber Sampah..... | 85 |
| 5.1.6 Data Hipotetik Waktu Tempuh Antar Fasilitas TPS..... | 86 |
| 5.1.7 Data Hipotetik Waktu Tempuh Depot dengan TPS..... | 90 |
| 5.2. Pengumpulan Data | 91 |
| 5.2.1 Data Kendaraan..... | 91 |
| 5.2.2 Data Fasilitas TPS..... | 92 |
| 5.2.3 Data Sumber Sampah..... | 95 |
| 5.2.4 Data Jarak Fasilitas TPS dengan Sumber Sampah | 96 |
| 5.2.5 Data Biaya..... | 99 |
| 5.2.6 Data Waktu Tempuh Antar Fasilitas TPS..... | 99 |
| 5.2.7 Data Waktu Tempuh Depot dengan TPS..... | 107 |
| 5.2.8 Data Waktu Lainnya | 109 |
| 5.3. Pengolahan Data | 110 |

| | |
|--|-----|
| 5.3.1 Pengolahan Data Hipotetik | 110 |
| 5.3.2 Pengolahan Data Rill | 113 |
| VI. ANALISIS DAN PEMBAHASAN | |
| 6.1. Analisis dan Pembahasan..... | 118 |
| 6.2. Analisis Sensitivitas | 127 |
| VII. KESIMPULAN DAN SARAN..... | |
| 7.1. Kesimpulan | 131 |
| 7.2. Saran | 132 |
| DAFTAR PUSTAKA | |
| LAMPIRAN..... | |
| BIODATA PENULIS | |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1. Posisi Penelitian | 38 |
| Tabel 5.1. Kapasitas Kendaraan Hipotetik..... | 83 |
| Tabel 5.2. Kapasitas Depo Hipotetik | 84 |
| Tabel 5.3. Kapasitas Landasan Container Hipotetik | 84 |
| Tabel 5.4. Kapasitas TPSS Hipotetik..... | 84 |
| Tabel 5.5. Sumber Sampah Hipotetik | 85 |
| Tabel 5.6. Jarak Depo dengan Sumber Sampah Hipotetik | 85 |
| Tabel 5.7. Jarak Landasan Container dengan Sumber Sampah Hipotetik | 86 |
| Tabel 5.8. Jarak TPSS dengan Sumber Sampah Hipotetik | 86 |
| Tabel 5.9. Waktu Tempuh Antar Fasilitas Depo Hipotetik | 87 |
| Tabel 5.10. Waktu Tempuh Antar Fasilitas Landasan Container Hipotetik | 87 |
| Tabel 5.11. Waktu Tempuh Antar TPSS Hipotetik | 87 |
| Tabel 5.12. Waktu Tempuh Depo dengan TPSS Hipotetik | 88 |
| Tabel 5.13. Waktu Tempuh Depo dengan Landasan Container Hipotetik | 88 |
| Tabel 5.14. Waktu Tempuh Landasan Container dengan TPSS Hipotetik | 88 |
| Tabel 5.15. Waktu Tempuh Landasan Container dengan Depo Hipotetik | 89 |
| Tabel 5.16. Waktu Tempuh TPSS dengan Depo Hipotetik | 89 |
| Tabel 5.17. Waktu Tempuh TPSS dengan Landasan Container Hipotetik..... | 90 |
| Tabel 5.18. Waktu Tempuh Hipotetik Depot ke Depo | 90 |
| Tabel 5.19. Waktu Tempuh Hipotetik Depot ke Landasan Container | 90 |

| | |
|---|-----|
| Tabel 5.20. Waktu Tempuh Hipotetik Depot ke TPSS..... | 91 |
| Tabel 5.21. Data Kendaraan..... | 92 |
| Tabel 5.22. Data Fasilitas Depo | 93 |
| Tabel 5.23. Data Fasilitas Landasan Container..... | 93 |
| Tabel 5.24. Data Fasilitas TPSS..... | 94 |
| Tabel 5.25. Data Sumber Sampah dan Volume | 96 |
| Tabel 5.26. Jarak Sumber Sampah dengan Depo..... | 97 |
| Tabel 5.27. Jarak Sumber Sampah dengan Landasan Container | 97 |
| Tabel 5.28. Jarak Sumber Sampah dengan TPSS | 98 |
| Tabel 5.29. Waktu Tempuh Antar Fasilitas TPSS | 100 |
| Tabel 5.30. Waktu Tempuh Depo ke TPSS | 101 |
| Tabel 5.31. Waktu Tempuh Depo ke Landasan Container | 102 |
| Tabel 5.32. Waktu Tempuh Landasan Container ke TPSS..... | 103 |
| Tabel 5.33. Waktu Tempuh Landasan Container ke Depo | 104 |
| Tabel 5.34. Waktu Tempuh TPSS ke Depo | 105 |
| Tabel 5.35. Waktu Tempuh TPSS ke Landasan Container..... | 106 |
| Tabel 5.36. Waktu Tempuh Depot ke Depo | 107 |
| Tabel 5.37. Waktu Tempuh Depot ke Landasan Container..... | 107 |
| Tabel 5.38. Waktu Tempuh Depot ke TPSS | 108 |
| Tabel 6.1. Fasilitas TPS yang di Pertahankan Beserta Sumber Sampah Yang di Tampung | 123 |
| Tabel 6.2. Rute Kendaraan untuk TPS yang Dipertahankan | 125 |

Tabel 6.3. Analisis Sensitivitas 128

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|-----|
| Gambar 1.1. Timbulan Sampah di salah satu TPS di Kota Yogyakarta | 3 |
| Gambar 2.1. Simpul dan Sisi pada Graf..... | 16 |
| Gambar 3.1. Flowchart Penelitian..... | 40 |
| Gambar 3.2. Influence Diagra..... | 41 |
| Gambar 4.1. Struktur Organisasi Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta.. | 57 |
| Gambar 4.2. Bentuk umum fungsi keanggotaan <i>fuzzy</i> fungsi tujuan model <i>Fuzzy Goal Programming</i> | 70 |
| Gambar 4.3. Fungsi keanggotaan fuzzy dari tiap fungsi tujuan model..... | 72 |
| Gambar 6.1. Cakupan Area Pengelolaan Sampah Sektor Krasak | 120 |
| Gambar 6.2. Struktur Jaringan Pengelolaan Sampah Padat..... | 121 |
| Gambar 6.3. Himpunan Fuzzy Data Rill..... | 122 |
| Gambar 6.4. TPS Yang Dipertahankan..... | 124 |
| Gambar 6.5. Hubungan Presentase Volume Sampah dengan Biaya Pengangkutan Sampah..... | 129 |
| Gambar 6.6. Hubungan Presentase Volume Sampah dengan sampah yang dapat ditampung sementara oleh TPS yang dipertahankan..... | 130 |

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sampah padat masih menjadi permasalahan di berbagai negara (Mesjasz-Lech, 2019). Sampah padat merupakan suatu bahan yang terbuang atau dibuang dari suatu sumber hasil aktivitas manusia maupun proses-proses alam yang tidak mempunyai nilai ekonomi. Sampah hasil aktivitas manusia dapat bersifat organik (sayuran, buah-buahan dan daun-daunan) maupun non-organik (botol, plastik, kertas dan kaleng). Sampah sangat membahayakan kesehatan manusia dan mencemari lingkungan sehingga memerlukan pengelolaan tersendiri (Alam dan Ahmade, 2013; Tan et al., 2014). Maka dari itu sampah walaupun tidak memiliki nilai ekonomis tetapi diperlukan biaya yang tidak sedikit untuk mengelola sampah di perkotaan. Sampah padat seperti sampah rumah tangga, sampah jalan, puing-puing sisa konstruksi, residu sanitasi, sampah sisa perdagangan, sampah industri yang tidak berbahaya dan limbah padat bio-medis dikelola dengan *management solid waste* (MSW) atau beberapa penelitian menyebutnya dengan *municipal solid waste management* (MSWM). MSW terdiri dari *generation, storage, collection, transfer-transport processing* dan *disposal* (Sharholy et al., 2008; Hoornweg et al., 2012; Joseph, 2008). *Generation* merupakan langkah pertama dalam MSWM dimana sampah dikelompokkan berdasar jenisnya. Langkah selanjutnya adalah *storage* yaitu menyimpan sampah pada tempat sampah yang dimiliki dan dilanjutkan dengan *collection* yaitu langkah pengumpulan sampah pada tempat atau titik pembuangan tertentu (kolektif). Langkah berikutnya adalah *transport processing* menggunakan kendaraan pengangkut dari titik kolektif sementara menuju tempat pembuangan akhir atau menuju langkah *disposal* (Hoornweg et al., 2012).

Beberapa negara maju yang telah melakukan penelitian secara intensif tentang sampah kota sehingga mampu melakukan proses pengumpulan sampah dengan kinerja mencapai 100%. Proses pengurangan sampah dengan konsep *reuse*, *reduce*, dan *recycle* di beberapa negara seperti China, Singapura, Belanda, dan Swedia memiliki persentase di atas 25%. Israel dan Slovakia lebih banyak mengelola sampah pada pengelolaan pembuangan akhir dan pembakaran, yang tentunya dalam jangka panjang akan berdampak pada lingkungan (Hoornweg et al., 2012). Sedangkan di negara berkembang permasalahan tentang MSWM akan timbul ketika sumber daya terbatas, ketidaksesuaian dalam penanganan, dan administrasi yang buruk (Kumar & Putnam, 2008). Saat ini Indonesia merupakan salah satu negara berkembang yang masih memiliki permasalahan dalam pengelolaan sampah padat. Kegiatan MSW di Indonesia terdiri dari *collection*, *transport* dan *dispose*. *Collection* merupakan aktifitas pengumpulan sampah pada sebuah fasilitas penampungan sementara dan selanjutnya akan dilakukan proses *transport* untuk mengangkut sampah menuju pembuangan akhir untuk dilakukan proses *dispose* (Damanhuri et al., 2014). Aktifitas MSW di Indonesia dikelola oleh instansi pemerintah yaitu Kementerian Pekerjaan Umum untuk di tingkat nasional dan Dinas Lingkungan Hidup (DLH) di tingkat daerah maupun kotamadya.

Salah satu kota besar di Indonesia yaitu Kota Yogyakarta masih menghadapi permasalahan sampah padat. Menurut Kepala Sub Bidang Daur Ulang Sampah Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Yogyakarta jumlah sampah padat yang dihasilkan oleh masyarakat Kota Yogyakarta mencapai 240 ton per hari. Sampah padat akan meningkat seiring dengan pertambahan jumlah penduduk. Menurut Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Yogyakarta setiap harinya seseorang akan menghasilkan sampah padat 0,47 kg/jiwa atau setara dengan $0,00188 \text{ m}^3$ dari aktifitasnya. DLH Kota Yogyakarta telah menyediakan sarana dan prasarana, seperti menyediakan truk pengangkut sampah, Tempat

Pembuangan Sampah (TPS), dan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) untuk pengelolaan sampah. DLH Kota Yogyakarta membagi TPS menjadi tiga jenis yaitu Tempat Pembuangan Sampah Sementara (TPSS) yang berbentuk bak besar yang bersifat permanen, landasan kontainer yang bersifat tidak permanen, dan depo yang berbentuk bangunan besar dan permanen. Saat ini kegiatan pengelolaan sampah di Kota Yogyakarta terdiri dari 8 sektor yaitu Sektor Gunung Ketur, Sektor Krasak, Sektor Kotagede, Sektor Ngasem, Sektor Gading, Sektor Kranggan, Sektor Tungkak dan Sektor Malioboro. Pembagian sektor tersebut dilakukan oleh DLH untuk mengoptimalkan penampungan sampah dari masyarakat di TPS sebelum di bawa ke TPA Piyungan. Proses pengelolaan sampah di Kota Yogyakarta diawali dengan pengumpulan sementara sampah dari masyarakat di Tempat Pembuangan Sementara (TPS) yang ada di beberapa titik lalu dibuang menuju Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Piyungan dengan truk pengangkut sampah seperti pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Timbulan sampah di salah satu TPS di Sektor Krasak

Pengelolaan sampah di Kota Yogyakarta masih memiliki beberapa permasalahan pada jaringan pada aktifitas pengangkutan sampah yang diterapkan sehingga menyebabkan ketimpangan yang berdampak pada tingginya biaya pada aktifitas *routing* seperti yang terjadi di Sektor Krasak (Rahma et al., 2020). Kegiatan pengangkutan sampah di sektor tersebut diawali

dari Kantor DLH dalam kondisi truk pengangkut kosong lalu berjalan menuju TPS terdekat sesuai sektor yang dimana truk tersebut ditugaskan dan melakukan *loading* terhadap sampah yang ada di TPS tersebut. Setelah volume sampah terangkut mencapai batas kapasitas kendaraan, sampah akan dibawa ke TPA Piyungan untuk melakukan *unloading* sampah yang ada didalam truk dan kembali untuk mengambil sampah di TPS terdekat dan membawanya lagi ke TPA Piyungan. Aktifitas tersebut berulang hingga sampah di TPS dapat terangkut dan dibawa ke TPA Piyungan. Saat ini penelitian tentang penentuan rute dan jaringan telah banyak dilakukan seperti oleh (Yu et al., 2011; Kuo dan Wang, 2012; Zhang dan Chen, 2014; Walther et al, 2016; Wang et al., 2018; Qin et al., 2019). Penelitian Yu et al. (2011) bertujuan untuk untuk meminimalkan jumlah kendaraan dan total jarak yang ditempuh dengan *A hybrid GA-TS algorithm* pada distribusi batu bara dengan *Open Vehicle Routing Problem* (OVRP). Berbeda dengan Kuo dan Wang pada tahun 2012 melakukan penelitian untuk menyelesaikan permasalahan *multidepot vehicle routing problem with loading cost* (MDVRPLC). Penelitian Zhang dan Chen, n.d. (2014) mengusulkan model pengoptimalan yang mengelola pengiriman berbagai *frozen food* produk dengan *Genethic Algorithm* (GA). Pada tahun 2016, Walther et al. melakukan penelitian untuk memberikan gambaran yang komprehensif dan komparatif dari metode *state-of-the-art* yang ada dengan tinjauan literatur yang menyeluruh dan mengelaborasikan dengan pendekatan pemodelan yang berbeda, algoritma optimasi, dan aplikasinya dalam sistem *weather routing*. Penelitian lainnya tentang penetuan rute juga dilakukan oleh Wang et al., (2018) untuk mengembangkan *a three-step customer clustering based approach to solve two-echelon location routing problems with time windows*. Penelitian tersebut menggunakan integrasi model bi-obyektif yang meminimalkan biaya dan memaksimalkan kepuasan pelanggan. Penelitian Qin et al.,(2019) dilakukan untuk membuat rute pada *cold chain* dengan mempertimbangkan kepuasan pelanggan yang dilihat dari ketepatan waktu

pengiriman dan emisi karbon. Penelitian ini menggunakan model optimasi. Sedangkan penenetuan rute dan jaringan untuk aktifitas *Municipal Solid Waste Management* (MSWM) telah dilakukan oleh (Zsigraiova et al., 2013; Das dan Bhattacharyya, 2015; Markov dan Varone, 2015; Assaf dan Saleh, 2017; Banyai et al., 2019; Sulemana et al., 2019). Zsigraiova et al. pada tahun 2013 melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengurangi biaya operasi dan polusi dalam pengumpulan dan pengangkutan limbah dengan mengkombinasi optimalisasi rute kendaraan dengan penjadwalan pengumpulan sampah dengan *Geographical Information Systems* (GISs). Penelitian Das dan Bhattacharyya (2015) mengusulkan skema pengumpulan dan transportasi MSW yang optimal yang berfokus pada masalah meminimalkan panjang setiap jalur pengumpulan dan pengangkutan sampah. Penelitian tersebut menggunakan *Mixed Integer Programming* dan dilanjutkan dengan *heuristics* yang dilengkapi uji simulasi ekstensif dan *real tested*. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Markov dan Varone (2015) mengembangkan *Vehicle Routing Problem with Intermediate Facility* (VRPTIF) dengan *heterogenous fixed fleet* dan *flexible assignment* pada sumber dan depot. Penelitian tersebut mempertimbangkan jam istirahat, keragaman volume kendaraan dan ketergantungan lainnya yang pada umumnya tidak dijelaskan dalam literatur. Assaf dan Saleh pada tahun 2017 untuk mengetahui rute terbaik jaringan pengumpulan sampah di kota Nablus - Palestina agar dapat meminimalkan biaya dengan *Vehicle Routing Problem* (VRP). Penelitian Banyai et al. (2019) mengintegrasikan model matematis penentuan rute, penugasan dan penjadwalan untuk mengoptimalkan truk dalam pengangkutan sampah dan penjadwalan agar meminimalkan biaya. Penelitian tersebut juga melibatkan penerapan teknologi pada Industri 4.0 dalam pengelolaan sampah dan potensi pengoptimaln prosesnya. Sedangkan Sulemana et al. (2019) memodelkan jalur sampah yang ada di tiga daerah otoritas di Ghana dan mementukan rute optimal menggunakan ArcGIS *Network Analyst Extension*.

Berdasarkan hasil observasi awal dan diskusi dengan Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta, permasalahan *routing* pengangkutan sampah juga disebabkan oleh adanya TPS berukuran kecil. Oleh sebab itu, Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta memiliki keinginan untuk mengevaluasi TPS dengan mempertahankan sejumlah TPS berukuran besar dan memaksimalkan jumlah sampah dari masyarakat yang dapat ditampung di TPS sebelum dibawa ke TPA serta mengetahui fasilitas TPS mana yang akan menampung sampah tersebut. Evaluasi tersebut perlu dilakukan oleh DLH karena adanya TPS berukuran kecil dalam jumlah besar berdampak pada aktivitas pengangkutan sampah (*routing*). Menurut DLH Kota Yogyakarta pada aktititas pembuangan sampah masyarakat memilih dimana akan sampah yang dihasilkannya berdasar jarak terdekat dari tempat tinggalnya sehingga fasilitas TPS akan menampung sampah dari masyarakat yang tinggal sekitar TPS tersebut. Permasalahan tersebut dapat diselesaikan dengan pendekatan *facility location*, dimana diperlukan penentuan penempatan lokasi fasilitas akan tetap digunakan dengan mempertimbangkan kapasitas maupun *coverage distance* dari fasilitas tersebut. Penelitian tentang *facility location* pada pengelolaan sampah pernah dilakukan oleh (Adeleke dan Olukanni, 2020). Penelitian Adeleke dan Olukanni (2020) melakukan review terhadap beberapa metode *facility location* yang dapat diterapkan dalam *waste management*. Selain itu juga terdapat penelitian yang mengintegrasikan penentuan rute dan *facility location* pernah dilakukan oleh pada pengelolaan sampah padat oleh (Mohammad et al., 2017; Ouhader dan Kyal, 2017; Veenstra et al., 2018; Farahbakhsh, 2019; Zandkarimkhani, 2020; Mamashli dan Javadian, 2021). Penelitian Mohammad et al. (2017) menggunakan model terintegrasi untuk menyelesaikan permasalahan pengelolaan sampah lingkungan Ahmadabad yang terletak di Kota Masyhad - Iran. Penelitan tersebut mengintegrasikan *location allocation problem* and *capacitated vehicle routing problem* (CVRP) dengan Arc *Geographic Information Systems* (GIS). Penelitian Ouhader dan Kyal (2017)

mengintegrasikan permasalahan penentuan lokasi dan rute untuk angkutan pengiriman barang di perkotaan dengan melihat dari potensi ekonomi, lingkungan dan dampak sosial. Pengintegrasian dilakukan untuk memperoleh biaya pengelolaan lebih rendah dari menyelesaikan permasalahan secara terpisah. Penelitian tersebut mengembangkan model *Mixed Integer Liniar Programming* (MILP) untuk menciptakan keputusan strategi, taktis dan operasional guna meminimalkan biaya, pencemaran udara dan memaksimalkan jumlah tenaga kerja. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Veenstra et al. (2018) mengembangkan model matematis yang bersifat simultan antara *facility location* dengan *vehicle routing problem* untuk menyelesaikan permasalahan pengiriman obat berdasarkan *coverage distance* sebuah fasilitas terhadap pasien disekitarnya. Model matematis tersebut diselesaikan dengan *branch and bound* dan penelitian ini juga mengusulkan model *a fast hybrid heuristic* untuk menyelesaikan masalah. Penelitian yang dilakukan Farahbakhsh (2019) berlatar belakang pentingnya pemilahanan untuk sampah yang dapat didaur ulang maka diperlukan penentuan lokasi dan penenetuan rute untuk mengurangi pencemaran lingkungan, menurunkan biaya, dan meningkatkan sistem pelayanan kepada masyarakat. Lokasi optimal untuk pendirian pusat pengumpulan dan pemilahan diditentukan dengan menggunakan perangkat lunak *Geographic Information Systems* (GIS). Sedangkan untuk rute pengangkutan diselesaikan dengan *symmetric capacitated vehicle routing problem*. Penelitian Zandkarimkhani (2020) mengembangkan model *bi-objective integer linear programming* untuk meminimalkan biaya dan *shortage* pada produk *perishable*. Model yang dikembangkan selanjutnya diselesaikan dengan *fuzzy goal programming*. Sedangkan penelitian Mamashli & Javadian (2021) melakukan pengoptimalan untuk jaringan dengan beberapa tujuan yaitu meminimalkan biaya pengelolaan sampah, meminimalkan jumlah kendaraan, meminimalkan pencemaran udara dan meminimalkan risiko terhadap penerapan metode baru pada pengelolaan sampah dengan mengintegrasikan

Fuzzy Goal Programming approach with Different Importance and Priorities serta *Fuzzy Failure Mode and Effects Analysis*.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan serta penelitian terdahulu diperlukan optimasi pada jaringan pengelolaan sampah di perkotaan untuk meminimalkan biaya pengelolaan sampah yang terdiri dari biaya tenaga kerja dan biaya perjalanan pada aktifitas routing dan memaksimalkan jumlah sampah yang dapat ditampung oleh fasilitas TPS. Penelitian ini akan mengembangkan model dengan karakteristik *Multi Objective Integer Lineair Programming* (MOILP) dengan metode *fuzzy goal programming*. Penelitian ini nantinya dapat membantu Dinas Lingkungan Hidup (DLH) dalam merencanakan keputusan strategi dalam penentuan jumlah fasilitas penampungan sementara yang akan tetap dipertahankan dan rute pengangkutan sampah pada pengelolaan sampah padat di Sektor Krasak, Kota Yogyakarta.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana mengoptimalkan jaringan pengelolaan sampah padat sehingga dapat meminimalkan biaya pengangkutan sampah dan memaksimalkan jumlah sampah yang dapat ditampung sementara.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini yaitu:

1. Mengembangkan model matematis untuk mengoptimalkan jaringan pengelolaan sampah dengan beberapa fungsi tujuan yaitu meminimalkan biaya pengelolaan sampah dan memaksimalkan jumlah sampah yang dapat ditampung oleh fasilitas TPS yang tetap dipertahankan.
2. Menganalisis jumlah sampah maksimum yang dapat ditampung sementara di TPS beserta TPS yang menampung sementara dan minimal biaya

pengangkutan sampah untuk mengoptimalkan pengelolaan sampah padat di Sektor Krasak, Yogyakarta.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan saran bagi Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Yogyakarta untuk merencanakan strategi dalam pengelolaan fasilitas TPS yang digunakan serta perencanaan operasionalnya dalam pengangkutan sampah untuk Sektor Krasak yang mempertimbangkan jumlah sampah yang maksimal dapat ditampung oleh TPS yang tetap dipertahankan sehingga dapat mengoptimalkan biaya pengangkutan sebagai salah satu biaya operasional dalam pengelolaan sampah.

1.5 Kontribusi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan harapan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Bagi Dinas Lingkungan Hidup dapat bermanfaat sebagai masukan dalam pembuatan strategi serta perencanaan aktifitas operasional pada pengangkutan dan pengelolaan sampah dengan mempertimbangkan jumlah sampah yang dapat ditampung oleh TPS telah disediakan.
2. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi keilmuan tentang *municipal solid waste network* dalam mengoptimalkan biaya pengangkutan dan penggunaan fasilitas penampungan sampah sementara.

1.6 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada permasalahan sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan di pengelolaan sampah Sektor Krasak, Yogyakarta.
2. Sumber sampah dalam penelitian ini berasal dari masyarakat dan mengabaikan sumber sampah lain.

3. Titik lokasi sumber sampah bersifat diskrit.
4. Perhitungan jarak yang akan digunakan menggunakan LB/LS *straight line* dengan titik lokasi diperoleh dari *Google Earth* untuk penentuan lokasi.
5. Penentuan waktu pada aktivitas *routing* berasal dari pengukuran jarak pada *Google Maps*.
6. Kecepatan *dumptruck* 40 km/jam dengan jam kerja 7 jam sejak jam 06.00 WIB.
7. Mengabaikan kemacetan dan kegiatan yang incidental yang ada dalam perjalanan pengambilan sampah.
8. Mengabaikan kendaraan yang tidak digunakan secara rutin untuk mengangkut sampah.
9. Pada satu trip perjalanan untuk setiap kendaraan hanya akan melayani satu TPS.

1.7 Sistematika Penulisan Penelitian

Tesis ini dibuat dengan sistematika lima (5) bab yang setiap babnya akan dijelaskan pada penjelasan berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Bab 1 Merupakan awalan penjelasan dari penelitian seluruhnya yang menjelaskan terkait latar belakang penelitian, asumsi dan batasan penelitian, dan tujuan yang ingin diperoleh dalam penelitian.

BAB 2. KAJIAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan terkait dasar teori dan penelitian-penelitian terdahulu yang dijadikan penunjang dalam pengoptimalan network MSWM dengan mempertimbangkan maksimal jumlah sampah yang dapat ditampung oleh fasilitas penampung sementara pada penelitian ini. Bab ini berisi penjelasan-penjelasan yang diperoleh dari buku, jurnal, artikel, dan lainnya.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Bab Metodologi Penelitian adalah penjelasan terkait urutan penelitian dilakukan yang dapat memberi gambaran agar penelitian bersifat terstruktur dan sistematis. Pada bab ini juga disampaikan rancangan model matematis yang akan digunakan dalam penelitian.

BAB 4. PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

Bab 4 akan menjelaskan tahapan serta pembahasan penelitian pengoptimalan jaringan MSWM termasuk biaya pendirian fasilitas, pengelolaan dan pengangkutan sampah dengan mempertimbangkan sampah yang dapat ditampung sementara oleh TPS dengan model berkarakteristik *MOILP* metode *fuzzy goal programming*.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tinjauan pustaka yang diperlukan sebagai dasar argumentasi ilmiah yang berhubungan dengan konsep penelitian menggunakan berbagai studi literatur sehingga dapat membantu peneliti dalam menganalisa permasalahan yang dihadapi.

2.1 Municipal Solid Waste Management (MSWM)

Pengelolaan sampah padat di perkotaan biasa disebut dengan *municipal solid waste management* (MSWM). Target utamanya adalah untuk melindungi kesehatan masyarakat, menjaga dan meningkatkan kualitas lingkungan dan memberikan dukungan terhadap produktivitas ekonomi melalui produk daur ulang yang dihasilkan baik berupa benda maupun bahan bakar (Alam dan Ahmade, 2013). Limbah padat kota yang dikelola sesuai *management* MSW adalah sampah rumah tangga, sampah jalan, puing-puing sisa konstruksi, residu sanitasi, sampah sisa perdagangan, sampah industri yang tidak berbahaya dan limbah padat bio-medis (Joseph, 2008). MSW terdiri dari *generation, storage, collection, transfer-transport processing* dan *disposal* (Sharholy et al., 2008; Hoornweg et al., 2012). MSWM dari setiap negara berbeda bergantung pada regulasi, kapasitas, serta komposisi sampah. Pengelolaan di negara-negara eropa saat ini lebih mengoptimalkan proses daur ulang dari sampah yang dihasilkan. Negara di Eropa menargetkan 50% sampah terdaur ulang pada 2020 (Niyati, 2012)

Sehingga menyebabkan alur pembungan sampahnya berbeda. Berbeda dengan negara di negara-negara Asia, negara maju pengelolaan sampah. Negara maju seperti Jepang sudah mengutamakan konsep 3R (*reduce, reuse* dan *recycle*) sedangkan India masih belum mampu menarapkan sistem itu karena keterbatasan sumber daya manusia dan teknologi. Sedangkan pengelolaan sampah di Indonesia dilakukan dari hulu (sumber sampah) hingga hilir (tempat pembuangan akhir). Pengelolaan di hulu dapat berupa pengelompokan berdasar jenis sampah. Sedangkan pengelolaan di hilir adalah perlakuan terhadap sampah di tempat pembuangan akhir.

Municipal Solid Waste Network untuk setiap negara berbeda bergantung pada pengelolaan sampah yang diterapkan. *Municipal Solid Waste Network* di Delhi, India terdiri dari *recycling facilities*, *compost plants* dan *incinerator* (Srivastava dan Nema, 2012). Begitu pula di Kota Minudasht, Iran yang memiliki jaringan *Municipal Solid Waste* yang sama dengan kota Delhi, India untuk menangani peningkatan jumlah sampah (Mamashli dan Javadian, 2021). Sedangkan di Indonesia *recycling facilities*, *compost plants* dan *incinerator* belum diterapkan secara maksimal di beberapa kota sehingga pengelolaan sampah masih didominasi oleh pembuangan dengan penampungan sementara di TPS lalu dilanjutkan TPA. Pengelolaan sampah di Kota Yogyakarta terdiri dari beberapa sektor yaitu 8 sektor yaitu Sektor Gunung Ketur, Sektor Krasak, Sektor Kotagede, Sektor Ngasem, Sektor Gading, Sektor Kranggan, Sektor Tungkak dan Sektor Malioboro. Setiap sektor pengelolaan sampah mengelola sampah dari beberapa kelurahan. Sampah yang berasal dari masyarakat Kota Yogyakarta akan ditampung sementara di TPS lalu akan diangkut menggunakan kendaraan dengan volume 6 m³ dan volume 9 m³. TPS di Kota Yogyakarta terdiri dari tiga jenis yaitu depo, landasan container dan TPSS. Depo adalah bangunan permanen penampungan sampah yang memiliki volume dari 24 m³ hingga 36 m³ dan memiliki landasan untuk kendaraan pengangkut

sampah. Sedangkan landasan container adalah tipe TPS yang berasal dari container kendaraan pengangkut sampah dan memiliki volume hingga 30 m^3 . Sedangkan TPSS adalah TPS dengan bangunan tetap yang berukuran 1 m^3 hingga 36 m^3 tetapi tidak memiliki tempat khusus untuk kendaraan pengangkut sampah. Pengangkutan sampah dilakukan dengan beberapa rute dimana setiap rute terdiri dari beberapa trip perjalanan. Ketika kendaraan sudah terisi penuh sesuai kapasitas, truk akan menuju TPA Piyungan untuk dilakukan penimbunan sampah. Setelah itu truk akan mengangkut kembali di sektor kendaraan itu ditugaskan hingga jam kerja.

2.2 Facility Location

Teori lokasi atau *facility location* adalah sebuah metode untuk menentukan lokasi dari sebuah fasilitas dengan empat hal yang mendasari yaitu berapa banyak fasilitas yang akan dialokasikan, dimana lokasinya, berapa kapasitasnya dan berapa demand yang akan dilayani (Daskin, 1995). Optimalitas penentuan lokasi sebuah fasilitas dalam kondisi tertentu termasuk dalam keilmuan teori lokasi atau *facility location*. Beberapa komponen yang digunakan dalam penelitian tentang teori lokasi antara lain penentuan tujuan pengambilan keputusan pemilihan lokasi, penentuan ruang keputusan, penentuan jumlah fasilitas baru, penentuan jumlah permintaan (Gunhak Lee, 2008). Ruang keputusan untuk penentuan lokasi baru dapat dibedakan menjadi tiga yaitu ruang diskrit, ruang network, dan ruang kontinyu (Karimifar et al., 2009). Penentuan jumlah demand juga merupakan bagian dari teori lokasi dimana permintaan (konsumen) terpusat pada satu titik (*finite set points*) ataukah tersebar dalam satu area tertentu (*dispersed over a region*). Pada ruang diskrit penentuan jarak antar node bebas sesuai peneliti sehingga bisa menghilangkan batasan jarak sehingga cakupan model permasalahan menjadi lebih luas. Pada ruang diskrit biasanya permasalahan diselesaikan dengan *Mixed Integer Linear Programming* (MILP). Sedangkan network lokasi fasilitasnya bisa di node atau link. Permintaan dan

perjalanan antara lokasi permintaan dan fasilitas diasumsikan hanya terjadi pada jaringan yang terdiri dari node dan link (Daskin, 1995). Pada penelitian ini *facility location* digunakan untuk menentukan TPS mana yang akan menjadi penampung sementara sampah yang berasal dari masyarakat beserta volume sampah yang akan ditampung dengan memperhatikan kapasitasnya. Metode *maximum covering problem* pada *facility location* digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan jumlah sampah maksimal yang dapat ditangani oleh TPS dengan sejumlah TPS berukuran besar yang akan dipertahankan. Menurut Daskin (2008) *Maximum Covering Problem* merupakan metode dalam *facility location* yang bertujuan untuk memaksimalkan jumlah titik permintaan yang terjangkau pada jarak tertentu dari titik fasilitas. Model *Maximum Covering Location Problem* dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$\text{Maximize } \sum_{i \in I} h_i Z_i \quad (2.1)$$

$$\sum_{j \in N_i} X_j - Z_i \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (2.2)$$

$$\sum_{j \in J} X_j = p \quad (2.3)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (2.4)$$

$$Z_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (2.5)$$

Dimana:

h_i = jumlah demand terlayani oleh fasilitas ke-i.

p = jumlah fasilitas yang akan dialokasikan

N_i = jumlah lokasi permintaan yang dapat terlayani oleh fasilitas.

Variabel keputusannya:

Z_i = (1, jika kelompok demand ke-i dapat terlayani, jika tidak maka 0)

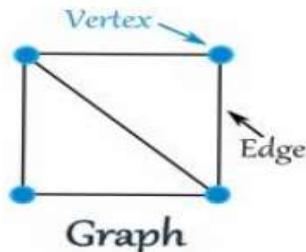
X_j = (1, jika fasilitas ke-j dipilih untuk dipertahankan, jika tidak 0)

Fungsi obyektif (2.1) memaksimalkan jumlah permintaan yang dapat terlayani. Batasan (2.2) menetapkan bahwa setiap titik permintaan

terjangkau minimal oleh satu fasilitas. Batasan (2.3) menetapkan p banyaknya fasilitas yang dapat dipertahankan. Batasan (2.4) menunjukkan fasilitas yang melayani jika bernilai 1 dan tidak melayani jika bernilai 0 dan persamaan (2.5) demand terlayani jika bernilai 1 dan bernilai 0 jika tidak.

2.3 Graph Theory

Teori graf pertama kali diperkenalkan pada tahun 1736 untuk penyelesaian masalah Jembatan Königsberg. Leonhard Euler, seorang matematikawan Swiss, mempelajari permasalahan ini untuk membangun solusi dan melahirkan konsep dari *Eulerian Graph*. Menurut Biggs (1976) Graf G didefinisikan sebagai pasangan himpunan (V,E) dimana V merupakan himpunan tak-kosong dari simpul (*vertex*) dan E merupakan himpunan sisi (*edge*) yang menghubungkan simpul-simpul pada V seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Simpul dan Sisi pada Graf

Salah satu jenis graf adalah graf berarah. Graf berarah merupakan kumpulan elemen yang disebut *vertices* atau simpul dan kumpulan pasangan *vertices* tersebut akan membentuk *arcs*. Seperti halnya graf, simpul dan busur D akan dilambangkan dengan V dan E . Akan tetapi, dalam hal ini busur $e = uv$ tidak menghubungkan simpul u dan v , tetapi menghubungkan u dengan v . Jadi, $uv \neq vu$ (Chatrand dan Ping Zhang. 2012).

2.4 Vehicle Routing Problem (VRP)

Vehicle Routing Problem (VRP) bertujuan untuk mengidentifikasi rute yang efisien dan optimal (dengan jarak tempuh atau biaya minimal) sebuah kendaraan yang ditugaskan untuk mengambil dan mengumpulkan barang dengan menggunakan armada identik atau non-identik untuk melayani sekelompok pelanggan dengan permintaan yang diketahui volumenya. VRP diperlukan dalam pengelolaan sampah untuk pengangkutan sampah agar optimal (Assaf dan Saleh, 2017).

Proses pengangkutan sampah di Kota Yogyakarta berasal dari keberangkatan kendaraan dari Dinas Lingkungan Hidup selanjutnya menuju sektor tempat kendaraan tersebut ditugaskan dan melakukan pengangkutan sampah ketika kapasitas kendaraan sudah penuh, sampah akan dibawa menuju TPA Piyungan. Setelah dari TPA Piyungan kendaraan kembali ke sektor tempat ditugaskan untuk mengangkut kembali sampah, aktifitas tersebut berulang hingga waktu jam kerja kendaraan selesai. *Vehicle Routing Problem with Multiple Trips and Intermediate Facility* (VRPMTIF) merupakan salah satu variasi dari permasalahan *Vehicle Routing Problem* (VRP) dengan menambahkan kendala *multiple trips* dan *intermediate facility* (K Syahputri et al., 2019). Tujuan dari permasalahan VRPMTIF adalah meminimumkan total jarak tempuh rute kendaraan yang melayani semua konsumen dari depot melewati *intermediate facility* dan berakhir pada depot. *Intermediate facility* merupakan fasilitas yang digunakan untuk melakukan unloading ketika kendaraan sudah penuh sebelum melanjutkan aktifitas penjemputan ke fasilitas selanjutnya (Angelelli dan Speranza, 2002). Sedangkan *multiple trips* digunakan dalam VRP ketika terdapat kendaraan dapat melakukan sejumlah perjalanan (Zhen et al., 2020). Trip dalam pengangkutan sampah merupakan bagian dari rute pengangkut sampah dengan melewati *intermediate facility* (TPA). Waktu penyelesaian pada satu rute tidak boleh melebihi dari waktu operasional yang telah ditetapkan.

VRP dengan menambahkan *intermediate facility* dalam aktifitas pengangkutan sampah diperlukan untuk menyalurkan dahulu sampah yang diangkut agar kendaraan dapat dipergunakan kembali (Markov et al, 2015). Berikut persamaan matematis yang digunakan dalam penelitian tersebut.

Set :

| | |
|-------|-------------------------------|
| O' | = Set Sumber |
| D | = Set Dumps |
| N | = $O' \cup O'' \cup D \cup P$ |
| O'' | = Set tujuan |
| P | = Set Container |

Parameter :

| | |
|--------------------------|--|
| π_{ij} | = Panjang arc (i,j) |
| α_{ijk} | = Bernilai 1 jika arc diakses oleh kendaraan k dan 0 jika sebaliknya |
| τ_{ijk} | = Waktu perjalana kendaraan k di arc (i,j) |
| ε_i | = Waktu pelayanan di titik i |
| $[\lambda_i, \mu_i]$ | = Batas atas dan bawah time windows di titik i |
| H | = Maksimum waktu perjalanan |
| η | = Makasimum waktu kerja kontinyu setelah istirahat |
| δ | = Lama istirahat |
| ρ_i^v, ρ_i^w | = Volume dan berat di titik i |
| Ω_k^v, Ω_k^w | = Volume dan kapasitas di titik k |
| ϕ_k | = Biaya kendaraan tetap di k |
| β_k | = Jarak operasional kendaraan k |
| θ_k | = Tingkat upah/waktu kendaraan k |

Keputusan :

- | | |
|------------|--|
| Y_{ijk} | = 1 jika kendaraan digunakan dari i ke j dan 0 jika tidak |
| X_{ijk} | = 1 jika kendaraan melakukan perjalanan dari i ke j dan 0 jika tidak |
| b_{ijk} | = 1 jika kendaraan istirahat dari i ke j dan 0 jika tidak |
| Q_{ik}^v | = jumlah volume di kendaraan k di titik i |
| Q_{ik}^w | = jumlah berat di kendaraan k di titik i |
| S_{ik} | = waktu mulai kendaraan k di titik i |

Min f =

$$\sum_{k \in K} (\phi_k Y_k + \beta_k \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \pi_{ij} X_{ijk} + \theta_k (\sum_{j \in O''} S_{jk} - \sum_{i \in O'} S_{ik})) + \psi \sum_{k \in K} \sum_{i \in O'} \sum_{j \in O'} (\beta_{\pi ji} + \theta_{\tau jik}) Z_{ijk} \quad (2.6)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in D \cup P} X_{ijk} = 1 \quad \forall i \in P \quad (2.7)$$

$$\sum_{i \in O'} \sum_{j \in N} X_{ijk} = Y_k \quad \forall k \in K \quad (2.8)$$

$$\sum_{i \in D} \sum_{j \in O''} X_{ijk} = Y_k \quad \forall k \in K \quad (2.9)$$

$$\sum_{i \in N} X_{ijk} = 0 \quad \forall k \in K, j \in O' \quad (2.10)$$

$$\sum_{j \in N} X_{ijk} = 0 \quad \forall k \in K, i \in O'' \quad (2.11)$$

$$\sum_{i \in N \setminus O''} X_{ijk} = \sum_{i \in N \setminus O'} X_{ijk} \quad \forall k \in K, j \in D \cup P \quad (2.12)$$

$$X_{ijk} \leq \alpha_{ijk} \quad \forall k \in K, i \in N \setminus O'', j \in N \setminus O' \quad (2.13)$$

$$Q_{ik}^v \leq \Omega_k^v \quad \forall k \in K, i \in P \quad (2.14)$$

$$Q_{ik}^w \leq \Omega_k^w \quad \forall k \in K, i \in P \quad (2.15)$$

$$Q_{ik}^w = 0 \quad \forall k \in K, i \in N \setminus P \quad (2.16)$$

$$Q_{ik}^v = 0 \quad \forall k \in K, i \in N \setminus P \quad (2.17)$$

$$Q_{ik}^v + \rho_j^v \leq Q_{jk}^v + (1 - X_{ijk})M \quad \forall k \in K, i \in N \setminus O'', j \in P \quad (2.18)$$

$$Q_{ik}^w + \rho_j^w \leq Q_{jk}^w + (1 - X_{ijk})M \quad \forall k \in K, i \in N \setminus O'', j \in P \quad (2.19)$$

$$S_{ik} + \varepsilon_i + \delta b_{ijk} + \tau_{ijk} \leq S_{jk} + (1 - X_{ijk})M \quad \forall k \in K, i \in N \setminus O'', j \in N \setminus O' \quad (2.20)$$

$$\lambda_i \sum_{j \in N \setminus O'} X_{ijk} \leq S_{ik} \leq \mu_i \sum_{j \in N \setminus O'} X_{ijk} \quad \forall k \in K, i \in N \setminus O'' \quad (2.21)$$

$$\sum_{j \in O''} S_{jk} - \sum_{i \in O'} S_{ik} \leq H \quad \forall k \in K \quad (2.22)$$

$$(S_{ik} - \sum_{m \in O'} S_{mk}) + \varepsilon_i - \eta \leq (1 - b_{ijk})M$$

$$\forall k \in K, i \in N \setminus O'', \varepsilon_i \in N \setminus O' \quad (2.23)$$

$$\eta - (S_{ik} - \sum_{m \in O'} S_{mk}) \leq (1 - b_{ijk})M$$

$$\forall k \in K, i \in N \setminus O'', \varepsilon_i \in N \setminus O' \quad (2.24)$$

$$b_{ijk} \leq X_{ijk} \quad \forall k \in K, i, j \in N \quad (2.25)$$

$$(\sum_{j \in O''} S_{jk} - \sum_{i \in O'} S_{ik}) - \eta \leq \left(\sum_{\substack{i \in N \setminus O'' \\ j \in N \setminus O'}} b_{ijk} \right) M \quad \forall k \in K \quad (2.26)$$

$$X_{ijk}, b_{ijk}, Y_k \in \{0,1\} \quad \forall k \in K, i, j \in N \quad (2.27)$$

$$Q_{ik}^v, Q_{ik}^w, S_{ik} \geq 0 \quad \forall k \in K, i \in N \quad (2.28)$$

$$\sum_{m \in P} X_{imk} + \sum_{m \in D} X_{mjk} - 1 \leq Z_{ijk} \quad \forall k \in K, i \in O', j \in O'' \quad (2.29)$$

$$Z_{ijk} = \{0,1\} \quad \forall k \in K, i \in O', j \in O'' \quad (2.30)$$

Fungsi tujuan dalam model matematis ini adalah meminimalkan biaya tetap kendaraan jika digunakan, biaya operasional terhadap jarak tempuh dan upah (2.6). Batasan (2.7) setiap titik dilayani oleh satu kendaraan. Batasan (2.8) dan (2.9) memastikan kendaraan dimulai dari asal kendaraaan sebelumnya. Persamaan (2.10) dan (2.11) melarang kendaraan kembali ke asal atau meninggalkan tujuan. Sedangkan persamaan (2.12) menunjukkan koversi aliran. Dependensi titik ditunjukkan di persamaan (2.13). Persamaan (2.14) dan (2.15) membatasai secara kumulatif volume kendaraan disetiap titik dan persamaan (2.16) dan (2.17) mengatur ulang volume menjadi 0 di tempat pembuangan. Persamaan (2.18) dan (2.19) melacak volume kumulatif yang dicapai kendaraan. Kendala (2.20) menghitung

waktu pelayanan dan memastikan bahwa suatu titik tidak akan dikunjungi lebih dari sekali oleh kendaraan yang sama. Persamaan (2.21) dan (2.22) membatasi waktur tur maksimum. Persamaan (2.23) dan (2.24) menunjukkan bahwa adanya istirahat. Sedangkan istirahat hanya satu kali ditunjukkan oleh persamaan (2.25) dan (2.26) menunjukkan jika istirahat dilakukan ketika melebihi batasan waktu kendaraan. Persamaan (2.27) dan (2.28) menuliskan domain variabel. Persamaan (2.29) dan (2.30) menunjukkan bahwa Z_{ijk} bernilai 1 jika i dan j terlayani oleh k .

Sedangkan penelitian VRP *multi trips* dilakukan oleh Cattaruzza et al.(2016) dengan persamaan matematis sebagai berikut.

$$\text{Min } \sum_{(i,j) \in A} T_{ij} \sum_{v \in V} \sum_{r \in R} X_{ij}^{vr} \quad (2.31)$$

St.

$$\sum_{v \in V} \sum_{r \in R} Y_i^{vr} = 1 \quad \forall i \in N \setminus \{0\} \quad (2.32)$$

$$\sum_{j \in N} X_{ij}^{vr} = \sum_{j \in N} X_{ji}^{vr} = Y_i^{vr} \quad \forall i \in N, v \in V, r \in R \quad (2.33)$$

$$\sum_{i \in N \setminus \{0\}} Q_i Y_i^{vr} \leq Q \quad \forall v \in V, r \in R \quad (2.34)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} X_{ij}^{vr} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subseteq V \setminus \{0\}, |S| \geq 2, v \in V, r \in R \quad (2.35)$$

$$\sum_{r \in R} \sum_{(i,j) \in A} T_{ij} X_{ij}^{vr} \leq T_H \quad \forall v \in V \quad (2.36)$$

$$X_{ij}^{vr} \in \{0,1\} \quad \forall v \in V, r \in R, (i,j) \in A \quad (2.37)$$

$$Y_i^{vr} \in \{0,1\} \quad \forall v \in V, r \in R, i \in N \quad (2.38)$$

Dimana :

T_H = Waktu total

Q = Kapasitas total

Q_i = kapasitas di titik i

T_{ij} = waktu perjalanan i ke j

X_{ij}^{vr} = Bernilai 1 jika trip $r \in R$ pada kendaraan $v \in V$ ada

perjalanan dari i ke j dimana arc $(i,j) \in A$ dan 0 jika tidak

y_i^{vr} = berlai 1 jika trip jika trip $r \in R$ pada kendaraan $v \in V$

mengunjungi $i \in N$ dan 0 jika sebaliknya

$R = \{0, \dots, N-1\}$

Persamaan (2.31) menunjukkan fungsi tujuan meminimalkan waktu perjalanan. Batasan (2.32) menunjukkan bahwa setiap fasilitas akan dilayani oleh satu kendaraan. Selanjutnya kendaraan akan melayani sebuah aktifitas pada satu trip ditunjukan oleh persamaan (2.33). Persamaan (2.34) dan (2.35) menunjukkan kapasitas terangkut harus kurang dari kapasitas total kendaraan dan akan mengangkut ketika kendaraan digunakan. Persamaan (2.36) menunjukkan batasan waktu. Sedangkan (2.37) dan (2.38) menunjukkan keputusan.

2.5 Multi Objective Integer Lineal Programming

Menurut Sylva dan Crema (2004) digunakan untuk menyelesaikan masalah masalah *Multiple Criteria Decision Making* (MCDM) yang melibatkan keputusan diskrit. *Multi Objective Integer Lineal Programming* (MOILP) merupakan model yang memadai untuk banyak situasi dunia nyata (Chergui et al., 2008). Persamaan umum MOILP adalah sebagai berikut.

$$(P) \quad \begin{cases} \text{Max } Z_1 = C_1 X \\ \text{Max } Z_r = C_r X \\ x \in S \end{cases} \quad (2.39)$$

$$x \text{ integer} \quad (2.41)$$

Dimana,

Z = Fungsi tujuan

X = Keputusan bernilai integer

$S = \{x \in R^n / Ax=b, x \geq 0\}$

Maka persamaan (2.39) menunjukkan bahwa tujuan dari MOILP lebih dari 1 fungsi tujuan, persamaan (2.40) menunjukkan bahwa $\{x \in \mathbb{R}^n / Ar=b, x \geq 0\}$ dan pada persamaan (2.41) x bernilai integer. Model matematis dalam penelitian ini termasuk MOILP karena bersifat liniear serta menghasilkan keputusan biner dan integer.

2.6 Fuzzy Goal Programming

Goal programming adalah sebuah metode yang diperkenalkan oleh Charnes dan Coopers pada tahun 1961. *Goal programming* merupakan perluasan dari model linear programming yang digunakan untuk menganalisis dan membuat solusi permasalahan yang melibatkan banyak tujuan sehingga diperoleh alternatif pemecahan masalah yang optimal (Eka R et al., 2017). Perbedaan antara *goal programming* dengan *linear programming* adalah jumlah tujuan yang diinginkan lebih dari satu pada *goal programming* dan adanya sepasang variabel deviasional pada masing-masing fungsi kendala serta fungsi tujuan. Model *goal programming* dirancang untuk meminimasi nilai simpangan yang ada pada masing-masing fungsi kendala serta fungsi tujuan. *Goal programming* memiliki pendekatan terhadap masalah dengan menetapkan suatu tujuan yang dinyatakan dengan angka tertentu untuk setiap tujuan dilanjutkan dengan merumuskan suatu fungsi tujuan lalu mencari penyelesaian dengan meminimumkan jumlah (terimbang) penyimpangan - penyimpangan dari fungsi tujuan.

Terdapat tiga terminologi yang mendasari *goal programming* yaitu :

1. Objektif

Suatu pernyataan yang menyatakan atau mempresentasikan suatu keinginan untuk dapat memaksimumkan pemenuhan permintaan dan lain-lain.

2. Nilai Target

Suatu nilai yang membatasi pencapaian objektif diterima atau ditolak atau merupakan tingkat pencapaian yang diinginkan untuk setiap atribut atau objektif.

3. Goal

Suatu pencapaian objektif yang sesuai dengan tingkat aspirasi pengambil keputusan.

Pada *goal programming* asumsi deterministik diterapkan sehingga jika pada suatu kondisi parameter fuzzy maupun skokastik, keputusan akan sulit diperoleh. Oleh sebab itu, dikembangkan sebuah model matematis *fuzzy goal programming* (Aouni et al, 2010). Model matematis *fuzzy goal programming* adalah sebagai berikut.

$$\text{Max } Z = \lambda \quad (2.42)$$

$$\frac{f_i(x)}{\Delta} + \delta_i^- + \delta_i^+ = g_i / \Delta_i \text{ (for } i = 1, 2, \dots, p) \quad (2.43)$$

$$\lambda + \delta_i^- + \delta_i^+ \leq 1 \text{ (for } i = 1, 2, \dots, p) \quad (2.44)$$

$$x \in X \quad (2.45)$$

$$\lambda, \delta_i^-, \delta_i^+ \geq 0 \text{ (for } i = 1, 2, \dots, p) \quad (2.46)$$

Dengan

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } f_i(x) \leq b_i \\ 1 - \frac{f_i(x) - b_i}{\Delta_i} & b_i < f_i(x) \leq b_i + \Delta_i \\ 0 & \text{if } f_i(x) > b_i + \Delta_i \end{cases} \quad (2.47)$$

Dimana

$$\Delta_i = \text{Konstanta deviasi } g_i$$

$$\delta^- = \text{Deviasi negative } g_i$$

$$\delta^+ = \text{Deviasi positive } g_i$$

λ = Nilai keanggotaan tertinggi dalam *decision set*

Model matematis *multi objective* dalam pemecahan masalah pengelolaan sampah padat untuk mengoptimalkan *facility location* dan *network* telah dilakukan (Mamashli & Javadian, 2021) dengan fuzzy goal programming sebagai berikut.

Indeks

| | |
|-------------|---|
| m | = indeks kota |
| i | = indeks fasilitas insenerasi |
| r | = indeks fasilitas recycle |
| c | = indeks fasilitas pengomposan |
| l | = indeks fasilitas <i>sanitary landfill</i> |
| d | = indeks zona demand |
| h | = indeks teknologi di fasilitas insenerasi |
| t | = indeks teknologi di fasilitas <i>recycle</i> |
| j | = indeks teknologi di fasilitas pengomposan |
| v_1 | = indeks kendaraan pengangkut di kota |
| v_2 | = indeks kendaraan pengangkut menuju fasilitas insenerasi |
| v_3 | = indeks kendaraan pengangkut menuju fasilitas recycle |
| v_4 | = indeks kendaraan pengangkut menuju fasilitas pengomposan |
| e, e' | = set untuk echelons; $e, e' \in \{m, i, r, c, l, d\}$ |
| f_e, f'_e | = set fasilitas pada echelons e : $f_e, f'_e \in \{1, \dots, F_e\}$ |
| a | = set teknologi $a \in \{h, t, j\}$ |
| v | = set tipe kendaraan $v \in \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$ |

Parameter

| | |
|--------------------------------------|---|
| Q | = Total sampah yang dikumpulkan |
| $FC_{f_e a}$ | = Biaya tetap pendirian fasilitas $f_e e \in \{i, r, c\}$ dengan teknologi $a a \in \{h, t, j\}$ |
| FC_l | = Biaya tetap mendirikan fasilitas sanitary landfill |
| CW_m | = Biaya pemilahan sampah di kota dengan indeks m |
| $CP_{f_e a}$ | = Biaya pengelolaan sampah di fasilitas $f_e e \in \{i, r, c\}$ dengan teknologi $a a \in \{h, t, j\}$ |
| CL_l | = Biaya pengelolaan sampah di fasilitas l |
| DI_d | = Demand untuk energi dari hasil pengelolaan sampah pada zona d |
| DR_d | = Demand untuk produk daur ulang dari pengelolaan sampah pada zona d |
| DC_d | = Demand untuk produk kompos dari pengelolaan sampah pada zona d |
| $SC_{f_e a}$ | = Penalti karena demand di fasilitas $f_e e \in \{i, r, c\}$ dengan teknologi $a a \in \{h, t, j\}$ |
| $SP_{f_e a}$ | = Harga produk pengelolaan sampah dari fasilitas $f_e e \in \{i, r, c\}$ dengan teknologi $a a \in \{h, t, j\}$ |
| CN_v | = Biaya transportasi kendaraan $v \in \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$ |
| $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ | = Fraksi sampah yang dikirim perkotaan ke fasilitas pengelolaan sampah ($\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4$) |
| $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ | = Fraksi sampah yang digenerasi pengelolaan sampah |
| δ_{f_e} | = Jumlah emisi dari fasilitas $f_e e \in \{i, r, c, l\}$ |
| ψ | = Energi yang dihasilkan oleh sampah per ton |
| ξ | = Kompos yang dihasilkan oleh sampah per ton |

| | |
|---------------|--|
| $Cap_{f_e a}$ | = Kapasitas fasilitas insenerasi $f_e e \in \{i, r, c\}$ dengan teknologi $a a \in \{h, t, j\}$ |
| Cap_l | = Kapasitas <i>Sanitary Landfill</i> |
| $CapV_v$ | = Kapasitas kendaraan $v \in \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$ |
| $FJ_{f_e a}$ | = <i>Fixed job opportunities</i> (FJO) pada $f_e e \in \{i, r, c\}$ dengan teknologi $a a \in \{h, t, j\}$ |
| FJ_l | = <i>Fixed job opportunities</i> (FJO) <i>sanitary landfill</i> |
| $VJ_{f_e a}$ | = <i>Variabel job opportunities</i> (VJO) pada $f_e e \in \{i, r, c\}$ dengan teknologi $a a \in \{h, t, j\}$ |
| VJ_l | = <i>Variabel job opportunities</i> (VJO) <i>sanitary landfill</i> |
| $FL_{f_e a}$ | = <i>Lost days caused by work damages</i> (LCWD) selama mengembangkan teknologi $a a \in \{h, t, j\}$ pada fasilitas $f_e e \in \{i, r, c\}$ |
| FL_l | = <i>Lost days caused by work damages</i> (LCWD) mengembangkan <i>sanitary landfill</i> fasilitas l |
| $VL_{f_e a}$ | = <i>Lost days caused by work damages</i> (LCWD) pemrosesan fasilitas $f_e e \in \{i, r, c\}$ dengan teknologi $a a \in \{h, t, j\}$ |
| VL_l | = <i>Lost days caused by work damages</i> (LCWD) pemrosesan fasilitas l |
| $PopR_{f_e}$ | = Populasi lokasi fasilitas berisiko $f_e e \in \{i, r, c\}$ |
| Pop_{f_e} | = Populasi lokasi fasilitas $f_e e \in \{i, r, c\}$ |

Decision variables

| | |
|-------------|--|
| $X_{f_e a}$ | = 1 ketika fasilitas bisa menerapkan teknologi, 0 jika tidak |
|-------------|--|

| | |
|-----------------------|--|
| Z_l | = 1 ketikan <i>sanitary landfill</i> digunakan, 0 jika tidak |
| Q_m | = Total sampah terkumpul di kota m |
| $QWM_{f_e f'_{e'}}^u$ | = Total sampah dari kota m yang di bawa ke fasilitas pengelolaan $f_e e \in \{i, r, c\}$ dengan kendaraan $v \in \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$ |
| $QWL_{f_e f'_{e'}}^u$ | = Total sampah dari fasilitas pengelolaan $f_e e \in \{i, r, c\}$ ke <i>sanitary landfill</i> l kendaraan $v \in \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$ |
| QL_l^{total} | = Total sampah yang dikirim ke <i>sanitary landfill</i> l |
| $B_{f_e a}$ | = Nomor kendaraan $v \in \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$ |

Fungsi Tujuan

$$\text{Maxf}(\mu) = \sum_{k=1}^4 \mu_k = \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 \quad (2.48)$$

$$\begin{aligned} \text{Min E} |Z_1| - \eta(Z_{(1)max} - E|Z|) + \phi_1 [\sum_m Q_{(4)} - (1 - \alpha_1)Q_3 - \alpha_1 Q_4] + \\ \pi_1 [\sum_e \sum_{f_e} \sum_a X_{f_e a} \times (1 - \alpha_2)Cap_{f_e a(2)} + \alpha_3.Cap_{f_e a(1)} - Cap_{f_e a(1)} \times] + \\ \phi_2 [\sum_d DI_{d(4)} - (1 - \alpha_4)DI_{d(3)} - \alpha_4.DI_{d(4)}] + \\ \pi_2 [\sum_1 Z_1 \times (1 - \alpha_3)Cap_{(2)} + \alpha_3.Cap_{(1)} - Cap_{(1)} \times] + \\ \phi_3 [\sum_d DR_{d(4)} - (1 - \alpha_5)DR_{d(3)} - \alpha_5.DR_{d(4)}] + \\ \phi_4 [\sum_d DC_{d(4)} - (1 - \alpha_6)DC_{d(3)} - \alpha_6.DC_{d(4)}] \end{aligned} \quad (2.49)$$

$$\text{Min } (Z_2) = \sum_v NV_v \quad (2.50)$$

$$\text{Min } (Z_3) = \sum_e \sum_{f_e} \sum_{f'_{e'}} \sum_v QWM_{f_e f'_{e'}}^v \cdot \delta_{f_e} \quad (2.51)$$

$$\begin{aligned} \text{Min } (Z_4) = [-W_1 \cdot (\sum_e \sum_{f_e} \sum_a FJ_{f_e a} \cdot X_{f_e a} + \sum_l FJ_l \cdot Z_l + \\ \sum_e \sum_{e'} \sum_{f_e} \sum_{f'_{e'}} \sum_v \frac{VJ_{f_e a} \cdot QWM_{f_e f'_{e'}}^v}{Cap_{f_e a}} + \sum_l \frac{VJ_l \cdot QL_l^{Total}}{Cap_l})] \\ + \\ [W_2 \cdot (\sum_e \sum_{f_e} \sum_a FL_{f_e a} \cdot X_{f_e a} + \sum_l FL_l \cdot Z_l + \\ \sum_e \sum_{e'} \sum_{f_e} \sum_{f'_{e'}} \sum_v \frac{VL_{f_e a} \cdot QWM_{f_e f'_{e'}}^v}{Cap_{f_e a}} + \sum_l \frac{VL_l \cdot QL_l^{Total}}{Cap_l})] \\ + [W_3 \cdot (\sum_e \sum_{f_e} \sum_a PopR_{f_e} \cdot Pop_{f_e} \cdot X_{f_e} + \sum_l PopR_l \cdot Pop_l \cdot Z_l)] \end{aligned} \quad (2.52)$$

Batasan

$$\sum_i \sum_v QWM_{mi}^v = \beta_1 \cdot Q_m \quad \forall m, v \in \{v_1\} \quad (2.53)$$

$$\sum_r \sum_v QWM_{mr}^v = \beta_2 \cdot Q_m \quad \forall m, v \in \{v_1\} \quad (2.54)$$

$$\sum_c \sum_v QWM_{mc}^v = \beta_3 \cdot Q_m \quad \forall m, v \in \{v_1\} \quad (2.55)$$

$$\sum_l \sum_v QWM_{ml}^v = \beta_4 \cdot Q_m \quad \forall m, v \in \{v_1\} \quad (2.56)$$

$$\sum_l QWL_{il}^v = \sum_m \lambda_1 \cdot QWM_{mi}^v \quad \forall i, v \in \{v_1, v_2\} \quad (2.57)$$

$$\sum_l QWL_{rl}^v = \sum_m \lambda_2 \cdot QWM_{mr}^v \quad \forall r, v \in \{v_1, v_3\} \quad (2.58)$$

$$\sum_l QWL_{cl}^v = \sum_m \lambda_3 \cdot QWM_{mc}^v \quad \forall c, v \in \{v_1, v_4\} \quad (2.59)$$

$$QL_l^{Total} = \sum_m QWM_{ml}^v + \sum_i QWL_{il}^v + \sum_r QWL_{rl}^v + \sum_l QWL_{cl}^v \\ \forall i, v \in \{v_1, v_2, v_3, v_4\} \quad (2.60)$$

$$\sum_e X_{f_e a} \leq 1 \quad \forall e \in \{i, r, c\} \quad (2.61)$$

$$\sum_e \sum_{f_e} \sum_{e'} \sum_{f'_e e'} QWM_{f_e f'_{e'}}^v \leq NV_v \cdot Cap_v \quad \forall v \in \{v_1\}, e \in \{m\}$$

$$e' \in \{i, r, c, l\} \quad (2.62)$$

$$\sum_i \sum_l QWL_{il}^v \leq NV_v \cdot Cap_v \quad \forall v \in \{v_2\} \quad (2.63)$$

$$\sum_r \sum_l QWL_{rl}^v \leq NV_v \cdot Cap_v \quad \forall v \in \{v_3\} \quad (2.64)$$

$$\sum_c \sum_l QWL_{cl}^v \leq NV_v \cdot Cap_v \quad \forall v \in \{v_4\} \quad (2.65)$$

$$NV_v, Q_m, QWM_{f_e f'_{e'}}^v, QWL_{f_e f'_{e'}}^v, QL_l^{Total}, B_{f_e a} \geq 0, integer \\ v \in \{v_1, v_2, v_3, v_4\} \quad e, e' \in \{m, i, c, r, l\} \quad (2.66)$$

$X_{f_e a}, Z_i \in Binary$

$$E \in \{i, c, r\}$$

$$\alpha \in \{h, t, j\} \quad (2.67)$$

$$Q_m \geq (1-a_1) \cdot Q_{(3)} + a_1 \cdot Q_{(4)} \quad \forall m \quad (2.68)$$

$$\begin{aligned} & \sum_m \sum_i \sum_v (1 - \lambda_1) \cdot QWM_{mi}^v \cdot \psi \\ & + \sum_i \sum_h B_{ih} \geq (1 - a_4) \cdot DL_{d(3)} + a_4 \cdot DL_{d(4)} \quad \forall d, v \in \{v1\} \end{aligned} \quad (2.69)$$

$$\begin{aligned} & \sum_m \sum_i \sum_v (1 - \lambda_2) \cdot QWM_{mi}^v \cdot \psi \\ & + \sum_i \sum_h B_{ih} \geq (1 - a_5) \cdot DL_{d(3)} + a_4 \cdot DL_{d(4)} \quad \forall d, v \in \{v1\} \end{aligned} \quad (2.70)$$

$$\begin{aligned} & \sum_m \sum_i \sum_v (1 - \lambda_3) \cdot QWM_{mi}^v \cdot \psi \\ & + \sum_i \sum_h B_{ih} \geq (1 - a_6) \cdot DL_{d(3)} + a_4 \cdot DL_{d(4)} \quad \forall d, v \in \{v1\} \end{aligned} \quad (2.71)$$

$$0.5 \leq a_j \leq 1 \quad \forall j \quad (2.72)$$

$$\begin{aligned} & \sum_e \sum_{f_e} \sum_v QWM_{f_e f_e}^v \leq \sum_a X_{f_e a} \cdot Cap_{i(2)} - LIH_{f_e a} \cdot Cap_{f_e(2)} + \\ & LIH_{f_e a} \cdot Cap_{f_e(1)} \quad \forall e \in \{i, r, c\} \leq a_2 \quad e \in \{i, r, c\}, a \in \{h, t, j\} \quad LIH_{f_e a} \leq Big M \\ & X_{f_e a} \quad \forall e \in \{i, r, c\}, a \in \{h, t, j\} \quad LIH_{f_e a} \geq a_2 \cdot Big M \cdot (1 - X_{f_e a}) \quad \forall \\ & e \in \{i, r, c\}, a \in \{h, t, j\} \end{aligned} \quad (2.73)$$

$$QL_l^{total} \leq Z_l \cdot Cap_{l(2)} + LL_1 \cdot Cap_{(2)} + LL_1 \cdot Cap_{(1)} \quad \forall l \quad (2.74)$$

$$\sum_l LL_l \leq a_3 \quad (2.75)$$

$$LL_l \leq Big M \cdot Z_l \quad \forall l \quad (2.76)$$

$$LL_l \leq a_3 - Big M \cdot (1 - Z_l) \quad \forall l \quad (2.77)$$

Persamaan (2.48) menunjukkan fungsi tujuan dimana akan, Selanjutnya persamaan ke (2.49) yaitu meminimalkan total biaya jaringan yang terdiri dari

biaya pemilahan sampah, biaya pendirian fasilitas pengelolaan persampahan perkotaan, biaya operasional, biaya kekurangan, dan biaya transportasi. Pendapatan diperoleh dari penjualan energi yang dihasilkan, bahan daur ulang, dan kompos yang diproduksi dikurangi dari biaya. Persamaan (2.50) adalah meminimalkan jumlah total kendaraan yang digunakan dalam jaringan untuk mengurangi kerusakan lingkungan. Persamaan (2.51) menunjukkan meminimalkan emisi polutan dari fasilitas pengolahan limbah. Persamaan (2.52) mengoptimalkan aspek sosial yang ditimbulkan dengan adanya fasilitas perawatan yang mempertimbangkan keselamatan pekerja, risiko lokasi berbasis populasi, dan peluang kerja.

Batasan (2.53) menghitung jumlah limbah yang dikirim ke pusat insinerasi. Batasan (2.54) menentukan jumlah sampah yang dikirim ke pusat daur ulang. Batasan (2.55) menghitung jumlah sampah yang dikirim ke pusat pengomposan. Batasan (2.56) mengukur jumlah limbah yang dikirim ke *sanitary landfill* dari kota. Batasan (2.57), (2.58), dan (2.59) menghitung jumlah sampah yang dikirim dari pusat pembakaran, daur ulang, dan pengomposan ke *sanitary landfill*. Batasan (2.60) menentukan jumlah total sampah di lahan *sanitary landfill*. Batasan (2.61) menunjukkan bahwa paling banyak satu teknologi dapat dibangun untuk setiap fasilitas pengolahan. Batasan (2.62), (2.63), (2.64), dan (2.65) menunjukkan batasan kapasitas kendaraan. Batasan (2.66) dan (2.67) variable keputusan. Persamaan (2.68) menunjukkan batasan tentang jumlah sampah. Batasan (2.69) hingga (2.71) menunjukkan keterkaitan kebutuhan energi dengan jumlah sampah. Persamaan (2.72) hingga (2.77) menunjukkan linearisasi.

Penelitian ini berbeda dengan telah dilakukan (Mamashli & Javadian, 2021), pada penelitian ini tidak menerapkan *Fuzzy Failure Mode and Effects Analysis* untuk menganalisa risiko pemilihan lokasi baru beserta teknologi yang akan diterapkan. Selain itu juga tidak menerapkan *fuzzy robust programming* untuk meminimalkan biaya dan mengoptimalkan dampak sosial dari lokasi baru tepilih beserta teknologi yang akan diterapkan sehingga berbeda dalam model untuk

solusi permasalahan. Pada penelitian (Mamashli & Javadian, 2021) menggunakan *Fuzzy Goal Programming approach with Different Importance and Priorities* sebagai solusi model dalam permasalahan yang diselesaikan. Sedangkan pada penelitian ini mengadopsi model *fuzzy goal programming* dari (Zimmermann, 1978; Li et al., 2004) dengan himpunan keanggotaan fuzzy berikut.

Jika $F_i(x) \geq f_i$, maka

$$\mu_{f_i}(x) = \begin{cases} 1 & F_i(x) \geq f_{imax} \\ \frac{F_i(x) - L_i}{f_{imax} - L_i} & L_i \leq F_i(x) \leq f_{imax} \\ 0 & f_i(x) \leq L_i \end{cases} \quad (2.78)$$

Jika $F_i(x) \leq f_i$, maka

$$\mu_{f_i}(x) = \begin{cases} 1 & F_i(x) \leq f_{imin} \\ \frac{U_i - F_i(x)}{U_i - f_{imin}} & f_{imin} \leq F_i(x) \leq U_i \\ 0 & F_i(x) \geq U_i \end{cases} \quad (2.79)$$

Himpunan yang ditunjukkan oleh persamaan (2.78) untuk tujuan maksimasi sedangngkan (2.79) untuk minimasi. Sehingga *fuzzy goal programming* yang akan digunakan adalah sebagai berikut.

$$\text{Max } \lambda \quad (2.80)$$

Dengan kendala

$$\mu_{f_i}(x) \geq \lambda \quad (2.81)$$

$$A_x \leq b, x \geq 0 \quad (2.82)$$

2.7 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai referensi dan acuan dalam penelitian ini akan dijelaskan pada sub-bab ini. Pada penelitian penentuan rute pengangkutan sampah terdahulu belum terdapat penelitian yang mempertimbangkan fasilitas penampung sementara dalam menampung sampah

secara maksimal tetapi terdapat beberapa penelitian serupa yang melatar belakangi diperlukannya penelitian ini.

Penelitian penelitian tentang penentuan rute telah banyak dilakukan seperti oleh (Yu et al., 2011; Kuo dan Wang, 2012; Zhang dan Chen, 2014; Walther et al, 2016; Wang et al., 2018; Qin et al., 2019). Penelitian Yu et al. (2011) berlatar belakang sebuah indutri pertambangan tidak memiliki kendaraan sendiri sehingga perlu menyewa kendaraan. Kendaraan tidak perlu kembali ke depo setelah menyelesaikan tugas sehingga dapat menerapkan *Open Vehicle Routing Problem* (OVRP) dalam merencanakan rute perjalanan untuk meminimalkan jumlah kendaraan dan total jarak yang ditempuh dengan A hybrid GA-TS algorithm. Kuo dan Wang pada tahun 2012 melakukan penelitian untuk menyelesaikan permasalahan *multidepot vehicle routing problem with loading cost* (MDVRPLC). Penelitian tersebut menggunakan 3 tahap penyelesaian yaitu metode stokastik, memilih secara acak operator dan dilanjutkan dengan *simulated annealing* (SA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dapat jalur dapat dioptimalkan untuk menurunkan biaya. Sedangkan penelitian Zhang dan Chen (2014) dengan adanya permasalahan pada penjadwalan di jaringan logistik *frozen food* melakukan penelitian dengan *Genetic Algorithm* (GA) dan dilanjutkan dengan uji komputasi dengan data nyata untuk memvalidasi. Metode GA dapat memberikan solusi yang baik dengan ketahanannya tetapi terdapat faktor lain yang mempengaruhi kinerja sistem seperti kurang armada dan kendaraan tipe campuran sehingga perlu dikaji untuk penelitian selanjutnya. Penelitian Walther et al (2016) dilatarbelakangi pentingnya *sustainability* dan pengelolaan agar efisien dalam transpotasi laut. Penelitian dilakukan dengan beberapa metode untuk mencari pendekatan yang sesuai. Metode yang digunakan antara lain algoritma djikstra, programa dinamis, isochrine hingga *non linear programming*. Sedangkan penelitian yang dilakukan Wang et al. (2018) dengan tujuan meminimalkan biaya dan memaksimalkan kepuasan pelanggan diformulasikan bersama dengan fungsi

pengukuran yang inovatif untuk menentukan solusi optimal. Penelitian ini mengembangkan *Modified Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II* (M-NSGA-II) untuk membuat pemodelan yang simultan antara lokasi fasilitas, alokasi dari pelanggan dan mengoptimalkan *vehicle routng network*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa diperlukan skenario dengan simulasi karena ketika ada pengelompokan dapat menciptakan kerugian bukan keuntungan. Penelitian Qin et al. (2019) bertujuan membuat rute pada *cold chain* dengan mempertimbangkan kepuasan pelanggan berupa ketepatan waktu pengiriman dan emisi karbon. Penelitian ini menggunakan model optimasi berupa *cycle evolutionary genetic algorithm* (CEGA) dan VRP-CSC model (*vehicle routing problem for cold chain logistics considering customer satisfaction and carbon emissions*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa biaya bahan bakar mempengaruhi total biaya dan kepuasan consume yang berlawanan.

Penelitian tentang pengoptimalan *network* untuk aktifitas *Municipal Solid Waste Management* (MSWM) telah dilakukan oleh (Zsigraiova et al., 2013; Das dan Bhattacharyya, 2015; Markov Tiya dan Sacha Varone, 2015; Assaf dan Saleh, 2017; Banyai et al., 2019; Sulemana et al., 2019). Penelitian Zsigraiova et al. (2013) memiliki latar belakang mengurangi biaya operasi dan emisi polutan yang terlibat dalam pengumpulan dan pengangkutan limbah. Proses pengoptimalan rute menggunakan Sistem Informasi Geografis dan menggunakan dua kriteria pengoptimalan yaitu total waktu yang dihabiskan dan jarak tempuh. Hasil penelitian menunjukkan penghematan biaya total 57%, tenaga kerja menjadi kontributor terbesar, total waktu menurun sebesar 62%, dan untuk konsumsi bahan bakar menurun 43% serta 40% polutan menurun. Sedangkan Das & Bhattacharyya (2015) melakukan penelitian untuk mengusulkan skema pengumpulan dan transportasi MSW yang optimal guna meminimalkan panjang setiap jalur pengumpulan dan pengangkutan sampah. Penelitian tersebut menggunakan *Mixed Integer Programming* dan dilanjutkan dengan heuristics yang dilengkapi uji simulasi ekstensif dan *real tested*. Hasil

penelitian menunjukkan bahwa skema yang diusulkan adalah mampu mengurangi lebih dari 30% dari total panjang jalur pengumpulan sampah. penelitian Markov Tiya & Sacha Varone (2015) mengembangkan model *Vehicle Routing Problem with Intermediate Facility* (VRPTIF) dengan *heterogenous fixed fleet* dan *flexible assignment* pada sumber serta depot. Penelitian tersebut mempertimbangkan jam istirahat, keragaman volume kendaraan serta ketergantungan lainnya. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa dibutuhkan pengembangan heuristics untuk permasalahan yang tidak pada umumnya. Sedangkan penelitian Assaf & Saleh (2017) dilakukan untuk penentuan rute jaringan pengumpulan sampah di kota Nablus - Palestina yang dapat meminimalkan biaya dengan *Vehicle Routing Problem* (VRP) yang dioptimalkan dengan GA. Hasil penelitian tersebut menunjukkan arak tempuh total truk berkurang 66%, sedangkan waktu pengumpulan berkurang dari 7 jam per truk menjadi 2,3 jam. Penelitian Banyai et al. (2019) mengintegrasikan model matematis penentuan rute, penugasan dan penjadwalan untuk mengoptimalkan truk dalam pengangkutan sampah dan penjadawalan agar meminimalkan biaya. Penelitian tersebut juga melibatkan penerapan teknologi pada Industri 4.0 dalam pengelolaan sampah dan potensi pengoptimalan prosesnya. Penelitian ini menggunakan model yang dapat ditrapkan di *wastes of electrical and electronic equipment* (WEEE), biomasa dan pengelolaan limbah medis. Sedangkan Sulemana et al. (2019) melakukan penelitian di Ghana untuk mengetahui pengaruh optimasi rute terhadap jarak tempuh, waktu tempuh dan konsumsi bahan bakar truk pengumpul sampah kota. Penelitian ini menggunakan menggunakan ArcGIS *Network Analyst Extension*.

Penelitian tentang *facility location* pada pengelolaan sampah pernah dilakukan oleh (Adeleke dan Olukanni, 2020). Penelitian Adeleke & Olukanni, 2020) bertujuan untuk mereview beberapa metode *facility location* yang dapat diterapkan dalam *waste management*. Sedangkan penelitian yang mengintegrasikan *network* dan *facility location* pernah dilakukan oleh pada

pengelolaan sampah padat oleh (Mohammad et al., 2017; Ouhader dan Kyal, 2017; Veenstra et al., 2018; Farahbakhsh, 2019; Zandkarimkhani, 2020; Mamashli dan Javadian, 2021). Penelitian Mohammad et al. (2017) bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan pengelolaan sampah lingkungan Ahmadabad yang terletak di Kota Masyhad - Iran. Penelitian tersebut mengintegrasikan *location allocation problem*, *capacitated vehicle routing problem* (CVRP) dengan *Arc Geographic Information Systems* (GIS). Hasil penelitian menunjukkan dengan skenario dengan jarak berjalan kaki 100, 150 dan 180 m dianggap dapat menemukan lokasi fasilitas pembuangan yang optimal untuk Alamdasht, C-metri dan Koohsangi. Total rute kendaraan pengumpul juga dioptimalkan sedemikian rupa sehingga total jarak tempuh selama shift kerja siang dan malam berkurang sebesar 53%. Penelitian Ouhader & Kyal (2017) dengan latar belakang perlunya menurunkan biaya pengelolaan, pencemaran akibat gas karbon serta memaksimalkan tenaga kerja sehingga mengintegrasikan permasalahan penentuan lokasi dan rute untuk angkutan pengiriman barang di perkotaan dengan melihat dari potensi ekonomi, lingkungan dan dampak sosial. Penelitian tersebut mengembangkan model *Mixed Integer Liniar Programming* (MILP). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan kolaboratif dapat mengurangi emisi CO₂, biaya transportasi, dan jumlah kendaraan bekas serta secara tidak langsung meminimalkan gangguan dan kemacetan lalu lintas di kota. Namun, kolaborasi dapat berdampak negatif terhadap peluang kerja yang tercipta. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Veenstra et al. (2018) menyelesaikan permasalahan pengiriman obat berdasarkan *coverage distance* sebuah fasilitas loker pengambilan obat terhadap pasien disekitarnya dengan mengembangkan model matematis yang bersifat simultan antara *facility location* dengan *vehicle routing problem* untuk. Penentuan rute digunakan untuk memenuhi permintaan pasien yang tidak terpenuhi oleh fasilitas yang disediakan serta mengunjungi fasilitas loker yang terbuka. Model matematis tersebut diselesaikan dengan *branch and*

bound dan penelitian ini juga mengusulkan model *a fast hybrid heuristic* untuk menyelesaikan masalah. Hasil penelitian menunjukkan heuristic yang dihasilkan lebih stabil dan mengungguli CPLEX. Sedangkan Farahbakhsh (2019) dengan latar belakang pentingnya pemilahanan untuk sampah yang dapat didaur ulang maka diperlukan penentuan lokasi dan penenetuan rute untuk mengurangi pencemaran lingkungan, menurunkan biaya, dan meningkatkan sistem pelayanan kepada masyarakat melakukan penelitian tentang penentuan lokasi dan rute. Penelitian ini menggunakan *Geographic Information Systems* (GIS) dan *symmetric capacitated vehicle routing problem*. Penelitian Zandkarimkhani (2020) mengembangkan model bi-objective integer linear programming untuk meminimalkan biaya dan shortage pada produk perishable. Model yang dikembangkan selanjutnya diselesaikan dengan fuzzy goal programming. Sedangkan penelitian (Mamashli dan Javadian, 2021) memiliki latar belakang perlunya pengelolaan pada sampah perkotaan karena adanya risiko lingkungan dan sosial. Penelitian tersebut menggunakan *Fuzzy Goal Programming approach with Different Importance and Priorities* serta *Fuzzy Failure Mode and Effects Analysis*. *Fuzzy Failure Mode and Effects Analysis* digunakan untuk menenetukan nilai risiko. Penelitian ini dilakukan pada pengelolaan sampah di Minudahst yang memiliki beragam cara pengelolaan sampah sehingga juga perlu menghitung harga jual dari produk pengolahan sampah. Selanjutnya pada tahap akhir peneliti melakukan analisis sensitivitas terhadap beberapa parameter.

Sedangkan perbedaan penelitian ini dengan penelitian lain dari segi metode dan pengembangannya dapat dilihat dalam tabel 2.1.

Tabel 2.1 Posisi Penelitian

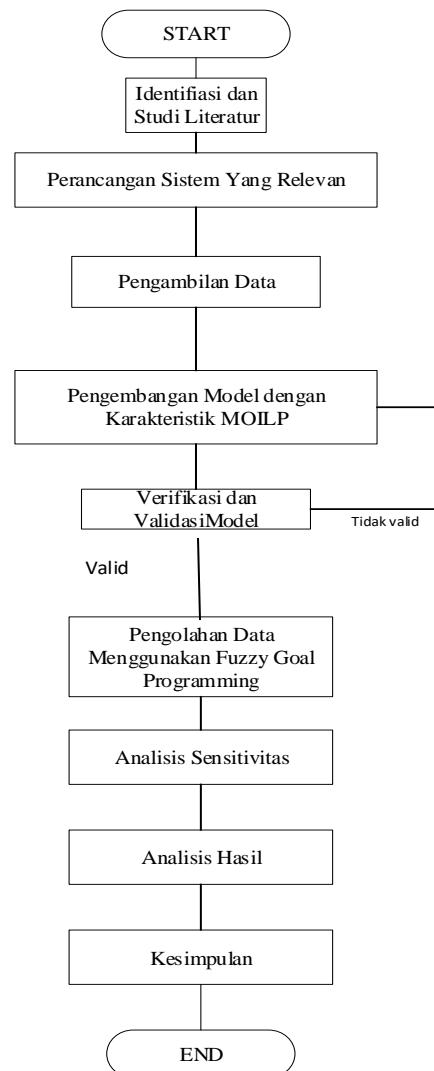
| No. | Nama Penulis | | Metode | | Fuzzy FMEA | Fuzzy Goal Programming approach with Different Importance and Priorities | Fuzzy Multi Objective Linear Programming |
|-----|----------------------------|--|--|--------------------------------------|------------|--|--|
| | | | Fuzzy Multi Objective Linear Programming | Geographic Information Systems (GIS) | | | |
| 1 | Mohammad et al. (2017) | | | | | | |
| 2 | Ouhader & Kyal (2017) | | ✓ | | | | |
| 3 | Wang et al. (2018) | | ✓ | ✓ | | | |
| 4 | Veenstra et al. (2018) | | ✓ | | ✓ | | |
| 5 | Farahbakhsh (2019) | | | | | ✓ | ✓ |
| 6 | Sulemana et al. (2019) | | | | ✓ | | |
| 7 | Zandkarimkhani (2020) | | | | ✓ | | |
| 8 | Adeleke & Olukanni (2020) | | ✓ | | | | |
| 9 | Mamashli & Javadian (2021) | | | | ✓ | | |
| 10 | Penelitian Ini | | | | | | |

| No. | Nama | Tipe Fasilitas | Tipe Kendaraan | Batasan Model | | Output | | | | | Objek Penelitian | |
|-----|----------------------------|-------------------|----------------|--|----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|---------------|--------------------------|----------------|------------------------|---|
| | | | | Jumlah barang yang dapat dikelola secara optimal | Jumlah energi yang optimal | Keputusan pengalokasian fasilitas | Keputusan penggunaan kendaraan | Biaya Optimal | Jumlah Kendaraan Optimal | Rute Kendaraan | Penggunaan Bahan Bakar | |
| 1 | Mohammad et al. (2017) | Homogen | Homogen | ✓ | | | | ✓ | | | | Pengelolaan Sampah di Ahmadabad |
| 2 | Ouhader & Kyal (2017) | Homogen | Heterogen | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Distribusi di Urban Area |
| 3 | Wang et al. (2018) | Homogen | Homogen | ✓ | | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | Jaringan distribusi Perusahaan di Chongqing |
| 4 | Veenstra et al. (2018) | Homogen | Homogen | ✓ | | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | Alliance Healthcare Netherlands |
| 5 | Farahbakhsh (2019) | Homogen | Homogen | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | Pengelolaan Sampah di Iran |
| 6 | Sulemana et al. (2019) | Homogen | Homogen | ✓ | | | | ✓ | ✓ | | ✓ | Rute Pengangkutan Sampah di Ghana |
| 7 | Zandkarimkhani (2020) | Homogen | Homogen | ✓ | | ✓ | ✓ | | ✓ | | ✓ | Distribusi obat di Terhran |
| 8 | Adeleke & Olukanni (2020) | Literature Review | | | | | | | | | | Pengalokasian Fasilitas Penampungan Sampah |
| 9 | Mamashli & Javadian (2021) | Heterogen | Homogen | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | Pengelolaan Sampah di Iran |
| 10 | Penelitian Ini | Heterogen | Homogen | ✓ | | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | Pengelolaan Sampah di Yogyakarta |

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan diuraikan mengenai langkah-langkah dalam penelitian pemilihan alternatif penyaluran sampah botol plastik terbaik. Terdapat beberapa langkah dalam penelitian ini yang dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

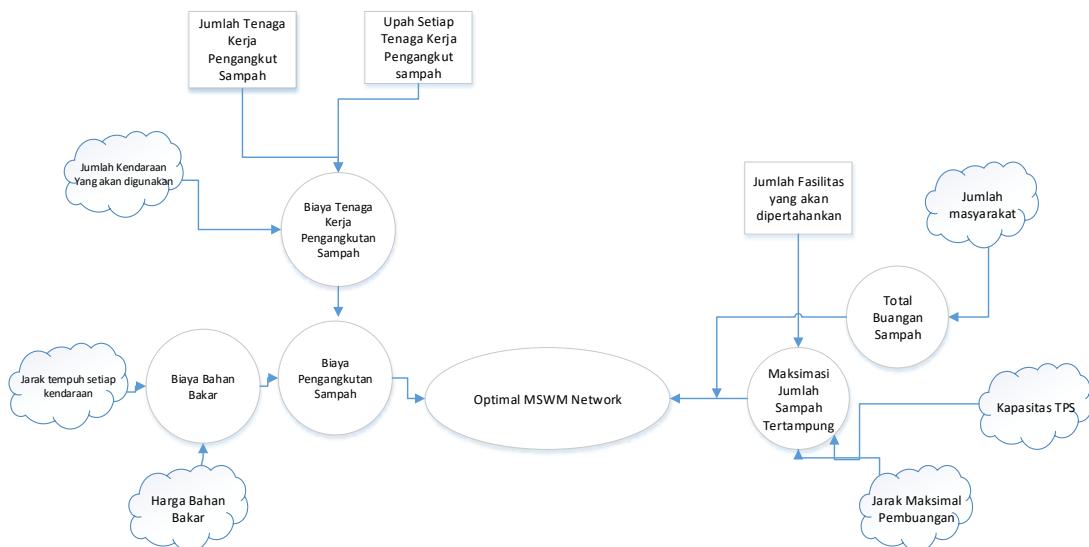
Beberapa tahapan yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam penelitian ini akan dijelaskan secara rinci dalam bab ini.

3.1 Identifikasi dan Studi Literatur

Pada tahap ini diawali dengan studi literatur mengumpulkan dan mempelajari beberapa referensi yang berkaitan dengan penelitian yang ingin dilakukan. Selanjutnya melakukan identifikasi untuk mengetahui masalah yang akan diselesaikan dalam penelitian. Identifikasi juga memiliki tujuan agar tidak terjadinya kerancuan.

3.2 Perancangan Sistem Yang Relevan

Langkah selanjutnya membuat sistem yang relevan dengan *influence diagram* untuk mengetahui keterkaitan input yang dapat dikendalikan, input yang tidak bisa dikendalikan, variable sistem dan output. Berdasarkan hasil identifikasi masalah diperoleh *influence diagaram* berikut ini .



Gambar 3.2. *Influence Diagram* Optimasi MSWM Network

Berdasarkan gambar 3.2 untuk mengoptimalkan MSWM network dipengaruhi biaya pengangkutan sampah yang perlu diminimalkan dan memaksimalkan jumlah sampah yang dapat ditampung sementara oleh fasilitas TPS yang juga terdiri dari beberapa input.

3.3 Pengumpulan Data

Tahapan selanjutnya adalah pengumpulan data. Data yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan data sekunder. Data sekunder merupakan data yang telah tersedia sehingga peneliti tidak perlu mencari secara pribadi. Metode pengumpulan data sekunder dengan mempelajari dan mengamati berbagai sumber dokumen dan data yang dimiliki oleh Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Yogyakarta dan Dinas Kependudukan.

Berikut daftar data sekunder yang diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup (DLH).

1. Data kapasitas kendaraan beserta jumlah pengangkutan yang dilakukan oleh setiap kendaraan pengangkut
2. Biaya bahan bakar untuk pengangkutan dengan kendaraan pengangkut.
3. Kapasitas fasilitas TPS untuk berbagai jenis.
4. Titik lokasi fasilitas TPS di Sektor Krasak Yogyakarta.
5. Jumlah tenaga kerja pengangkut dan pengelola sampah.
6. Waktu *loading* dan *unloading* sampah di TPS
7. Waktu *unloading* sampah di TPA

Sedangkan data dari Dinas Kependudukan adalah jumlah masyarakat di Kecamatan Gondokusuman untuk setiap kelurahan guna menentukan jumlah volume sampah dari sumber sampah.

3.4 Pengembangan Model

Tahap pengembangan model pada penelitian ini dilakukan dengan mengembangkan model matematis *Multi Objective Integer Linear Programming* dari penelitian Mamashli dan Javadian (2021). Pada Pengembangan model tersebut dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan yang sudah dipaparkan pada latar belakang penelitian. Model matematis diselesaikan dengan metode *fuzzy goal programming*. Berikut model yang telah dikembangkan dan akan digunakan untuk penyelesaian masalah dalam penelitian ini.

Model matematik pada penelitian ini menggunakan notasi sebagai berikut:

- I = Himpunan titik sumber sampah dari masyarakat dengan indeks i
 $\{I=1,2,3,\dots,i\}$
- K = Himpunan titik alternatif lokasi TPS berbentuk Depo dengan indeks
 $k \{k=1,2,3,\dots,k\}$
- L = Himpunan titik alternatif lokasi TPS berbentuk Landasan Kontainer
dengan indeks $l \{l=1,2,3,\dots,l\}$
- M = Himpunan titik alternatif lokasi TPS berbentuk TPSS dengan
indeks $m \{m=1,2,3,\dots,m\}$
- E = $\{(ka,kb,la,lb,ma,mb)/ka,kb,la,lb,ma,mb,d,b,s \in E, ka \neq kb, la \neq lb, \text{ dan}$
 $ma \neq mb\}$ = himpunan rusuk berarah
- C_k = Kapasitas lokasi Depo dengan indeks k (m^3/hari)
- C_l = Kapasitas lokasi Landasan Kontainer dengan indeks l (m^3/hari)
- C_m = Kapasitas lokasi TPSS dengan indeks m (m^3/hari)
- V_i = Volume sampah dari masyarakat dengan indeks i (m^3/hari)
- D_{ik} = Jarak tempuh antara titik sumber sampah dengan indeks i dengan
alternatif lokasi TPS dengan indeks k (m)
- D_{il} = Jarak tempuh antara titik sumber sampah dengan indeks i dengan
alternatif lokasi TPS dengan indeks l (m)
- D_{im} = Jarak tempuh antara titik sumber sampah dengan indeks i dengan
alternatif lokasi TPS dengan indeks m (m)
- D_{\max} = Jarak maksimal atau *distance coverage* (m)
- CB = Biaya tenaga kerja pengangkut sampah (Rupiah/jiwa)
- B_v = Jumlah tenaga kerja pengangkut sampah dengan indeks v (jiwa)
- C_{vt} = Kapasitas kendaraan pengangkut sampah dengan indeks v dalam trip
 t (m^3)
- V = Himpunan kendaraan dengan indeks $v \{v=1,2,3,\dots,v\}$
- T = Himpunan trip pengangkutan sampah tidak termasuk trip perjalanan

- TPA ke depot dengan indeks t $\{t=1,2,3,\dots,t-1\}$
- NV_v = Biaya bahan bakar kendaraan pada aktifitas pengangkutan sampah setiap kendaraan dengan indeks v (Rupiah)
- $TP_{ka,kb}$ = Waktu perjalanan dari fasilitas k ke fasilitas k lainnya (menit)
- $TP_{ka,lb}$ = Waktu perjalanan dari fasilitas k ke fasilitas l (menit)
- $TP_{ka,mb}$ = Waktu perjalanan dari fasilitas k ke fasilitas m (menit)
- $TP_{la,kb}$ = Waktu perjalanan dari fasilitas l ke fasilitas k (menit)
- $TP_{la,lb}$ = Waktu perjalanan dari fasilitas l ke fasilitas l lainnya (menit)
- $TP_{la,mb}$ = Waktu perjalanan dari fasilitas l ke fasilitas m (menit)
- $TP_{ma,kb}$ = Waktu perjalanan dari fasilitas m ke fasilitas k (menit)
- $TP_{ma,lb}$ = Waktu perjalanan dari fasilitas m ke fasilitas l (menit)
- $TP_{ma,mb}$ = Waktu perjalanan dari fasilitas m ke fasilitas m lainnya (menit)
- M_{vt} = Jumlah fasilitas k , l , dan m dilayani dalam satu trip t
- $TPBS$ = Waktu tempuh dari TPA ke Sektor (menit)
- $TPSB$ = Waktu tempuh dari Sektor ke TPA (menit)
- $TPBD$ = Waktu tempuh dari TPA ke Depot (menit)
- $TP_{d,ka}$ = Waktu perjalanan dari depot ke fasilitas k (menit)
- $TP_{d,la}$ = Waktu perjalanan dari depot ke fasilitas l (menit)
- $TP_{d,mb}$ = Waktu perjalanan dari depot ke fasilitas m (menit)
- BB = Biaya bahan bakar solar untuk setiap meter (rupiah/meter)
- K_v = Kecepatan kendaraan (m/menit)
- J_{mat} = Maksimal jumlah kendaraan yang mengunjungi ma dalam trip t
- J_{lat} = Maksimal jumlah kendaraan yang mengunjungi la dalam trip t
- J_{kat} = Maksimal jumlah kendaraan yang mengunjungi ka dalam trip t

Variabel keputusannya:

- A_{vt} = Jumlah sampah terangkut oleh kendaraan v dalam trip t
- X_v = (1, jika kendaraan v pada trip t melakukan pengangkutan sampah

- dan 0, jika sebaliknya)
- X_k = (1, jika fasilitas k menjadi lokasi penempatan sampah dan 0, jika sebaliknya)
- X_l = (1, jika fasilitas l menjadi lokasi penempatan sumber sampah dan 0, jika sebaliknya)
- X_m = (1, jika fasilitas m menjadi lokasi penempatan sampah sampah dan 0, jika sebaliknya)
- Y_{ik} = (1, jika sumber sampah i dapat dipenuhi oleh alternatif lokasi k dan 0, jika sumber sampah i tidak dapat dipenuhi oleh alternatif k)
- Y_{il} = (1, jika sumber sampah i dapat dipenuhi oleh alternatif lokasi l dan 0, jika sumber sampah i tidak dapat dipenuhi oleh alternatif l)
- Y_{im} = (1, jika sumber sampah i dapat dipenuhi oleh alternatif lokasi m dan 0, jika sumber sampah i tidak dapat dipenuhi oleh alternatif m)
- W_v = (1, jika kendaraan v mengangkut sampah dan 0, jika tidak digunakan untuk mengangkut sampah)
- Z_{katv} = (1, jika fasilitas penampungan sampah k dapat diangkut menggunakan kendaraan v pada trip t dan 0, jika tidak)
- Z_{latv} = (1, jika fasilitas penampungan sampah l dapat diangkut menggunakan kendaraan v pada trip t dan 0, jika tidak)
- Z_{matv} = (1, jika fasilitas penampungan sampah m dapat diangkut menggunakan kendaraan v pada trip t dan 0, jika tidak)
- $P_{d,ka,t,v}$ = (1, jika terdapat perjalanan dari depot ke fasilitas ka menggunakan kendaraan v pada trip t dan 0, jika tidak)
- $P_{d,la,t,v}$ = (1, jika terdapat perjalanan dari depot ke fasilitas la menggunakan kendaraan v pada trip t dan 0, jika tidak)
- $P_{d,ma,t,v}$ = (1, jika terdapat perjalanan dari depot ke fasilitas ma menggunakan kendaraan v pada trip t dan 0, jika tidak)

- $P_{ka,kb,t,v}$ = (1, jika terdapat perjalanan dari fasilitas ka ke fasilitas kb
lainnya menggunakan kendaraan v pada trip t dan
0, jika tidak)
- $P_{ka,lb,t,v}$ = (1, jika terdapat perjalanan dari fasilitas ka ke fasilitas lb
menggunakan kendaraan v pada trip t dan 0, jika tidak)
- $P_{ka,mb,t,v}$ = (1, jika terdapat perjalanan dari fasilitas ka ke fasilitas mb
menggunakan kendaraan v pada trip t dan 0, jika tidak)
- $P_{la,kb,t,v}$ = (1, jika terdapat perjalanan dari fasilitas la ke fasilitas kb
menggunakan kendaraan v pada trip t dan 0, jika tidak)
- $P_{la,lb,t,v}$ = (1, jika terdapat perjalanan dari fasilitas penampungan
sampah tipe la ke fasilitas lb lainnya menggunakan
kendaraan v pada trip t dan 0, jika tidak)
- $P_{la,mb,t,v}$ = (1, jika terdapat perjalanan dari fasilitas penampungan
sampah tipe la ke fasilitas mb menggunakan kendaraan v
pada trip t dan 0, jika tidak)
- $P_{ma,kb,t,v}$ = (1, jika terdapat perjalanan dari fasilitas penampungan
sampah tipe ma ke fasilitas kb menggunakan kendaraan v
pada trip t dan 0, jika tidak)
- $P_{ma,lb,t,v}$ = (1, jika terdapat perjalanan dari fasilitas penampungan
sampah tipe ma ke fasilitas lb menggunakan kendaraan v
pada trip t dan 0, jika tidak)
- $P_{ma,mb,t,v}$ = (1, jika terdapat perjalanan dari fasilitas penampungan
sampah tipe ma ke fasilitas mb lainnya menggunakan
kendaraan v pada trip t dan 0, jika tidak)
- $P_{d,ka,I,v}$ = (1, jika terdapat perjalanan dari depo ke fasilitas ka
menggunakan kendaraan v pada trip ke-1 dan 0, jika tidak)
- $P_{d,la,I,v}$ = (1, jika terdapat perjalanan dari depo ke fasilitas la

menggunakan kendaraan v pada trip ke-1 dan 0, jika tidak)
 $P_{d,ma,I,v} = (1, \text{ jika terdapat perjalanan dari depo ke fasilitas } ma$
 menggunakan kendaraan v pada trip ke-1 dan 0, jika tidak)

Fungsi Tujuan

$$\text{Max } \lambda \quad (3.1)$$

Batasan

$$\sum_v CB_B_v + \sum_v CN_v + (\bar{Z}_1 - Z_1^*)\lambda \leq \bar{Z}_1 \quad (3.2)$$

$$\sum_i \sum_k Y_{ik} + \sum_i \sum_l Y_{il} + \sum_i \sum_m Y_{im} - (Z_2^* - \bar{Z}_2)\lambda \geq \bar{Z}_2 \quad (3.3)$$

$$d_{max} X_k \geq D_{ik} Y_{ik} \quad \forall k \in K, i \in I \quad (3.4)$$

$$d_{max} X_l \geq D_{il} Y_{ik} \quad \forall l \in L, i \in I \quad (3.5)$$

$$d_{max} X_m \geq D_{im} Y_{ik} \quad \forall m \in M, i \in I \quad (3.6)$$

$$\sum_{k \in K} Y_{ik} + \sum_{l \in L} Y_{il} + \sum_{m \in M} Y_{im} \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (3.7)$$

$$\sum_{i \in I} V_i Y_{ik} \leq C_k X_k \quad \forall k \in K \quad (3.8)$$

$$\sum_{i \in I} V_i Y_{il} \leq C_l X_l \quad \forall l \in L \quad (3.9)$$

$$\sum_{i \in I} V_i Y_{im} \leq C_m X_m \quad \forall m \in M \quad (3.10)$$

$$\sum_k X_k \leq P_k \quad \forall k \in K \quad (3.11)$$

$$\sum_l X_l \leq P_l \quad \forall l \in L \quad (3.12)$$

$$\sum_m X_m \leq P_m \quad \forall m \in M \quad (3.13)$$

$$\sum_{t=1} \sum_d \sum_{ka} P_{dkatv} + \sum_{t=1} \sum_d \sum_{la} P_{dlatv} + \sum_{t=1} \sum_d \sum_{ma} P_{dmav} = 1 \quad \forall v \in V \quad (3.14)$$

$$Z_{katv} \geq P_{dkatv} \quad \forall ka \in Ka, v \in V, t = 1 \quad (3.15)$$

$$Z_{latv} \geq P_{dlatv} \quad \forall la \in La, v \in V, t = 1 \quad (3.16)$$

$$Z_{matv} \geq P_{dmav} \quad \forall ma \in Ma, v \in V, t = 1 \quad (3.17)$$

$$\begin{aligned} \sum_{ka} \sum_t Z_{katv} + \sum_{la} \sum_t Z_{latv} + \sum_{ma} \sum_t Z_{matv} &\geq \\ \sum_{ka} \sum_{t+1} Z_{katv} + \sum_{la} \sum_{t+1} Z_{latv} + \sum_{ma} \sum_{t+1} Z_{matv} & \forall v \in V \end{aligned} \quad (3.18)$$

$$A_{vt} \leq C_{vt} X_{vt} \quad \forall v \in V, t \in T \quad (3.19)$$

$$A_{vt} = \sum_{ka \in Ka} C_{ka} Z_{katv} + \sum_{la \in La} C_{la} Z_{latv} + \sum_{ma \in Ma} C_{ma} Z_{matv} \quad (3.20)$$

$$\sum_{kb} P_{ka,kb,t,v} + \sum_{lb} P_{ka,lb,t,v} + \sum_{mb} P_{ka,mb,t,v} \leq 1$$

$$\forall v \in V, ka \in Ka, ka \neq kb, t \in T \quad (3.21)$$

$$\begin{aligned} \sum_{kb} P_{la,kb,t,v} + \sum_{lb} P_{la,lb,t,v} + \sum_{mb} P_{la,mb,t,v} &\leq 1 \\ \forall v \in V, la \in La, la \neq lb, t \in T & \end{aligned} \quad (3.22)$$

$$\begin{aligned} \sum_{kb} P_{ma,kb,t,v} + \sum_{lb} P_{ma,lb,t,v} + \sum_{mb} P_{ma,mb,t,v} &\leq 1 \\ \forall v \in V, ma \in Ma, ma \neq mb, t \in T & \end{aligned} \quad (3.23)$$

$$\begin{aligned} \sum_{ka} P_{ka,kb,t,v} + \sum_{la} P_{la,kb,t,v} + \sum_{ma} P_{ma,kb,t,v} - \sum_{ka} P_{kb,ka,t,v} + \\ \sum_{la} P_{kb,la,t,v} + \sum_{ma} P_{kb,ma,t,v} &= 0 \\ \forall v \in V, kb \in Kb, kb \neq Kb, t \in T & \end{aligned} \quad (3.24)$$

$$\begin{aligned} \sum_{ka} P_{ka,lb,t,v} + \sum_{la} P_{la,lb,t,v} + \sum_{ma} P_{ma,lb,t,v} - \sum_{ka} P_{lb,ka,t,v} + \sum_{la} P_{lb,la,t,v} + \\ \sum_{ma} P_{lb,ma,t,v} &= 0 \\ \forall v \in V, lb \in Lb, lb \neq Lb, t \in T & \end{aligned} \quad (3.25)$$

$$\begin{aligned} \sum_{ka} P_{ka,mb,t,v} + \sum_{la} P_{la,mb,t,v} + \sum_{ma} P_{ma,mb,t,v} - \sum_{ka} P_{mb,ka,t,v} + \\ \sum_{la} P_{mb,la,t,v} + \sum_{ma} P_{mb,ma,t,v} &= 0 \\ \forall v \in V, mb \in Mb, mb \neq Mb, t \in T & \end{aligned} \quad (3.26)$$

$$Z_{katv} - Z_{kbtv} + P_{kakbtv} \leq 1 \quad \forall v \in V, ka \in Ka, kb \in Kb, ka \neq kb, t \in T \quad (3.27)$$

$$Z_{katv} - Z_{lbtv} + P_{kalbtv} \leq 1 \quad \forall v \in V, ka \in Ka, lb \in Lb, t \in T \quad (3.28)$$

$$Z_{katv} - Z_{mbtv} + P_{kambtv} \leq 1 \quad \forall v \in V, ka \in Ka, mb \in Mb, t \in T \quad (3.29)$$

$$Z_{latv} - Z_{lbtv} + P_{lalbtv} \leq 1 \quad \forall v \in V, la \in La, lb \in Lb, la \neq Lb, t \in T \quad (3.30)$$

$$Z_{latv} - Z_{kbtv} + P_{lakbtv} \leq 1 \quad \forall v \in V, la \in La, kb \in Kb, t \in T \quad (3.31)$$

$$Z_{latv} - Z_{mbtv} + P_{lambtv} \leq 1 \quad \forall v \in V, la \in La, mb \in Mb, t \in T \quad (3.32)$$

$$Z_{matv} - Z_{mbtv} + P_{mambtv} \leq 1 \quad \forall v \in V, ma \in Ma, mb \in Mb, ma \neq Mb, t \in T \quad (3.33)$$

$$Z_{matv} - Z_{kbtv} + P_{makbtv} \leq 1 \quad \forall v \in V, ma \in Ma, kb \in Kb, t \in T \quad (3.34)$$

$$Z_{matv} - Z_{lbtv} + P_{malbtv} \leq 1 \quad \forall v \in V, ma \in Ma, lb \in Lb, t \in T \quad (3.35)$$

$$-Z_{katv} - Z_{kbtv} + 2 \times P_{kakbtv} \leq 0 \quad \forall v \in V, ka \in Ka, kb \in Kb, ka \neq kb, t \in T \quad (3.36)$$

$$-Z_{katv} - Z_{lbtv} + 2 \times P_{kalbtv} \leq 0 \quad \forall v \in V, ka \in Ka, lb \in Lb, t \in T \quad (3.37)$$

$$-Z_{katv} - Z_{mbtv} + 2 \times P_{kambtv} \leq 0 \quad \forall v \in V, ka \in Ka, mb \in Mb, t \in T \quad (3.38)$$

$$-Z_{latv} - Z_{lbtv} + 2 \times P_{lalbtv} \leq 0 \quad \forall v \in V, la \in La, lb \in Lb, la \neq lb, t \in T \quad (3.39)$$

$$-Z_{latv} - Z_{kbtv} + 2 \times P_{lakbtv} \leq 0 \quad \forall v \in V, la \in La, kb \in Kb, t \in T \quad (3.40)$$

$$-Z_{latv} - Z_{mbtv} + 2 \times P_{lambtv} \leq 0 \quad \forall v \in V, la \in La, mb \in Mb, t \in T \quad (3.41)$$

$$-Z_{matv} - Z_{mbtv} + 2 \times P_{mambtv} \leq 0 \quad \forall v \in V, ma \in Ma, mb \in Mb, ma \neq mb, t \in T \quad (3.42)$$

$$-Z_{matv} - Z_{kbtv} + 2 \times P_{makbtv} \leq 0 \quad \forall v \in V, ma \in Ma, kb \in Kb, t \in T \quad (3.43)$$

$$-Z_{matv} - Z_{lbtv} + 2 \times P_{malbtv} \leq 0 \quad \forall v \in V, ma \in Ma, lb \in Lb, t \in T \quad (3.44)$$

$$\sum_t X_{vt} \geq W_v \quad \forall v \in V \quad (3.45)$$

$$\sum_v \sum_t Z_{katv} = \frac{C_{ka}}{C_{vt}} X_{ka} \quad \forall ka \in Ka, C_{ka} > C_{vt} \quad (3.46)$$

$$\sum_v \sum_t Z_{latv} = \frac{C_{la}}{C_{vt}} X_{la} \quad \forall la \in La, C_{la} > C_{vt} \quad (3.47)$$

$$\sum_v \sum_t Z_{matv} = \frac{C_{ma}}{C_{vt}} X_{ma} \quad \forall ma \in Ma, C_{ma} > C_{vt} \quad (3.48)$$

$$X_{ka} = X_{kb} \quad \forall ka \in Ka, ka = kb \quad (3.50)$$

$$X_{la} = X_{lb} \quad \forall la \in La, la = lb \quad (3.51)$$

$$X_{ma} = X_{mb} \quad \forall ma \in Ma, ma = mb \quad (3.52)$$

$$Z_{katv} = Z_{kbtv} \quad \forall ka \in Ka, ka = kb \quad (3.53)$$

$$Z_{latv} = Z_{lbtv} \quad \forall la \in La, la = lb \quad (3.54)$$

$$Z_{matv} = Z_{mbtv} \quad \forall ma \in Ma, ma = mb \quad (3.55)$$

$$\sum_v Z_{matv} \leq J_{mat} \quad \forall ma \in Ma, t \in T \quad (3.56)$$

$$\sum_v Z_{latv} \leq J_{lat} \quad \forall la \in La, t \in T \quad (3.57)$$

$$\sum_v Z_{katv} \leq J_{kat} \quad \forall ka \in Ka, t \in T \quad (3.58)$$

$$\sum_v W_v \leq V_{max} \quad (3.59)$$

$$\sum_{t=1} X_{vt} \leq 1 \quad \forall v \in V \quad (3.60)$$

$$TPSBT = \sum_v \sum_t TPSB \times X_{vt} \quad \forall v \in V \quad (3.61)$$

$$TPBST = \sum_v \sum_t TPBS \times X_{vt} \quad \forall v \in V, t \neq 1 \quad (3.62)$$

$$\text{Waktu pelayanan} = TS_{ka} \times Z_{katv} + TS_{la} \times Z_{latv} + TS_{ma} \times Z_{matv} \quad \forall v \in V \quad (3.63)$$

$$\text{Waktu berangkat} = TP_{dk} \times P_{dkatv} + TP_{dl} \times P_{dlatv} + TP_{dm} \times P_{dmatv} \quad \forall v \in V \quad (3.64)$$

$$\text{Waktu perjalanan} = TP_{kakb} \times P_{kakbtv} + TP_{kalb} \times P_{klbtv} + TP_{kamb} \times P_{kambtv} +$$

$$TP_{lakb} \times P_{lakbtv} + TP_{lalb} \times P_{lalbtv} + TP_{lamb} \times P_{lambtv} + TP_{makb} \times P_{makbtv} + TP_{malb} \times P_{malbtv} + TP_{mamb} \times P_{mambtv} \quad \forall v \in V \quad (3.65)$$

$$\text{Waktu perjalanan} + \text{Waktupelayanan} + \text{Waktuberangkat} + TPSBT + TPBST + TPBD \leq T_{max} \quad \forall v \in V \quad (3.66)$$

$$CNv = (\text{Waktu perjalanan} + \text{Waktu berangkat} + TPBD + TPSBT + TPBD) \times K_v \times$$

$$\text{BB} \quad \forall v \in V \quad (3.67)$$

Keputusan

$$X_k \{0,1\} \quad \forall k \in K \quad (3.68)$$

$$X_l \{0,1\} \quad \forall l \in L \quad (3.69)$$

$$X_m \{0,1\} \quad \forall m \in M \quad (3.70)$$

$$X_{vt} \{0,1\} \quad \forall v \in V, t \in T \quad (3.71)$$

$$Y_{ik} \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (3.72)$$

$$Y_{il} \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (3.73)$$

$$Y_{im} \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad (3.74)$$

$$W_v \{0,1\} \quad \forall v \in V \quad (3.75)$$

$$Z_{kv} \{0,1\} \quad \forall k \in K \quad (3.76)$$

$$Z_{lv} \{0,1\} \quad \forall l \in L \quad (3.77)$$

$$Z_{mv} \{0,1\} \quad \forall m \in M \quad (3.78)$$

$$P_{d,ka,v,t} \{0,1\} \quad \forall ka \in Ka \quad (3.79)$$

$$P_{d,la,v,t} \{0,1\} \quad \forall ka \in Ka \quad (3.80)$$

$$P_{d,ma,v,t} \{0,1\} \quad \forall ka \in Ka \quad (3.81)$$

$$P_{ka,kb,v,t} \{0,1\} \quad \forall ka \in Ka \quad (3.82)$$

$$P_{ka,lb,v,t} \{0,1\} \quad \forall ka \in Ka \quad (3.83)$$

$$P_{ka,mb,v,t} \{0,1\} \quad \forall ka \in Ka \quad (3.84)$$

$$P_{la,kb,v,t} \{0,1\} \quad \forall la \in La \quad (3.85)$$

$$P_{la,lb,v,t} \{0,1\} \quad \forall la \in La \quad (3.86)$$

$$P_{la,mb,v,t} \{0,1\} \quad \forall la \in La \quad (3.87)$$

$$P_{ma,kb,v,t} \{0,1\} \quad \forall ma \in Ma \quad (3.88)$$

$$P_{ma,lb,v,t} \{0,1\} \quad \forall ma \in Ma \quad (3.89)$$

$$P_{ma,mb,v,t} \{0,1\} \quad \forall ma \in Ma \quad (3.90)$$

$$P_{kb,ka,v,t} \{0,1\} \quad \forall kb \in Kb \quad (3.91)$$

$$P_{kb,la,v,t} \{0,1\} \quad \forall kb \in Kb \quad (3.92)$$

$$P_{kb,ma,v,t} \{0,1\} \quad \forall kb \in Kb \quad (3.93)$$

$$P_{lb,ka,v,t} \{0,1\} \quad \forall lb \in Lb \quad (3.94)$$

$$P_{lb,la,v,t} \{0,1\} \quad \forall lb \in Lb \quad (3.95)$$

$$P_{lb,ma,v,t} \{0,1\} \quad \forall lb \in Lb \quad (3.96)$$

$$P_{mb,ka,v,t} \{0,1\} \quad \forall mb \in Mb \quad (3.97)$$

$$P_{mb,la,v,t} \{0,1\} \quad \forall mb \in Mb \quad (3.98)$$

$$P_{mb,ma,v,t} \{0,1\} \quad \forall mb \in Mb \quad (3.99)$$

$$A_{vt} \geq 0 \text{ dan integer} \quad (3.100)$$

Model matematis ini fungsi tujuan yaitu persamaan (3.1) untuk emaksimalkan nilai keanggotaan *fuzzy* bagi setiap fungsi tujuan. Persamaan (3.2) meminimalkan biaya pengelolaan dan pengangutan sampah. Persamaan (3.3) memaksimalkan sampah yang dapat ditampung sementara di TPS dan diangkut oleh kendaraan. Jarak sumber sampah membuang ke fasilitas TPS tidak melebihi jarak maksimal membuang dari sumber sampah ke fasilitas TPS seperti pada persamaan (3.4) hingga (3.6). Setiap sumber sampah akan ditangani setidaknya oleh satu fasilitas TPS (3.7). Persamaan (3.8) hingga (3.10) menunjukkan volume sampah yang ditampung di TPS tidak boleh melebihi kapasitas TPS. Persamaan (3.11) hingga (3.13) menunjukkan jumlah fasilitas yang ingin dipertahankan. Setiap kendaraan pengangkut sampah mengawali keberangkatan dari depot ditunjukkan oleh persamaan (3.14) hingga (3.17). Persamaan (3.18) menunjukkan bahwa kendaraan akan melayani dari trip pertama. Persamaan (3.19) dan (3.20) menjelaskan bahwa volume sampah yang diangkut tidak akan melebihi kapasitas kendaraan dalam satu trip. Persamaan (3.21) hingga (3.23) menjelaskan bahwa maksimal perjalanan dari sebuah fasilitas jika fasilitas tersebut dilayani adalah satu. Persamaan (3.24) hingga (3.26) menunjukkan kontinuitas dimana setelah melayani fasilitas tersebut kendaraan akan meninggalkannya. Persamaan (3.27) hingga (3.44) menunjukkan linearisasi dari pembuatan rute dimana kendaraan akan bergerak menuju titik fasilitas lain yang dilayani oleh kendaraan dan rute yang sama. Persamaan (3.45) hingga (3.46) menunjukkan bahwa jika pelayanan sebuah kendaraan dalam sebuah trip terbentuk jika kendaraan digunakan. Batasan (3.47) hingga (3.49) menunjukkan *split delivery* dimana TPS akan dilayani lebih dari satu kali ketika kapasitasnya melebihi kapasitas kendaraan sehingga dalam satu kali pelayanan akan memenuhi kapasitas kendaraan. Batasan (3.50) hingga (3.55) merupakan sebuah aturan dimana pada TPS yang sama dan dipertahankan baik menjadi asal atau tujuan akan dilayani oleh kendaraan pada trip yang sama. Batasan (3.56) hingga (3.58) adanya batasan jumlah kendaraan yang mengunjungi sebuah TPS pada trip yang sama jika kendaraan tersebut dilayani oleh kendaraan berbeda pada

trip yang sama disebabkan karena kapasitasnya melebihi kapasitas kendaraan. Batasan (3.59) hingga (3.60) menunjukkan batasan kemungkinan kendaraan untuk tidak digunakan seluruhnya. Persamaan (3.61) hingga (3.66) menunjukkan batasan waktu yang tidak boleh melebihi jam kerja kendaraan. Persamaan (3.67) menunjukkan bahwa biaya perjalanan berasal dari aktifitas. Keputusan dalam model matematis ini ditunjukkan dari persamaan (3.68) hingga (3.100).

Penelitian ini menyesuaikan pada fungsi tujuan sesuai kondisi pengelolaan sampah di Sektor Krasak Yogyakarta serta mengembangkan beberapa batasan yaitu adanya pengaruh jarak dalam penentuan sarana pembuangan sampah oleh masyarakat, kendaraan tidak hanya mengangkut dari satu jenis fasilitas penampungan sementara sebelum dibawa ke pembuangan akhir.

3.5 Verifikasi dan Validasi Data

Verifikasi adalah proses pengecekan kelogisan model. Pengecekan akan dilakukan dengan memeriksa ulang logika model dan konsistensi matematik. Sedangkan validasi dilakukan dengan memeriksa kelogisan dan kesesuaiannya dengan kondisi nyata. Validasi dilakukan dengan menggunakan contoh riil permasalahan dengan data hipotetik.

3.6 Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *fuzzy goal programming* dengan karakteristik model MOILP yang mengacu pada penelitian (Mamashli dan Javadian, 2021) dengan *software* LINGO. Pengolahan data dengan model yang sudah dikembangkan tersebut dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan yang sudah dipaparkan pada latar belakang penelitian.

3.7 Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas merupakan analisis yang dilakukan untuk mengetahui akibat dari perubahan parameter-parameter terhadap perubahan kinerja sebuah sistem.

Analisis sensitivitas dapat melihat sebuah model sensitif terhadap beberapa parameter seperti kapasitas fasilitas kendaraan, kapasitas TPS, dan volume sampah.

3.8 Analisis Hasil

Analisis merupakan tahapan eksplorasi keseluruhan hasil rancangan pada tahapan-tahapan sebelumnya. *Output* dari kegiatan ini dititikberatkan pada pengoptimalan jaringan MSWM berupa biaya pengelolaan sampah yang optimal, kendaraan yang diperlukan untuk pengangkutan sampah dan lokasi TPS yang digunakan untuk menampung sementara sampah dengan mempertimbangkan sampah yang dapat ditampung oleh fasilitas pengampungan sementara sehingga dapat menjadi saran bagi DLH untuk merencanakan strategi dan aktifitas operasionalnya dalam pengangkutan dan pengelolaan sampah. Kelemahan-kelemahan dari model akan dielaborasi untuk memberikan landasan baik bagi penggunaan hasil rancangan maupun bagi penelitian lanjutan.

3.9 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran merupakan penutup dari keseluruhan kegiatan penelitian. Kesimpulan adalah pengecekan apakah tujuan penelitian sudah terjawab oleh model sistem yang dikembangkan serta bagian dari sasaran awal yang belum tercapai dan alasan ketidaktercapaiannya. Saran berisi usulan baik untuk implementasi hasil penelitian maupun bagi penelitian lanjutan yang merupakan pengembangan dari penelitian ini.

BAB IV

PENGEMBANGAN MODEL

Bab ini akan membahas mengenai gambaran umum Dinas Lingkungan Hidup sebagai pengelola aktifitas penanganan sampah padat yang digunakan pada penelitian ini beserta pengembangan model matematis yang digunakan dalam penelitian ini.

4.1 Gambaran Umum Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta

Pada penelitian ini dilakukan pengamatan terhadap aktifitas pengelolaan dan pengangkutan sampah di salah satu Sektor pengelolaan sampah di Kota Yogyakarta yang dikelola oleh Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta.

4.1.1 Profil Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta

Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta merupakan dinas pemerintah Kota Yogyakarta yang menangani bidang penataan dan pengendalian dampak lingkungan, bidang pengembangan kapasitas lingkungan hidup, bidang ruang terbuka hijau publik dan bidang pengelolaan persampahan. DLH Kota Yogyakarta memiliki sasaran mengendalikan pencemaran dan kerusakan lingkungan hidup, meningkatkan luasan Ruang Terbuka Hijau (RTH) Publik, dan meningkatkan kualitas tata kelola kebersihan dan persampahan. Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta dalam menjalankan tugasnya memiliki visi “Sebagai Institusi yang handal dalam pengelolaan lingkungan hidup untuk mewujudkan masyarakat Kota Yogyakarta yang berbudaya dan berwawasan lingkungan”. Sedangkan misi dari DLH Kota Yogyakarta adalah sebagai berikut.

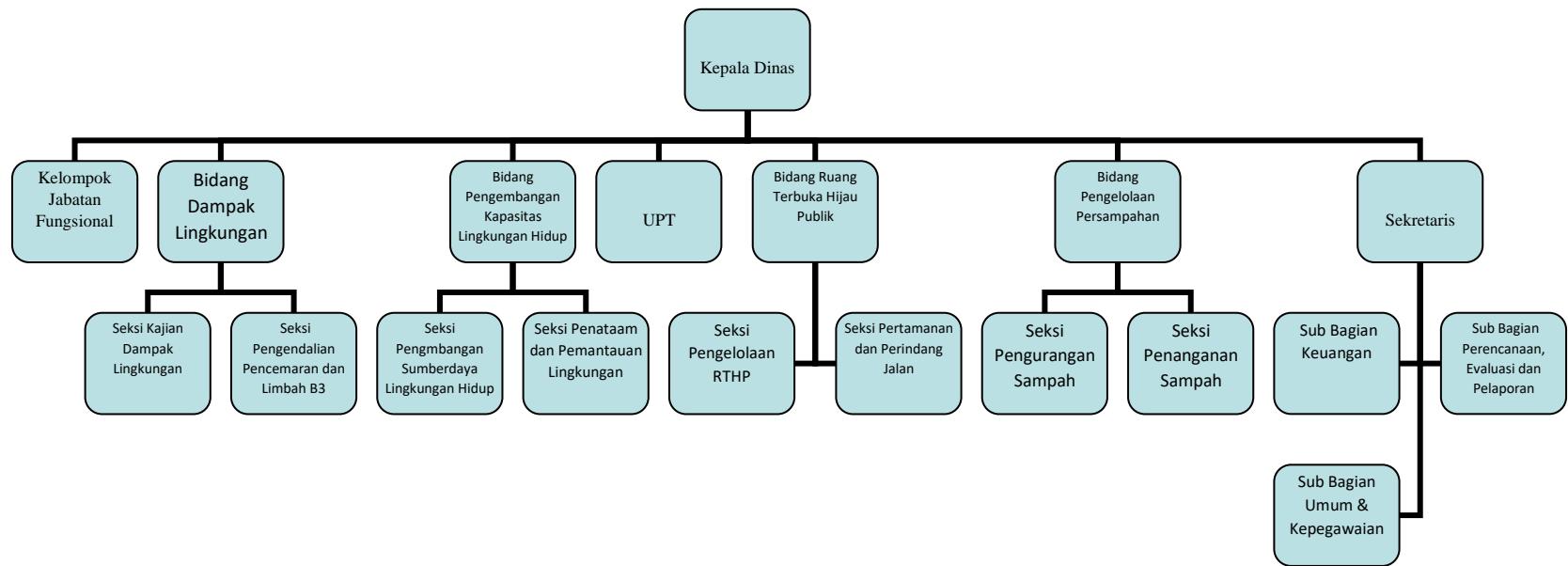
1. Mewujudkan peningkatan kualitas lingkungan dalam rangka pelestarian fungsi lingkungan hidup dengan mengikutsertakan dunia usaha, masyarakat dan sekolah dalam pengelolaan lingkungan.
2. Mewujudkan Ruang Terbuka Hijau kawasan perkotaan yang memenuhi fungsi ekologis, fungsi estetis, fungsi sosial dan nyaman.
3. Mewujudkan tatakelola kebersihan dan pengelolaan persampahan yang berkualitas.

Selain memiliki visi dan misi, Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta memiliki beberapa tujuan yaitu :

1. Meningkatkan pengawasan dan pemulihan kualitas lingkungan hidup sesuai daya dukung dan daya tampung lingkungan dalam rangka pelestarian lingkungan hidup.
2. Mengembangkan kapasitas sumber daya lingkungan hidup secara optimal.
3. Meningkatkan penyediaan dan pengelolaan taman kota dan perindangan jalan.
4. Meningkatkan kebersihan kota dan kinerja pengelolaan sampah.

4.1.2 Struktur Organisasi Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta

Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta dibentuk atas dasar hukum PERWALI Kota Yogyakarta Nomor 72 Tahun 2016 tentang Susunan Organisasi, Kedudukan, Tugas, Fungsi dan Tata Kerja Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta. Struktur organisasi Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Struktur Organisasi Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta

Adapun rincian tugas Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta sesuai dengan pasal 38 Peraturan Daerah Kota Yogyakarta Nomor 9 Tahun 2008 tentang pembentukan, susunan, kedudukan dan tugas pokok Lembaga Teknis Daerah (Berita Daerah Kota Yogyakarta Tahun 2008 No.74 Seri D) adalah sebagai berikut.

1. Kepala Dinas Lingkungan Hidup

Kepala Dinas Lingkungan Hidup memiliki tugas menjadi pemimpin dalam organisasi Dinas Lingkungan Hidup yang memiliki tanggung jawab untuk memimpin dan mengkoordinasikan bawahannya. Selain itu juga memberikan bimbingan dan petunjuk dalam pelaksanaan tugas bawahannya. Kepala Dinas Lingkungan Hidup berkedudukan dibawah dan bertanggung jawab kepada Walikota melalui sekretaris daerah.

2. Sekretariat

Sekretariat memiliki tugas melaksanakan penyusunan program, pengelolaan data dan sistem informasi, ketatausahaan, monitoring, evaluasi dan pelaporan dinas.

a. Sub Bagian Umum dan Kepegawaian

Menyusun rencana operasional kegiatan Sub Bagian Umum dan Kepegawaian berdasarkan hasil evaluasi kegiatan dan peraturan perundang-undangan. Selain itu, Sub Bagian Umum Dan Kepegawaian mengkaji peraturan perundang-undangan di bidang administrasi umum dan kepegawaian serta regulasi sektoral terkait lainnya guna mendukung kelancaran pelaksanaan tugas.

b. Sub Bagian Keuangan

Sub Bagian Keuangan bertugas untuk mengelola anggaran, aktifitas pembayaran hingga penggajian karyawan dalam Sistem Informasi Keuangan.

c. Sub Bagian Perencanaan, Evaluasi dan Pelaporan

Menyiapkan bahan penyusunan dokumen perencanaan, pengendalian, evaluasi dan pelaporan dengan masing-masing unsur organisasi di lingkungan Dinas dalam rangka perencanaan, pelaksanaan, pengendalian, evaluasi dan pelaporan program, kegiatan dan anggaran Dinas. Selain itu, sub bagian ini menyiapkan bahan koordinasi hingga petunjuk teknis kebutuhan, perumusan sistem dan prosedur, tata hubungan kerja, serta permasalahan yang berkaitan dengan organisasi dan tatalaksana

3. Bidang Pengelolaan Persampahan

Bidang Pengelolaan Persampahan merumuskan program kerja berdasarkan hasil evaluasi program dan kegiatan tahun sebelumnya serta peraturan perundang-undangan. Selain itu sub bidang ini melakukan pengembangan investasi dalam pengelolaan sampah dan menjalin kerjasama dengan kabupaten/kota lain dan kemitraan dengan badan usaha pengelola sampah dalam menyelenggarakan pengelolaan sampah.

a. Seksi Pengurangan Sampah

Seksi ini memiliki tugas melaksanakan pembinaan penggunaan bahan baku produksi dan kemasan yang mampu diurai oleh alam, menyediakan fasilitas pendaur ulangan sampah, memberikan pembinaaan pemanfaatan kembali sampah dari produk dan kemasan produk dan elaksanakan pengadaan dan penerapan teknologi baru untuk pengurangan sampah.

b. Seksi Penanganan Sampah

Berbeda dengan seksi pengurangan sampah, seksi ini menyediakan sarana prasarana penanganan sampah, mengevaluasi pihak ketiga yang terlibat dalam pengelolaan sampah.

4. Bidang Ruang Terbuka Hijau Publik

Bidang ini merumuskan program kerja Bidang Ruang Terbuka Hijau Publik berdasarkan hasil evaluasi program dan kegiatan tahun sebelumnya serta peraturan perundang-undangan. Selain itu, bidang ini menyelenggarakan koordinasi program kerja dengan Sekretaris dan Kepala Bidang di lingkungan Dinas maupun SKPD lain baik secara langsung maupun tidak langsung untuk mendapatkan informasi, masukan, serta untuk mengevaluasi permasalahan agar diperoleh hasil kerja yang optimal.

a. Seksi Pengelolaan RTHP

Seksi ini mengelola, mengkaji, memonitoring pembangunan dan mengembangkan Pengelolaan Ruang Terbuka Hijau Publik (RTHP) dan Keanekaragaman Hayati dan Taman Hutan Raya (Tahura).

b. Seksi Pertamanan dan Perindangan Jalan

Seksi Pertamanan dan Perindangan Jalan melaksanakan perencanaan pelaksanaan, pengendalian/monitoring dan pengawasan serta evaluasi Pemeliharaan Pertamanan dan Perindang Jalan meliputi taman kota, pot taman, pergola, elemen taman dan pohon perindang jalan.

5. Bidang Pengembangan Kapasitas Lingkungan Hidup

Bidang ini menyelenggarakan koordinasi program kerja dengan Sekretaris dan Kepala Bidang di lingkungan Dinas maupun SKPD lain baik secara langsung maupun tidak langsung untuk mendapatkan informasi, masukan, serta untuk mengevaluasi permasalahan agar diperoleh hasil kerja yang optimal. Selain itu, bidang ini mempelajari dan mengkaji peraturan perundang-undangan bidang perijinan lingkungan, perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup serta

regulasi terkait lainnya guna mendukung kelancaran pelaksanaan tugas.

a. Seksi Sumberdaya Lingkungan Hidup

Seksi ini mengembangkan kapasitas masyarakat yang peduli lingkungan hidup dengan program kepedulian di masyarakat dan dunia pendidikan yaitu sekolah-sekolah dan melaksanakan penyusunan kebijakan serta mengidentifikasi keberadaan Masyarakat Hukum Adat (MHA)/kearifan lokal di daerah.

b. Seksi Penantaan dan Pemantauan Lingkungan

Tugas pada seksi ini adalah melaksanakan fungsi pemantauan kualitas lingkungan hidup, air dan udara serta mengembangkan, menindaklanjuti pengaduan atas pencemaran lingkungan.

6. Bidang Penataan Dan Pengendalian Dampak Lingkungan

Bidang ini menyelenggarakan koordinasi penyusunan, pemantauan dan evaluasi Status Lingkungan Hidup Daerah, Indeks Kualitas Lingkungan Hidup, Neraca Sumber Daya Alam (NSDA) dan Lingkungan Hidup (LH). Selain itu bidang ini mengelola dokumen tentang lingkungan hidup dan perizinan teramsuk perizinan limbah B3.

a. Seksi Kajian Dampak Lingkungan

Seksi ini melaksanakan penyusunan, pemantauan dan evaluasi pelaksanaan Rencana Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (RPPLH), Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS), Indeks Kualitas Lingkungan Hidup, Neraca Sumber Daya Alam dan Lingkungan Hidup.

b. Seksi Pengendalian Pencemaran dan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)

Seksi ini melaksanakan program dan kegiatan Pengendalian Pencemaran dan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) dengan menyiapkan bahan kebijakan, bimbingan dan pembinaan,

petunjuk teknis dan naskah dinas yang berkaitan dengan Pengendalian Pencemaran dan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3).

4.1.3 Permasalahan Pada Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta

Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta lebih tepatnya seksi penanganan sampah memiliki permasalahan tentang aduan masyarakat di Kecamatan Gondokusuman tentang keberadaan fasilitas TPS yang terdiri dari depo, landasan container dan TPS yang berukuran kecil dianggap menganggu tetapi dibutuhkan masyarakat untuk menampung sampah rumah tangga yang dihasilkan serta berdampak pada aktifitas routing. Oleh sebab itu, Dinas Lingkungan Hidup ingin mengevaluasi untuk jumlah sampah yang dapat ditampung secara maksimal ketika hanya akan mempertahankan TPS yang memiliki kapasitas yang cukup besar serta aktifitas pengangkutan sampahnya di Sektor Krasak dilakukan dengan kendaraan berkapasitas $6m^3$. Pengangkutan sampah di Sektor Krasak menggunakan sistem container tetap dimana kendaraan akan berangkat dari DLH menuju ke sektor yang sudah ditugaskan lalu mengangkut sampah hingga memenuhi kapasitasnya. Setelah penuh sampah dibawa ke TPA Piyungan dan kendaraan kembali ke sektor untuk mengangkut sampah kembali, aktifitas tersebut berulang hingga jam kerja selesai yaitu selama 7 jam sejak pukul 06.00 WIB.

4.2 Pengembangan Model Fuzzy Goal Programming

Pengembangan model fuzzy goal programming mengacu pada beberapa penelitian terdahulu yaitu (Zimmermann, 1978; Angelelli dan Speranza, 2002), (Li et al., 2004; Alsalloum dan Rand, 2006; Lei et al., 2006; Azi et al., 2007; Daskin, 2008; Shuib dan Zaharudin, 2011; Markov, 2015; Biswas dan De, 2016;

Cattaruzza et al., 2016; Ouhader & Kyal, 2017; Chauhan et al., 2019; Mamashli dan Javadian, 2021).

4.2.1 Notasi Matematis

- I = Himpunan titik sumber sampah dari masyarakat dengan indeks $i \{I=1,2,3,\dots,i\}$
- K = Himpunan titik alternatif lokasi TPS berbentuk Depo dengan indeks $k \{k=1,2,3,\dots,k\}$
- L = Himpunan titik alternatif lokasi TPS berbentuk Landasan Kontainer dengan indeks $l \{l=1,2,3,\dots,l\}$
- M = Himpunan titik alternatif lokasi TPS berbentuk TPSS dengan indeks $m \{m=1,2,3,\dots,m\}$
- E = $\{(ka, kb, la, lb, ma, mb) | ka, kb, la, lb, ma, mb, d, b, s \in E, ka \neq kb, la \neq lb, \text{ dan } ma \neq mb\}$ = himpunan rusuk berarah
- C_k = Kapasitas lokasi Depo dengan indeks k (m^3/hari)
- C_l = Kapasitas lokasi Landasan Kontainer dengan indeks l (m^3/hari)
- C_m = Kapasitas lokasi TPSS dengan indeks m (m^3/hari)
- V_i = Volume sampah dari masyarakat dengan indeks i (m^3/hari)
- D_{ik} = Jarak tempuh antara titik sumber sampah dengan indeks i dengan alternatif lokasi TPS dengan indeks k (m)
- D_{il} = Jarak tempuh antara titik sumber sampah dengan indeks i dengan alternatif lokasi TPS dengan indeks l (m)
- D_{im} = Jarak tempuh antara titik sumber sampah dengan indeks i dengan alternatif lokasi TPS dengan indeks m (m)
- D_{\max} = Jarak maksimal atau *distance coverage* (m)
- CB = Biaya tenaga kerja pengangkut sampah (Rupiah/jiwa)

- B_v = Jumlah tenaga kerja pengangkut sampah dengan indeks v
 (jiwa)
- C_{vt} = Kapasitas kendaraan pengangkut sampah dengan indeks v
 dalam trip t (m^3)
- V = Himpunan kendaraan dengan indeks $v \{v=1,2,3...,v\}$
- T = Himpunan trip pengangkutan sampah tidak termasuk trip
 perjalanan TPA ke depot dengan indeks $t \{t=1,2,3...,t-1\}$
- NV_v = Biaya bahan bakar kendaraan pada aktifitas pengangkutan
 sampah setiap kendaraan dengan indeks v (Rupiah)
- $TP_{ka,kb}$ = Waktu perjalanan dari fasilitas ka ke fasilitas kb lainnya
 (menit)
- $TP_{ka,lb}$ = Waktu perjalanan dari fasilitas ka ke fasilitas lb (menit)
- $TP_{ka,mb}$ = Waktu perjalanan dari fasilitas ka ke fasilitas mb (menit)
- $TP_{la,kb}$ = Waktu perjalanan dari fasilitas la ke fasilitas kb (menit)
- $TP_{la,lb}$ = Waktu perjalanan dari fasilitas la ke fasilitas lb lainnya
 (menit)
- $TP_{la,mb}$ = Waktu perjalanan dari fasilitas la ke fasilitas mb (menit)
- $TP_{ma,kb}$ = Waktu perjalanan dari fasilitas ma ke fasilitas kb (menit)
- $TP_{ma,lb}$ = Waktu perjalanan dari fasilitas ma ke fasilitas lb (menit)
- $TP_{ma,mb}$ = Waktu perjalanan dari fasilitas ma ke fasilitas mb lainnya
 (menit)
- M_{vt} = Jumlah fasilitas k , l , dan m dilayani dalam satu trip t
- $TPBS$ = Waktu tempuh dari TPA ke Sektor (menit)
- $TPSB$ = Waktu tempuh dari Sektor ke TPA (menit)
- $TPBD$ = Waktu tempuh dari TPA ke Depot (menit)
- $TP_{d,ka}$ = Waktu perjalanan dari depot ke fasilitas ka (menit)
- $TP_{d,la}$ = Waktu perjalanan dari depot ke fasilitas la (menit)
- $TP_{d,mb}$ = Waktu perjalanan dari depot ke fasilitas mb (menit)

- BB = Biaya bahan bakar solar untuk setiap meter (rupiah/meter)
 K_v = Kecepatan kendaraan (m/menit)
 J_{mat} = Maksimal jumlah kendaraan yang mengunjungi ma dalam trip t
 J_{lat} = Maksimal jumlah kendaraan yang mengunjungi la dalam trip t
 J_{kat} = Maksimal jumlah kendaraan yang mengunjungi ka dalam trip t

Variabel keputusannya:

- A_{vt} = Jumlah sampah terangkut oleh kendaraan v dalam trip t
 X_{vt} = (1, jika kendaraan v pada trip t melakukan pengangkutan sampah dan 0, jika sebaliknya)
 X_k = (1, jika fasilitas k menjadi lokasi penempatan sampah dan 0, jika sebaliknya)
 X_l = (1, jika fasilitas l menjadi lokasi penempatan sumber sampah dan 0, jika sebaliknya)
 X_m = (1, jika fasilitas m menjadi lokasi penempatan sampah sampah dan 0, jika sebaliknya)
 Y_{ik} = (1, jika sumber sampah i dapat dipenuhi oleh alternatif lokasi k dan 0, jika sumber sampah i tidak dapat dipenuhi oleh alternatif k)
 Y_{il} = (1, jika sumber sampah i dapat dipenuhi oleh alternatif lokasi l dan 0, jika sumber sampah i tidak dapat dipenuhi oleh alternatif l)
 Y_{im} = (1, jika sumber sampah i dapat dipenuhi oleh alternatif lokasi m dan \0, jika sumber sampah i tidak dapat dipenuhi oleh alternatif m)

$W_v = (1, \text{ jika kendaraan } v \text{ mengangkut sampah dan } 0, \text{ jika tidak digunakan untuk mengangkut sampah})$

$Z_{katv} = (1, \text{ jika fasilitas penampungan sampah } k \text{ dapat diangkut menggunakan kendaraan } v \text{ pada trip } t \text{ dan } 0, \text{ jika tidak})$

$Z_{latv} = (1, \text{ jika fasilitas penampungan sampah } l \text{ dapat diangkut menggunakan kendaraan } v \text{ pada trip } t \text{ dan } 0, \text{ jika tidak})$

$Z_{matv} = (1, \text{ jika fasilitas penampungan sampah } m \text{ dapat diangkut menggunakan kendaraan } v \text{ pada trip } t \text{ dan } 0, \text{ jika tidak})$

$P_{d,ka,t,v} = (1, \text{ jika terdapat perjalanan dari depot ke fasilitas } ka \text{ menggunakan kendaraan } v \text{ pada trip } t \text{ dan } 0, \text{ jika tidak})$

$P_{d,la,t,v} = (1, \text{ jika terdapat perjalanan dari depot ke fasilitas } la \text{ menggunakan kendaraan } v \text{ pada trip } t \text{ dan } 0, \text{ jika tidak})$

$P_{d,ma,t,v} = (1, \text{ jika terdapat perjalanan dari depot ke fasilitas } ma \text{ menggunakan kendaraan } v \text{ pada trip } t \text{ dan } 0, \text{ jika tidak})$

$P_{ka,kb,t,v} = (1, \text{ jika terdapat perjalanan dari fasilitas } ka \text{ ke fasilitas } kb \text{ lainnya menggunakan kendaraan } v \text{ pada trip } t \text{ dan } 0, \text{ jika tidak})$

$P_{ka,lb,t,v} = (1, \text{ jika terdapat perjalanan dari fasilitas } ka \text{ ke fasilitas } lb \text{ menggunakan kendaraan } v \text{ pada trip } t \text{ dan } 0, \text{ jika tidak})$

$P_{ka,mb,t,v} = (1, \text{ jika terdapat perjalanan dari fasilitas } ka \text{ ke fasilitas } mb \text{ menggunakan kendaraan } v \text{ pada trip } t \text{ dan } 0, \text{ jika tidak})$

$P_{la,kb,t,v} = (1, \text{ jika terdapat perjalanan dari fasilitas } la \text{ ke fasilitas } kb \text{ menggunakan kendaraan } v \text{ pada trip } t \text{ dan } 0, \text{ jika tidak})$

$P_{la,lb,t,v} = (1, \text{ jika terdapat perjalanan dari fasilitas penampungan sampah tipe } la \text{ ke fasilitas } lb \text{ lainnya menggunakan}$

kendaraan v pada trip t dan 0, jika tidak)

$P_{la,mb,t,v}$ = (1, jika terdapat perjalanan dari fasilitas penampungan sampah tipe la ke fasilitas mb menggunakan kendaraan v pada trip t dan 0, jika tidak)

$P_{ma,kb,t,v}$ = (1, jika terdapat perjalanan dari fasilitas penampungan sampah tipe ma ke fasilitas kb menggunakan kendaraan v pada trip t dan 0, jika tidak)

$P_{ma,lb,t,v}$ = (1, jika terdapat perjalanan dari fasilitas penampungan sampah tipe ma ke fasilitas lb menggunakan kendaraan v pada trip t dan 0, jika tidak)

$P_{ma,mb,t,v}$ = (1, jika terdapat perjalanan dari fasilitas penampungan sampah tipe ma ke fasilitas mb lainnya menggunakan kendaraan v pada trip t dan 0, jika tidak)

$P_{d,ka,I,v}$ = (1, jika terdapat perjalanan dari depo ke fasilitas ka menggunakan kendaraan v pada trip ke-1 dan 0, jika tidak)

$P_{d,la,I,v}$ = (1, jika terdapat perjalanan dari depo ke fasilitas la menggunakan kendaraan v pada trip ke-1 dan 0, jika tidak)

$P_{d,ma,I,v}$ = (1, jika terdapat perjalanan dari depo ke fasilitas ma menggunakan kendaraan v pada trip ke-1 dan 0, jika tidak)

4.2.2 Pembentukan Fungsi Tujuan

Tujuan pada model matematis ini adalah meminimalkan biaya pengangkutan sampah dan memaksimalkan jumlah sampah yang dapat ditampung oleh TPS sehingga persamaan fungsi tujuannya adalah sebagai berikut.

Minimasi biaya

$$\text{Min } Z_1 = \sum_v CB \cdot B_v \cdot W_v + \sum_v CN_v \quad (4.1)$$

Maksimasi jumlah sampah yang dapat ditampung oleh TPS

$$\text{Max } Z_2 = \sum_i \sum_k Y_{ik} + \sum_i \sum_l Y_{il} + \sum_i \sum_m Y_{im} \quad (4.2)$$

Menurut (Chang, 2007) model matematis yang memiliki fungsi tujuan lebih dari satu dapat diselesaikan dengan goal programming, sehingga persamaan fungsi tujuan berubah dan perlu menambahkan batasan menjadi seperti berikut.

$$\text{Min } d_1^+ + d_2^-$$

$$\sum_v CB \cdot B_v \cdot W_v + \sum_v CN_v + d_1^- - d_1^+ = g_1 \quad (4.3)$$

$$\sum_i \sum_k Y_{ik} + \sum_i \sum_l Y_{il} + \sum_i \sum_m Y_{im} + d_2^- - d_2^+ = g_2 \quad (4.4)$$

Pada goal programming konvensional, *decision maker* mengasumsikan dapat menentukan nilai tujuan secara akurat. Berbeda pada kondisi nyata, dalam pengambilan keputusan pasti terjadi penyimpangan sehingga tingkat aspirasi tidak mungkin dapat dinyatakan dengan tepat. Berdasarkan hal tersebut, model dapat diubah menjadi *fuzzy goal programming*. Pengembangan *fuzzy goal programming* mengembangkan dari model matematis penelitian terdahulu yaitu (Zimmermann, 1978; Li et al., 2004; Biswas dan De, 2016; Mamashli & Javadian, 2021).

Menurut Li et al. (2004), *fuzzy goal programming* dapat diformulasikan sebagai berikut:

Jika didefinisikan $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T \in R^n$ sebagai vektor variabel keputusan sedangkan $f(x) = (f_1(x), \dots, f_m(x))$ merupakan fungsi tujuan dengan sistem kendala $G(x)$. Jika pengambil keputusan menginginkan batasan f_i^* , ($i=1, 2, \dots, m$) untuk setiap fungsi tujuan yang memenuhi kendala linear $G(x)$. Maka sesuai himpunan *fuzzy*, fungsi

keanggotaannya dapat didefinisikan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Nyatakan

$$\text{Max } f_i(x), i=1,2,\dots,m$$

Dengan kendala $x \in G(x) \in R^n$ dimisalkan hasil berupa x_j^* ,

$(j=1,2,\dots,n)$ adalah solusi optimal pada fungsi tujuan $f_i(x)$, ambil

$$f_i(x_j^*) = f_{imax}$$

2. Cari $\min f_i(x_j^*) = f_{imin}$ untuk setiap i

3. Sehingga fungsi keanggotaan $\mu_{f_i}(x)$, $(i=1,2,\dots,m)$ adalah sebagai

berikut

$$\mu_{f_i}(x) = \begin{cases} \frac{f_{imax} - f_i(x)}{f_{imax} - f_i^*} & f_i^* < f_i(x) \leq f_{imax} \\ 1 & f_i(x) = f_i^* \\ \frac{f_i(x) - f_{imax}}{f_i^* - f_{imin}} & f_{imin} \leq f_i(x) < f_i^* \end{cases} \quad (4.5)$$

Kemudian definisikan himpunan $\lambda - level F_i^\lambda(x)$ atau $F(\lambda, x)$

sehingga model *fuzzy goal programming* menjadi seperti berikut.

Tentukan nilai x^* yang memenuhi,

$$\text{Max } \lambda \quad (4.6)$$

dengan batasan $x \in F(\lambda, x) \cap G(x)$ (4.7)

dimana

$$F(\lambda, x) = F^\lambda(x) = F_1^\lambda(x) \cap F_2^\lambda(x) \dots F_i^\lambda(x) \cap \dots F_m^\lambda \quad (4.8)$$

dengan

$$F_i^\lambda(x) = \{x \mid \mu_{f_i}(x) \geq \lambda; 0 \leq \lambda \leq 1, x \in F_i(x)\} \quad (4.9)$$

Karena fungsi tujuan dari model ini terdiri dari maksimasi dan minimasi sehingga keanggotaan *fuzzy* pada model matematis ini berasal dari penelitian (Zimmermann, 1978) sebagai berikut.

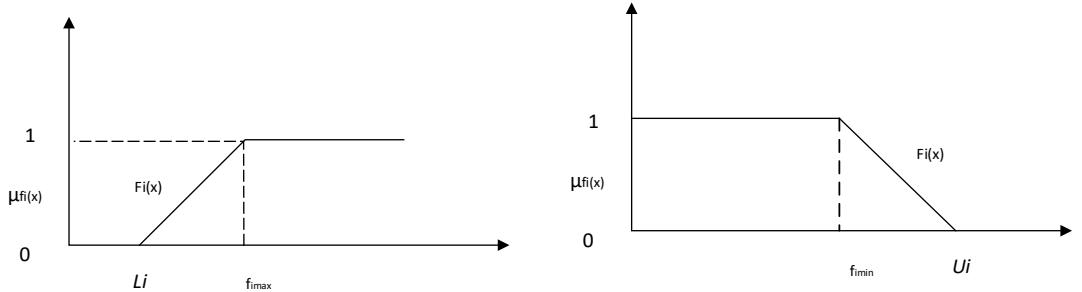
Jika $F_i(x) \geq f_i$, maka

$$\mu_{f_i}(x) = \begin{cases} 1 & F_i(x) \geq f_{imax} \\ \frac{F_i(x) - L_i}{f_{imax} - L_i} & L_i \leq F_i(x) \leq f_{imax} \\ 0 & f_i(x) \leq L_i \end{cases} \quad (4.10)$$

Jika $F_i(x) \leq f_i$, maka

$$\mu_{f_i}(x) = \begin{cases} 1 & F_i(x) \leq f_{imin} \\ \frac{U_i - F_i(x)}{U_i - f_{imin}} & f_{imin} \leq F_i(x) \leq U_i \\ 0 & F_i(x) \geq U_i \end{cases} \quad (4.11)$$

Bentuk fungsi (4.10) dan (4.11) dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 4.2 Bentuk umum fungsi keanggotaan fuzzy fungsi tujuan model *Fuzzy Goal Programming*

U_i dan L_i merupakan batas bawah dan atas dari preferensi pengambil keputusan yang diinginkan sedangkan f_{imax} dan f_{imin} adalah nilai optimal dari model matematis. Sehingga fungsi tujuan menjadi seperti berikut.

$$\text{Max } \lambda \quad (4.12)$$

dengan batasan

$$\mu_{f_i}(x) \geq \lambda \quad (4.13)$$

$$Ax \leq b, x \geq 0 \quad (4.14)$$

Berdasarkan tahapan uraian diatas persamaan fungsi tujuan berubah menjadi seperti berikut.

$$\text{Max } \lambda \quad (4.16)$$

dengan batasan

$$\sum_V CB_B V + \sum_v CN_v + (\bar{Z}_1 - Z_1^*)\lambda \leq \bar{Z}_1 \quad (4.17)$$

$$\sum_i \sum_k Y_{ik} + \sum_i \sum_l Y_{il} + \sum_i \sum_m Y_{im} - (Z_2^* - \bar{Z}_2)\lambda \geq \bar{Z}_2 \quad (4.18)$$

Dimana

\bar{Z}_1 = Maksimal biaya yang dikeluarkan oleh pengambil keputusan

\bar{Z}_2 = Minimal sampah yang harus ditampung menurut pengambil keputusan

Z_1^* = Solusi optimal model matematis ILP dengan fungsi tujuan pertama minimasi biaya

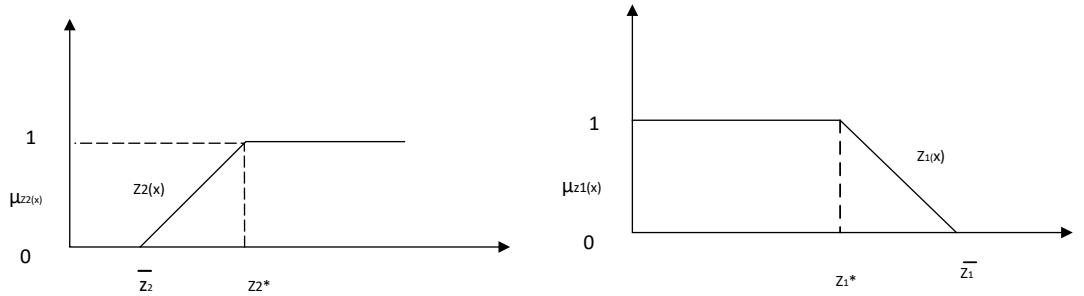
Z_2^* = Solusi optimal model matematis ILP dengan fungsi tujuan Kedua maksimasi jumlah sampah tertampung

Dengan keanggotaan fuzzy seperti berikut.

$$\mu_{z1} = \begin{cases} 1 & Z_1 \leq Z_1^* \\ \frac{\bar{Z}_1 - Z_1}{\bar{Z}_1 - Z_1^*} & Z_1^* \leq Z_1 \leq \bar{Z}_1 \\ 0 & Z_1 \geq \bar{Z}_1 \end{cases} \quad (4.19)$$

$$\mu_{z2} = \begin{cases} 1 & Z_2 \geq Z_2^* \\ \frac{Z_2 - \bar{Z}_2}{Z_2^* - \bar{Z}_2} & \bar{Z}_2 \leq Z_2 \leq Z_2^* \\ 0 & Z_2 \leq \bar{Z}_2 \end{cases} \quad (4.20)$$

Bentuk fungsi (4.19) dan (4.20) dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 4.3. Fungsi keanggotaan *fuzzy* dari tiap fungsi tujuan model

Persamaan (4.17) terbentuk untuk $\mu_{z1} = Z_1^* \leq Z_1 \leq \bar{Z}_1$, dimana Z_1 dan Z_1^* bilangan real. Sedangkan persamaan (4.18) terbentuk pada $\mu_{z2} = \frac{z_2 - \bar{z}_2}{z_2^* - \bar{z}_2}$ pada selang $\bar{Z}_2 \leq Z_2 \leq Z_2^*$, dimana \bar{Z}_2 dan Z_2^* bilangan real.

4.2.3 Pembentukan Batasan Penentuan Lokasi

Batasan penetuan lokasi dikembangkan dari penelitian (Alsalloum dan Rand, 2006; Daskin, 2008; Chauhan et al., 2019). Berikut batasan untuk penentuan lokasi TPS yang akan tetap dipertahankan dan menentukan sampah yang dapat ditampung secara maksimal.

$$d_{max} X_k \geq D_{ik} Y_{ik} \quad \forall k \in K, i \in I \quad (4.21)$$

$$d_{max} X_l \geq D_{il} Y_{ik} \quad \forall l \in L, i \in I \quad (4.22)$$

$$d_{max} X_m \geq D_{im} Y_{ik} \quad \forall m \in M, i \in I \quad (4.23)$$

Persamaan (4.21) hingga (4.23) merupakan batasan jarak dalam penentuan lokasi fasilitas TPS yang akan diperlukan untuk setiap jenis TPS. Sumber sampah akan menyalurkan sampahnya ke fasilitas TPS dengan jarak tidak akan melebihi batas maksimum kemampuan masyarakat membuang sampah jika fasilitas tersebut dipertahankan.

Batasan itu diperlukan karena pada kondisi nyata masyarakat akan membuang sampahnya di tempat penampungan sementara terdekat dari tempat tinggal.

$$\sum_{k \in K} Y_{ik} + \sum_{l \in L} Y_{il} + \sum_{m \in M} Y_{im} \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (4.24)$$

Batasan (4.24) menunjukkan bahwa setiap sumber sampah dapat dilayani atau mebuang sampahnya ke beberapa jenis TPS atau setidaknya satu sumber sampah dilayani oleh satu TPS.

$$\sum_{i \in I} V_i Y_{ik} \leq C_k X_k \quad \forall k \in K \quad (4.25)$$

$$\sum_{i \in I} V_i Y_{il} \leq C_l X_l \quad \forall l \in L \quad (4.26)$$

$$\sum_{i \in I} V_i Y_{im} \leq C_m X_m \quad \forall m \in M \quad (4.27)$$

Batasan (4.25) hingga (4.27) menunjukkan bahwa sampah yang disalurkan dari masyarakat tidak boleh melebihi kapasitas TPS. Batasan tersebut merupakan pengembangan dari model *maximum covering problem* untuk fasilitas yang memiliki kapasitas, sehingga ketika akan mendistribusikan demand ke fasilitas tidak akan melebihi kapasitas dari fasilitas tersebut.

$$\sum_k X_k \leq P_k \quad \forall k \in K \quad (4.28)$$

$$\sum_l X_l \leq P_l \quad \forall l \in L \quad (4.29)$$

$$\sum_m X_m \leq P_m \quad \forall m \in M \quad (4.30)$$

Sedangkan batasan (4.28) hingga (4.30) adalah batasan untuk jumlah dari setiap jenis TPS yang akan dipertahankan yang berasal dari preferensi pengambil keputusan yang merupakan salah satu batasan yang diperlukan dalam *maximum covering problem* untuk menentukan jumlah fasilitas yang akan dipertahankan. Pada pengembangan model ini batasan tersebut diperlukan untuk menentukan jumlah maksimal fasilitas yang akan dipertahankan menurut Dinas Lingkungan Hidup untuk setiap jenisnya sehingga nantinya jumlah TPS yang dipertahankan tidak akan melebihi maksimal dari jumlah TPS yang ingin tetap dipertahankan oleh pengambil keputusan.

4.2.4 Pembentukan Batasan Aktifitas Routing

Batasan aktifitas pengangkutan sampah dikembangkan dari penelitian (Angelelli dan Speranza, 2002; Lei et al., 2006; Azi et al., 2007; Markov et al., 2015; Cattaruzza et al., 2016; Ouhader dan Kyal, 2017). Markov et al (2015) mengembangkan model *Vehicle Routing Problem* (VRP) dengan menambahkan *intermediate facility* sedangkan (Angelelli dan Speranza, 2002; Lei et al., 2006; Azi et al., 2007; Cattaruzza et al 2016) mengembangkan model VRP multi trip dimana trip maksimal untuk setiap kendaraan dapat ditentukan oleh pengambil keputusan. Penelitian Ouhader dan Kyal (2017) mengembangkan *split delivery* yang mempertimbangkan kapasitas kendaraan, sehingga fasilitas yang memiliki kapasitas lebih dari kapasitas kendaraan dapat dilayani lebih dari satu kali dengan pengangkutan dalam sekali angkut dapat memenuhi kapasitas kendaraan. Berdasarkan penelitian tersebut dikembangkanlah model matematis untuk batasan bagi aktifitas *routing* kendaraan pengangkut sampah untuk TPS yang tetap dipertahankan agar dapat meminimalkan biaya aktifitas pengangkutan sampah.

$$\sum_{t=1} \sum_d \sum_{ka} P_{dkatv} + \sum_{t=1} \sum_d \sum_{la} P_{dlatv} + \sum_{t=1} \sum_d \sum_{ma} P_{dmatv} = 1 \quad W_v \\ \forall v \in V \quad (4.31)$$

$$Z_{katv} \geq P_{dkatv} \quad \forall ka \in Ka, v \in V, t = 1 \quad (4.32)$$

$$Z_{latv} \geq P_{dlatv} \quad \forall la \in La, v \in V, t = 1 \quad (4.33)$$

$$Z_{matv} \geq P_{dmatv} \quad \forall ma \in Ma, v \in V, t = 1 \quad (4.34)$$

Persamaan (4.31) hingga (4.34) menunjukkan setiap kendaraan pengangkut sampah mengawali keberangkatan dari depot. Batasan tersebut merupakan pengembangan dari model *vehicle routing problem*. Batasan tersebut diperlukan karena pada pengangkutan sampah, kendaraan akan berangkat dari Kantor Dinas lingkungan Hidup sebagai depot dalam aktifitas pembuangan sampah.

$$\sum_{ka} \sum_t Z_{katv} + \sum_{la} \sum_t Z_{latv} + \sum_{ma} \sum_t Z_{matv} \geq \\ \sum_{ka} \sum_{t+1} Z_{katv} + \sum_{la} \sum_{t+1} Z_{latv} + \sum_{ma} \sum_{t+1} Z_{matv} \quad \forall v \in V \quad (4.35)$$

Persamaan (4.35) menunjukkan bahwa kendaraan akan melayani dari trip pertama. Persamaan ini diperlukan ketika jumlah trip maksimal ditentukan oleh pengambil keputusan sehingga nantinya pelayanan dapat dimulai dari trip pertama.

$$A_{vt} \leq C_{vt} X_{vt} \quad \forall v \in V, t \in T \quad (4.36)$$

$$A_{vt} = \sum_{ka \in Ka} C_{ka} Z_{katv} + \sum_{la \in La} C_{la} Z_{latv} + \sum_{ma \in Ma} C_{ma} Z_{matv} \\ (4.37)$$

$$\sum_{ka} Z_{katv} + \sum_{la} Z_{latv} + \sum_{ma} Z_{matv} \geq X_{vt} \quad \forall v \in V, t \in T \quad (4.38)$$

Persamaan (4.36) dan (4.38) menjelaskan bahwa volume sampah yang diangkut tidak akan melebihi kapasitas kendaraan dalam satu trip. Batasan tersebut merupakan pengembangan dari dari model *vehicle routing problem multi trips* ketika jumlah trip maksimal ditentukan oleh pengambil keputusan. Pada batasan ini jumlah sampah yang diangkut merupakan kapasitas dari fasilitas tersebut dan ketika kapasitas fasilitas melebihi kapasitas kendaraan maka kapasitas sudah dibagi dengan jumlah pengangkutan sampah pada fasilitas tersebut. Kapasitas yang diangkut tidak dapat melebihi kapasitas kendaraan dalam satu trip.

$$\sum_{kb} P_{ka,kb,t,v} + \sum_{lb} P_{ka,lb,t,v} + \sum_{mb} P_{ka,mb,t,v} \leq 1 \\ \forall v \in V, ka \in Ka, ka \neq kb, t \in T \quad (4.39)$$

$$\sum_{kb} P_{la,kb,t,v} + \sum_{lb} P_{la,lb,t,v} + \sum_{mb} P_{la,mb,t,v} \leq 1 \\ \forall v \in V, la \in La, la \neq lb, t \in T \quad (4.40)$$

$$\sum_{kb} P_{ma,kb,t,v} + \sum_{lb} P_{ma,lb,t,v} + \sum_{mb} P_{ma,mb,t,v} \leq 1 \\ \forall v \in V, ma \in Ma, ma \neq mb, t \in T \quad (4.41)$$

$$\sum_{ka} P_{ka,kb,t,v} + \sum_{la} P_{la,kb,t,v} + \sum_{ma} P_{ma,kb,t,v} - \sum_{ka} P_{kb,ka,t,v} + \\ \sum_{la} P_{kb,la,t,v} + \sum_{ma} P_{kb,ma,t,v} = 0 \\ \forall v \in V, kb \in Kb, kb \neq Kb, t \in T \quad (4.42)$$

$$\sum_{ka} P_{ka,lb,t,v} + \sum_{la} P_{la,lb,t,v} + \sum_{ma} P_{ma,lb,t,v} - \sum_{ka} P_{lb,ka,t,v} + \sum_{la} P_{lb,la,t,v} + \\ \sum_{ma} P_{lb,ma,t,v} = 0 \\ \forall v \in V, lb \in Lb, lb \neq Lb, t \in T \quad (4.43)$$

$$\sum_{ka} P_{ka,mb,t,v} + \sum_{la} P_{la,mb,t,v} + \sum_{ma} P_{ma,mb,t,v} - \sum_{ka} P_{mb,ka,t,v} + \\ \sum_{la} P_{mb,la,t,v} + \sum_{ma} P_{mb,ma,t,v} = 0 \\ \forall v \in V, mb \in Mb, mb \neq Mb, t \in T \quad (4.44)$$

$$Z_{katv} - Z_{kbtv} + P_{kakbtv} \leq 1 \quad \forall v \in V, ka \in Ka, kb \in Kb, ka \neq kb, t \in T \quad (4.45)$$

$$Z_{katv} - Z_{lbtv} + P_{kalbtv} \leq 1 \quad \forall v \in V, ka \in Ka, lb \in Lb, t \in T \quad (4.46)$$

$$Z_{katv} - Z_{mbtv} + P_{kambtv} \leq 1 \quad \forall v \in V, ka \in Ka, mb \in Mb, t \in T \quad (4.47)$$

$$Z_{latv} - Z_{lbtv} + P_{lalbtv} \leq 1 \quad \forall v \in V, la \in La, lb \in Lb, la \neq lb, t \in T \quad (4.48)$$

$$Z_{latv} - Z_{kbtv} + P_{lakbtv} \leq 1 \quad \forall v \in V, la \in La, kb \in Kb, t \in T \quad (4.49)$$

$$Z_{latv} - Z_{mbtv} + P_{lambtv} \leq 1 \quad \forall v \in V, la \in La, mb \in Mb, t \in T \quad (4.50)$$

$$Z_{matv} - Z_{mbtv} + P_{mambtv} \leq 1 \quad \forall v \in V, ma \in Ma, mb \in Mb, ma \neq Mb, t \in T \quad (4.51)$$

$$Z_{matv} - Z_{kbtv} + P_{makbtv} \leq 1 \quad \forall v \in V, ma \in Ma, kb \in Kb, t \in T \quad (4.52)$$

$$Z_{matv} - Z_{lbtv} + P_{malbtv} \leq 1 \quad \forall v \in V, ma \in Ma, lb \in Lb, t \in T \quad (4.53)$$

$$-Z_{katv} - Z_{kbtv} + 2 \times P_{kakbtv} \leq 0 \quad \forall v \in V, ka \in Ka, kb \in Kb, ka \neq kb, t \in T \quad (4.54)$$

$$-Z_{katv} - Z_{lbtv} + 2 \times P_{kalbtv} \leq 0 \quad \forall v \in V, ka \in Ka, lb \in Lb, t \in T \quad (4.55)$$

$$-Z_{katv} - Z_{mbtv} + 2 \times P_{kambtv} \leq 0 \quad \forall v \in V, ka \in Ka, mb \in Mb, t \in T \quad (4.56)$$

$$-Z_{latv} - Z_{lbtv} + 2 \times P_{lalbtv} \leq 0 \quad \forall v \in V, la \in La, lb \in Lb, la \neq lb, t \in T \quad (4.57)$$

$$-Z_{latv} - Z_{kbtv} + 2 \times P_{lakbtv} \leq 0 \quad \forall v \in V, la \in La, kb \in Kb, t \in T \quad (4.58)$$

$$-Z_{latv} - Z_{mbtv} + 2 \times P_{lambtv} \leq 0 \quad \forall v \in V, la \in La, mb \in Mb, t \in T \quad (4.59)$$

$$-Z_{matv} - Z_{mbtv} + 2 \times P_{mambtv} \leq 0 \quad \forall v \in V, ma \in Ma, mb \in Mb, ma \neq mb, t \in T \quad (4.60)$$

$$-Z_{matv} - Z_{kbtv} + 2 \times P_{makbtv} \leq 0 \quad \forall v \in V, ma \in Ma, kb \in Kb, t \in T \quad (4.61)$$

$$-Z_{matv} - Z_{lbtv} + 2 \times P_{malbtv} \leq 0 \quad \forall v \in V, ma \in Ma, lb \in Lb, t \in T \quad (4.62)$$

Persamaan (4.45) hingga (4.62) menunjukkan bahwa sebuah kendaraan akan melayani satu TPS yang dibuka dan meninggalkannya menuju TPS lainnya yang dilayani di kendaraan dan trip yang sama. Persamaan tersebut merupakan hasil linearisasi dari persamaan berikut.

$$\sum_{kb} P_{ka,kb,t,v} Z_{kbtv} + \sum_{lb} P_{ka,lb,t,v} Z_{lbtv} + \sum_{mb} P_{ka,mb,t,v} Z_{mbtv} = Z_{vkat} \quad \forall v \in V, ka \in Ka, ka \neq kb, t \in T \quad (4.63)$$

$$\sum_{kb} P_{la,kb,t,v} Z_{kbtv} + \sum_{lb} P_{la,lb,t,v} Z_{lbtv} + \sum_{mb} P_{la,mb,t,v} Z_{mbtv} = Z_{vlat} \quad \forall v \in V, la \in La, la \neq lb, t \in T \quad (4.64)$$

$$\sum_{kb} P_{ma,kb,t,v} Z_{kbtv} + \sum_{lb} P_{ma,lb,t,v} Z_{lbtv} + \sum_{mb} P_{ma,mb,t,v} Z_{mbtv} = Z_{vmat} \quad \forall v \in V, ma \in Ma, ma \neq mb, t \in T \quad (4.65)$$

Persamaan tersebut diperlukan untuk menunjukkan bahwa kemungkinan adanya aktifitas perjalanan dari TPS satu ke TPS lainnya jika dilayani oleh kendaraan dan trip yang sama ketika kapasitas masih mencukupi.

$$\sum_v \sum_t Z_{kavt} = \frac{C_{ka}}{C_{vt}} X_{ka} \quad \forall ka \in Ka, C_{ka} > C_{vt} \quad (4.66)$$

$$\sum_v \sum_t Z_{latv} = \frac{C_{la}}{C_{vt}} X_{la} \quad \forall la \in La, C_{la} > C_{vt} \quad (4.67)$$

$$\sum_v \sum_t Z_{matv} = \frac{C_{ma}}{C_{vt}} X_{ma} \quad \forall ma \in Ma, C_{ma} > C_{vt}$$

(4.68)

Batasan (4.66) hingga (4.68) menunjukkan *split delivery* dimana TPS akan dilayani lebih dari satu kali ketika kapasitasnya melebihi kapasitas kendaraan sehingga dalam satu pengangkutan tersebut akan memenuhi kapasitas kendaraan dalam satu trip.

$$X_{ka} = X_{kb} \quad \forall ka \in Ka, ka = kb$$

(4.69)

$$X_{la} = X_{lb} \quad \forall la \in La, la = lb$$

(4.70)

$$X_{ma} = X_{mb} \quad \forall ma \in Ma, ma = mb$$

(4.71)

$$Z_{katv} = Z_{kbtv} \quad \forall ka \in Ka, ka = kb$$

(4.72)

$$Z_{latv} = Z_{lbtv} \quad \forall la \in La, la = lb$$

(4.73)

$$Z_{matv} = Z_{mbtv} \quad \forall ma \in Ma, ma = mb$$

(4.74)

Pada Batasan Batasan (4.69) hingga (4.74) merupakan sebuah aturan dimana pada TPS yang sama dan dipertahankan baik menjadi asal atau tujuan akan dilayani oleh kendaraan pada trip yang sama.

$$\sum_v Z_{matv} \leq J_{mat} \quad \forall ma \in Ma, t \in T$$

(4.75)

$$\sum_v Z_{latv} \leq J_{lat} \quad \forall la \in La, t \in T$$

(4.76)

$$\sum_v Z_{katv} \leq J_{kat} \quad \forall ka \in Ka, t \in T \quad (4.77)$$

Batasan (4.75) hingga (4.77) adanya batasan jumlah kendaraan yang mengunjungi sebuah TPS pada trip yang sama jika kendaraan tersebut dilayani oleh kendaraan berbeda pada trip yang sama disebabkan karena kapasitasnya melebihi kapasitas kendaraan

$$\sum_v W_v \leq V_{max} \quad (4.78)$$

$$\sum_{t=1} X_{vt} \leq 1 \quad \forall v \in V \quad (4.79)$$

$$\sum_t X_{vt} \geq W_v \quad \forall v \in V \quad (4.80)$$

Batasan (4.78) hingga (4.80) menunjukkan batasan kemungkinan kendaraan untuk tidak digunakan seluruhnya yang terdiri dari batasan jumlah kendaraan yang akan digunakan dan batasan ketika kendaraan akan melayani pengangkutan sampah ketika kendaraan tersebut digunakan.

$$TPSBT = \sum_v \sum_t TPSB \times X_{vt} \quad \forall v \in V \quad (4.78)$$

$$TPBST = \sum_v \sum_t TPBS \times X_{vt} \quad \forall v \in V, t \neq 1 \quad (4.79)$$

$$\text{Waktu pelayanan} = TS_{ka} \times Z_{katv} + TS_{la} \times Z_{latv} + TS_{ma} \times Z_{matv} \\ \forall v \in V \quad (4.80)$$

$$\text{Waktu berangkat} = TP_{dka} \times P_{dkatv} + TP_{dla} \times P_{dlatv} + \\ TP_{dma} \times P_{dmav} \quad \forall v \in V \quad (4.81)$$

$$\text{Waktu perjalanan} = TP_{kakb} \times P_{kakbtv} + TP_{kalb} \times P_{klbtv} + \\ TP_{kamb} \times P_{kambtv} +$$

$$\begin{aligned}
& TP_{lakb} \times P_{lakbtv} + TP_{lalb} \times P_{lalbtv} + TP_{lamb} \times P_{lambtv} + \\
& TP_{makb} \times P_{makbtv} + TP_{malb} \times P_{malbtv} + TP_{mamb} \times P_{mambtv} \\
& \forall v \in V
\end{aligned} \tag{4.82}$$

$$\begin{aligned}
& \text{Waktu perjalanan} + \text{Waktupelayanan} + \text{Waktuberangkat} + \text{TPSBT} + \\
& \text{TPBST} + \text{TPBD} \leq T_{max} \quad \forall v \in V
\end{aligned} \tag{4.83}$$

Persamaan (4.78) hingga (4.83) menunjukkan waktu pelayanan dan perjalanan mengunjungi TPS memiliki batasan waktu jam kerja. Pada persamaan (4.78) menunjukkan bahwa akan ada aktifitas pembuangan sampah ke TPA Piyungan ketika terdapat pelayanan pada trip tersebut, sedangkan (4.79) menunjukkan bahwa setelah sampah disalurkan ke TPA Piyungan aka nada aktifitas kembali ke sektor pengelolaan sampah untuk mengangkut kembali jika terdapat pelayanan di trip selanjutnya dalam satu kendaraan. Waktu pelayanan dihitung dari jumlah waktu loading dan unloading sampah untuk setiap TPS (4.80). Persamaan (4.81) menunjukkan bahwa akan terdapat waktu keberangkatan dari depot ke TPS yang akan dilayani di trip pertama. Sedangkan persamaan (4.82) menunjukkan akan adanya waktu aktifitas perjalanan dari suatu TPS ke TPS lainnya jika kendaraan tersebut dilayani pada kendaraan dan trip yang sama.

$$\begin{aligned}
CN_v = & (\text{Waktu perjalanan} + \text{Waktu berangkat} + \text{TPBD} + \text{TPSBT} + \text{TPBD}) \\
& \times K_v \times BB \quad \forall v \in V
\end{aligned} \tag{4.84}$$

Persamaan (4.67) menunukkan sumber biaya perjalanan yang berasal dari waktu untuk setiap aktifitas perjalanan, kecepatan kendaraan dan biaya bahan bakar untuk sepih meter.

Pada pengembangan model ini kapasitas dari fasilitas dihubungkan langsung dengan batasan aktifitas pengangkutan, hal tersebut dilakukan menyesuaikan keadaan pada kondisi rill dimana penentuan rute oleh DLH ditentukan berdasarkan kapasitas harian fasilitas dan kendaraan. Selain itu, menurut (Xue et al., 2015). Pada umumnya sebuah aktifitas routing ditentukan dari kapasitas harian fasilitas dan kapasitas kendaraan.

BAB V

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini akan membahas mengenai pengumpulan data-data yang diperlukan dalam penelitian ini beserta pengolahan data menggunakan model matematis yang telah dikembangkan dalam penelitian ini.

5.1 Data Hipotetik

Data hipotetik yang digunakan dalam validasi model dilakukan dengan membangkitkan bilangan random menggunakan Microsoft Excel.

5.1.1 Data Hipotetik Kendaraan

Data hipotetik kendaraan, jumlah tenaga kerja beserta kapasitas kendaraan pada penelitian ini diasumsikan sesuai dengan kondisi rill dengan 3 (tiga) tenaga pengangkut sampah, kapasitas 6m^3 setiap trip, tetapi untuk trip dalam satu rute pengangkutan terdiri dari 2 (dua) trip pengangkutan yang tidak termasuk trip dari TPA ke Depot. Data hipotetik kendaraan dapat dilihat pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 Kapasitas Kendaraan Hipotetik

| Kendaraan 1 | | Kendaraan 2 | | Kendaraan 3 | |
|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|
| Trip 1 | Trip 2 | Trip 1 | Trip 2 | Trip 1 | Trip 2 |
| 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |

5.1.2 Data Hipotetik Fasilitas TPS

Data hipotetik lokasi fasilitas beserta kapasitas kendaraan pada penelitian ini diperoleh dari membangkitkan bilangan random U [4,24] dengan waktu loading sebesar 2 menit/ m^3 dan unloading

sebesar 1 menit/m³. Fasilitas tersebut terdiri dari depo, landasan container dan TPSS.

5.1.2.1 Data Hipotetik Fasilitas Depo

Data hipotetik fasilitas depo dapat dilihat pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 Kapasitas Depo Hipotetik

| Nama | Kapasitas |
|--------|-----------|
| Depo A | 18 |
| Depo B | 2 |

5.1.2.2 Data Hipotetik Fasilitas Landasan Container

Data hipotetik fasilitas landasan container dapat dilihat pada tabel 5.3

Tabel 5.3 Kapasitas Landasan Container Hipotetik

| Nama TPS | Kapasitas |
|-------------|-----------|
| Container A | 6 |
| Container B | 5 |

5.1.2.3 Data Hipotetik Fasilitas TPSS

Data hipotetik fasilitas TPSS dapat dilihat pada tabel 5.4.

Tabel 5.4 Kapasitas TPSS Hipotetik

| Nama TPS | Kapasitas |
|----------|-----------|
| TPSS A | 6 |
| TPSS B | 4 |
| TPSS C | 2 |

5.1.3 Data Hipotetik Sumber Sampah

Data hipotetik sumber sampah beserta volume sampah yang dihasilkan berasal dari membangkitkan bilangan random U[4,24]. Pada data hipotetik sumber sampah diasumsikan berasal dari 3 kelurahan. Data hipotetik sumber sampah dapat dilihat pada tabel 5.5

Tabel 5.5 Sumber Sampah Hipotetik

| Nama Sumber Sampah | Volume Sampah (m ³) |
|--------------------|---------------------------------|
| Kelurahan A | 4 |
| Kelurahan B | 18 |
| Kelurahan C | 6 |

5.1.4 Data Hipotetik Biaya

Data hipotetik biaya diasumsikan sama dengan kondisi rill. Biaya hipotetik tenaga kerja sebesar Rp 1.765.000,00 per bulan atau setara dengan Rp 60.000,00 per hari. Sedangkan harga bahan bakar sebesar Rp 9.400,00 per liter untuk menempuh jarak 8 km. Sehingga biaya bahan bakar sebesar Rp 1,175/meter.

5.1.5 Data Hipotetik Jarak Fasilitas TPS dengan Sumber Sampah

Data hipotetik jarak fasilitas dengan sumber Sampah diperoleh berdasarkan membangkitkan bilangan U[10,2000] dengan microsoft excel dengan satuan meter.

5.1.5.1 Data Hipotetik Jarak Fasilitas Depo dengan Sumber Sampah

Data hipotetik jarak fasilitas depo dengan sumber sampah dapat dilihat pada tabel 5.6.

Tabel 5.6 Jarak Depo dengan Sumber Sampah Hipotetik

| | Depo 1 | Depo 2 |
|-------------|--------|--------|
| Kelurahan A | 1000 | 200 |
| Kelurahan B | 15 | 550 |
| Kelurahan C | 220 | 2000 |

5.1.5.2 Data Hipotetik Jarak Fasilitas Landasan Container dengan Sumber Sampah

Data hipotetik jarak fasilitas landasan container dengan sumber sampah dapat dilihat pada tabel 5.7.

Tabel 5.7 Jarak Landasan Container dengan Sumber Sampah Hipotetik

| | Container 1 | Container 2 |
|-------------|-------------|-------------|
| Kelurahan A | 50 | 500 |
| Kelurahan B | 200 | 1000 |
| Kelurahan C | 1000 | 1000 |

5.1.5.3 Data Hipotetik Jarak Fasilitas TPSS dengan Sumber Sampah

Data hipotetik jarak fasilitas TPSS dengan sumber sampah dapat dilihat pada tabel 5.8.

Tabel 5.8 Jarak TPSS dengan Sumber Sampah Hipotetik

| | TPSS 1 | TPSS 2 | TPSS 3 |
|-------------|--------|--------|--------|
| Kelurahan A | 1250 | 494 | 2000 |
| Kelurahan B | 200 | 1500 | 1000 |
| Kelurahan C | 1000 | 200 | 1239 |

5.1.6 Data Hipotetik Waktu Tempuh Hipotetik Antar Fasilitas TPS

Data hipotetik jarak antar setiap Fasilitas dengan membangkitkan bilangan U[1,10] menggunakan microsoft excel.

5.1.6.1 Data Hipotetik Waktu Tempuh Antar Fasilitas Depo

Data hipotetik waktu tempuh antar fasilitas depo dapat dilihat pada tabel 5.9.

Tabel 5.9 Waktu Tempuh Antar Fasilitas Depo Hipotetik

| | Depo A | Depo B |
|--------|--------|--------|
| Depo A | 0 | 5 |
| Depo B | 7 | 0 |

5.1.6.2 Data Hipotetik Waktu Tempuh Antar Fasilitas Landasan Container

Data hipotetik waktu tempuh antar fasilitas landasan container dapat dilihat pada tabel 5.10.

Tabel 5.10 Waktu Tempuh Antar Fasilitas Landasan Container Hipotetik

| | Container A | Container B |
|-------------|-------------|-------------|
| Container A | 0 | 6 |
| Container B | 6 | 0 |

5.1.6.3 Data Hipotetik Waktu Tempuh Antar TPSS

Data hipotetik waktu tempuh antar fasilitas TPSS dapat dilihat pada tabel 5.11.

Tabel 5.11 Waktu Tempuh Antar TPSS Hipotetik

| | TPSS A | TPSS B | TPSS C |
|--------|--------|--------|--------|
| TPSS A | 0 | 8 | 6 |
| TPSS B | 5 | 0 | 4 |
| TPSS C | 6 | 7 | 0 |

5.1.6.4 Data Hipotetik Waktu Tempuh Fasilitas Depo dengan TPSS

Data hipotetik waktu tempuh fasilitas Depo dengan TPSS dapat dilihat pada tabel 5.12.

Tabel 5.12 Waktu Tempuh Depo dengan TPSS Hipotetik

| | TPSS A | TPSS B | TPSS C |
|--------|--------|--------|--------|
| Depo A | 6 | 2 | 3 |
| Depo B | 3 | 8 | 6 |

5.1.6.5 Data Hipotetik Waktu Tempuh Fasilitas Depo dengan Landasan Container

Data hipotetik waktu tempuh fasilitas Depo dengan TPSS dapat dilihat pada tabel 5.13.

Tabel 5.13 Waktu Tempuh Depo dengan Landasan Container Hipotetik

| | Container A | Container B |
|--------|-------------|-------------|
| Depo A | 2 | 4 |
| Depo B | 5 | 3 |

5.1.6.6 Data Hipotetik Waktu Tempuh Fasilitas Landasan Container dengan TPSS

Data hipotetik waktu tempuh fasilitas Landasan Container dengan TPSS dapat dilihat pada tabel 5.14.

Tabel 5.14 Waktu Tempuh Landasan Container dengan TPSS Hipotetik

| | TPSS A | TPSS B | TPSS C |
|-------------|--------|--------|--------|
| Container A | 1 | 2 | 5 |
| Container B | 6 | 4 | 7 |

5.1.6.7 Data Hipotetik Waktu Tempuh Fasilitas Landasan Container dengan Depo

Data hipotetik waktu tempuh fasilitas Landasan Container dengan depo dapat dilihat pada tabel 5.15.

Tabel 5.15 Waktu Tempuh Landasan Container dengan Depo Hipotetik

| | Depo A | Depo B |
|-------------|--------|--------|
| Container A | 3 | 5 |
| Container B | 6 | 3 |

5.1.6.8 Data Hipotetik Waktu Tempuh Fasilitas TPSS dengan Depo

Data hipotetik waktu tempuh fasilitas TPSS dengan depo dapat dilihat pada tabel 5.16.

Tabel 5.16 Waktu Tempuh TPSS dengan Depo Hipotetik

| | Depo A | Depo B |
|--------|--------|--------|
| TPSS A | 6 | 2 |
| TPSS B | 2 | 5 |
| TPSS C | 6 | 6 |

5.1.6.9 Data Hipotetik Waktu Tempuh Fasilitas TPSS dengan Landasan Container

Data hipotetik waktu tempuh fasilitas TPSS dengan landasan container dapat dilihat pada tabel 5.17.

Tabel 5.17 Waktu Tempuh TPSS dengan Landasan Container Hipotetik

| | Container A | Container B |
|--------|-------------|-------------|
| TPSS A | 2 | 6 |
| TPSS B | 2 | 8 |
| TPSS C | 5 | 7 |

5.1.7 Data Hipotetik Waktu Tempuh Depot ke TPS

Data hipotetik waktu tempuh depot dan fasilitas TPS diperoleh dengan membangkitkan bilangan $U[1,10]$ menggunakan microsoft excel.

5.1.7.1 Waktu Tempuh Depot ke Depo

Data hipotetik waktu tempuh depot dengan depo dapat dilihat pada tabel 5.18.

Tabel 5.18 Waktu Tempuh Hipotetik Depot ke Depo

| | DEPO 1 | DEPO 2 |
|-------|--------|--------|
| Depot | 2 | 6 |

5.1.7.2 Waktu Tempuh Depot ke Landasan Container

Data hipotetik waktu tempuh depot dengan landasan container dapat dilihat pada tabel 5.19.

Tabel 5.19 Waktu Tempuh Hipotetik Depot ke Landasan Container

| | Container 1 | Container 2 |
|-------|-------------|-------------|
| Depot | 4 | 1 |

5.1.7.3 Waktu Tempuh Depot ke TPSS

Data hipotetik waktu tempuh depot dengan TPSS dilihat pada tabel 5.20.

Tabel 5.20 Waktu Tempuh Hipotetik Depot ke TPSS

| | TPSS 1 | TPSS 2 | TPSS 3 |
|-------|--------|--------|--------|
| Depot | 2 | 6 | 3 |

5.1.8 Data Hipotetik Lainnya

Data hipotetik dari waktu tempuh untuk penentuan rute adalah sebagai berikut.

1. Waktu tempuh dari TPA ke Sektor diasumsikan sebesar 34 menit.
2. Waktu tempuh dari Sektor ke TPA diasumsikan sebesar 34 menit.
3. Waktu tempuh dari TPA ke Depot (menit) diasumsikan sebesar 34 menit.
4. Jam kerja maksimal hipotetik diasumsikan sebesar 240 menit atau setara 4 jam.

5.2 Pengumpulan Data

Data pada penelitian ini berasal dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta, Dinas Kependudukan dan Catatan Sipil Kota Yogyakarta, Standar Nasional Indonesia (SNI) dan titik lokasi maupun sumber sampah diperoleh dari Google Earth.

5.2.1 Data Kendaraan

Data kendaraan beserta kapasitas kendaraan pada penelitian ini diperoleh dari DLH Kota Yogyakarta. Kendaraan tersebut digunakan selama 7 Jam kerja dengan 3 petugas termasuk sopir kendaraan. DLH Kota Yogyakarta menyediakan 40 unit truck untuk 8 sektor dengan kapasitas $6m^3$. Sehingga penelitian ini menggunakan 5 kendaraan

dimana setiap kendaraan maksimal melakukan 5 trip pengangkutan yang tidak termasuk trip perjalanan akhir untuk kembali ke depot yang ditentukan berdasarkan maksimal kunjungan truk ke TPA Piyungan. Data ini digunakan untuk menentukan rute pengangkutan sampah dari fasilitas yang tetap dipertahankan dalam menampung sampah dari masyarakat. Data kendaraan dapat dilihat pada tabel 5.21.

Tabel 5.21 Data Kendaraan

| No. | Nomor Polisi | Kode | Jenis | Kapasitas (m ³ /trip) | Jumlah Maksimal Trip |
|-----|--------------|------|------------|----------------------------------|----------------------|
| 1. | AB 8336 UA | V1 | Dump Truck | 6 | 6 |
| 2. | AB 8163 UA | V2 | Dump Truck | 6 | 6 |
| 3. | AB 8247 UA | V3 | Dump Truck | 6 | 6 |
| 4. | AB 8133 UA | V4 | Dump Truck | 6 | 6 |
| 5. | AB 8020 IA | V5 | Dump Truck | 6 | 6 |

5.2.2 Data Fasilitas TPS

Data titik lokasi fasilitas beserta kapasitas kendaraan pada penelitian ini diperoleh dari DLH Kota Yogyakarta berdasar data historis yang mempertimbangkan luas tanah dan bangunan TPS. Waktu loading diasumsikan sebesar 4 menit/m³ dan unloading sebesar 2 menit/m³. Fasilitas tersebut terdiri dari depo, landasan container dan TPSS.

5.2.2.1 Data Fasilitas Depo

Data fasilitas depo dan kapasitasnya dapat dilihat pada tabel 5.22.

Tabel 5.22 Data Fasilitas Depo

| No | Nama TPS | Kode | Volume (m ³) | Titik Koordinat | |
|----|------------|------|-----------------------------|-----------------|----------------|
| 1. | Depo Sagan | K1 | 24 | 7°46'54.15"S | 110°22'35.62"T |

5.2.2.2 Data Fasilitas Landasan Container

Data fasilitas landasan container beserta kapasitasnya dapat dilihat pada tabel 5.23.

Tabel 5.23 Data Fasilitas Landasan Container

| No. | Nama TPS | Kode | Volume (m ³) | Titik Koordinat | |
|-----|------------------------------------|------|-----------------------------|-----------------|---------------|
| 1. | Landasan Container RRI Jogja | L1 | 30 | 7°47'18.31"S | 110°22'9.37"T |

5.2.2.3 Data Fasilitas TPSS

Data fasilitas TPSS beserta kapasitasnya dapat dilihat pada Tabel 5.24.

Tabel 5.24 Fasilitas TPSS

| No | Nama TPS | Kode | Volume (m ³) | Koordinat Longitude | |
|----|--------------------------|------|-----------------------------|---------------------|----------------|
| 1 | TPSS JL. Herman Yohanes | M1 | 1 | 7°46'50.12"S | 110°22'40.08"T |
| 2 | TPSS Sagan | M2 | 2 | 7°46'51.03"S | 110°22'36.67"T |
| 3 | TPSS JL. Wardani | M3 | 1 | 7°47'12.25"S | 110°22'35.30"T |
| 4 | TPSS JL. Wahidin | M4 | 1 | 7°47'22.91"S | 110°22'42.15"T |
| 5 | TPSS JL. Atmosukarto | M5 | 2 | 7°47'18.26"S | 110°22'34.19"T |
| 6 | TPSS JL. Krasak | M6 | 3 | 7°47'18.99"S | 110°22'18.62"T |
| 7 | TPSS JL. Kusbini I | M7 | 24 | 7°47'15.48"S | 110°22'50.05"T |
| 8 | TPSS JL. Kusbini II | M8 | 2 | 7°47'13.03"S | 110°23'0.89"T |
| 9 | TPSS JL. Ungaran | M9 | 2 | 7°47'14.21"S | 110°22'14.20"T |
| 10 | TPSS JL. I Nyoman Oka | M10 | 3 | 7°47'10.07"S | 110°22'17.14"T |
| 11 | TPSS JL. Patimura | M11 | 1 | 7°47'12.15"S | 110°22'13.14"T |
| 12 | TPSS JL. Johar Nurhadi | M12 | 2 | 7°47'3.26"S | 110°22'31.87"T |
| 13 | TPSS JL. Hadi Darsono | M13 | 2 | 7°47'6.63"S | 110°22'29.87"T |
| 14 | TPSS JL. Urip Sumoharjo | M14 | 2 | 7°46'58.69"S | 110°22'58.78"T |
| 15 | TPSS JL. Munggur | M15 | 3 | 7°47'9.50"S | 110°23'13.20"T |
| 16 | TPSS Belakang Duta | M16 | 2 | 7°46'59.89"S | 110°23'0.41"T |
| 17 | TPSS SD Klitren | M17 | 1 | 7°47'1.51"S | 110°23'1.32"T |
| 18 | TPSS Pengok (Rel Kereta) | M18 | 36 | 7°47'17.58"S | 110°23'16.35"T |
| 19 | TPSS Kowilhan | M19 | 2 | 7°47'26.86"S | 110°23'23.81"T |
| 20 | TPSS Jl. A. Jajuli | M20 | 1 | 7°47'18.66"S | 110°22'9.19"T |
| 21 | TPSS Tribrata | M21 | 3 | 7°47'5.87"S | 110°23'10.06"T |

Data ini digunakan untuk menentukan dimana masyarakat akan membuang sampahnya berdasarkan kapasitas dan *coverage area* dari fasilitas TPS tersebut.

5.2.3 Data Sumber Sampah

Data sumber sampah beserta volume sampah yang dihasilkan berasal dari Dinas Kependudukan dan Catatan Sipil Kota Yogyakarta, Standar Nasional Indonesia dan Google Earth. Sumber sampah diasumsikan dalam satu titik mewakili sekumpulan demand dalam satu area cakupan yang nantinya digunakan dalam perhitungan jarak dari lokasi ke fasilitas sehingga tergolong diskrit model (Drezner & Drezner, 2002). Sumber sampah berasal dari lima kelurahan di Kecamatan Gondokusuman diperoleh dari perkalian jumlah penduduk di wilayah kelurahan tersebut terhadap jumlah sampah yang dihasilkan satu individu dalam satu hari menurut Standar Nasional Indonesia. Data jumlah penduduk berasal dari Kecamatan Gondokusuman.

$$\text{Volume Sampah} = \text{Jumlah Penduduk} \times \text{Volume Sampah/jiwa/hari}$$

Data sumber sampah dapat dilihat pada tabel 5.25.

Tabel 5.25. Data Sumber Sampah dan Volume

| No. | Nama Kelurahan | Kode | Titik Koordinat | Jumlah Penduduk | Volume sampah m ³ /jiwa/hari | Volume sampah (m ³) |
|-----|----------------|------|--------------------------------|-----------------|---|---------------------------------|
| 1 | Kotabaru | I1 | 7°47'9.6"S 110°22'26.81"E | 2746 | 0,00188 | 5,16248 |
| 2 | Baciro | I2 | 7°47'29.33"S 110°23'9.51"E | 12306 | 0,00188 | 23,13528 |
| 3 | Demangan | I3 | 7°47'14.37"S 110°23'19.6"E | 8710 | 0,00188 | 16,3748 |
| 4 | Klitren | I4 | 7°47'0.85"S 110°23'1.90"E | 9567 | 0,00188 | 17,98596 |
| 5 | Terban | I5 | 7°46'46.04"S 110°22'30.42"E | 9187 | 0,00188 | 17,27156 |
| | | | | | | 79,93008 |

Jumlah volume sampah/jiwa/hari berasal dari perhitungan dengan massa jenis sampah padat 250 kg/m³ dan massa sampah padat yang dihasilkan sebesar 0,47 kg/jiwa.

5.2.4 Data Jarak Fasilitas TPS dengan Sumber Sampah

Menurut (Drezner & Drezner, 2002), demand dapat diwakilkan oleh sebuah titik demand point. Oleh karena itu data Jarak Fasilitas dengan Sumber Sampah diperoleh berdasarkan mengukur jarak menggunakan LB/LS *straight line* dengan titik lokasi diperoleh dari Google Earth. Pengukuran dilakukan dari titik sumber sampah hingga titik lokasi fasilitas TPS dalam satuan meter dengan Bumi dianggap berbentuk bulat (Meeus, 1998). Berikut data jarak fasilitas dengan TPS.

5.2.4.1 Data Jarak Fasilitas Depo dengan Sumber Sampah

Data jarak fasilitas depo dengan sumber sampah dapat dilihat pada tabel 5.26.

Tabel 5.26 Jarak Sumber sampah dengan Depo

| | Depo Sagan (m) |
|----------|----------------------|
| Kotabaru | 549 |
| Demangan | 1485 |
| Klitren | 831 |
| Terban | 297 |
| Baciro | 1504 |

5.2.4.2 Data Jarak Fasilitas Landasan Container dengan Sumber Sampah

Data jarak fasilitas landasan container dengan sumber sampah dapat dilihat pada tabel 5.27.

Tabel 5.27. Jarak Sumber sampah dengan Landasan Container

| | Landasan Container RRI Jogja (m) |
|----------|---|
| Kotabaru | 598 |
| Demangan | 2155 |
| Klitren | 1698 |
| Terban | 1188 |
| Baciro | 1874 |

5.2.4.3 Data Jarak Fasilitas TPSS dengan Sumber Sampah

Data jarak fasilitas TPSS dengan sumber sampah dapat dilihat pada tabel 5.28.

Tabel 5.28 Jarak Sumber Sampah dengan TPSS

| | Depo Sagan | Landasan Container RRI | TPSS JL. Herman Yohanes | TPSS Sagan | TPSS JL. Wardani | TPSS JL. Wahidin | TPSS JL. Atmosukarto | TPSS JL. Krasak | TPSS JL. Kusbini I | TPSS JL. Kusbini II | TPSS JL. Ungaran | TPSS JL. I Nyoman Oka | TPSS JL. Patimura | TPSS JL. Johar Nurhadi | TPSS JL. Hadi Darsono | TPSS JL. Urip Sumoharjo |
|----------|------------|------------------------|-------------------------|------------|------------------|------------------|----------------------|-----------------|--------------------|---------------------|------------------|-----------------------|-------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Kotabaru | 549 | 598 | 727 | 707 | 273 | 625 | 350 | 384 | 735 | 302 | 412 | 293 | 426 | 250 | 131 | 1036 |
| Demangan | 1485 | 2155 | 1424 | 1528 | 1359 | 1177 | 1396 | 1874 | 906 | 323 | 2004 | 1912 | 2037 | 1502 | 1542 | 801 |
| Klitren | 831 | 1698 | 746 | 852 | 888 | 912 | 1005 | 1440 | 580 | 427 | 1519 | 1399 | 1534 | 923 | 997 | 117 |
| Terban | 297 | 1188 | 322 | 216 | 824 | 1195 | 1003 | 1081 | 1091 | 1444 | 1003 | 859 | 965 | 534 | 637 | 953 |
| Baciyo | 1504 | 1874 | 1511 | 1600 | 1174 | 861 | 1135 | 1592 | 734 | 517 | 1758 | 1701 | 1807 | 1407 | 1403 | 1003 |

| | TPSS JL. Munggur | TPSS Belakang Duta | TPSS SD Klitren | TPSS Pengok | TPSS Kowilhan | TPSS Jl. A. Jajuli | TPSS Tribrata |
|----------|------------------|--------------------|-----------------|-------------|---------------|--------------------|---------------|
| Kotabaru | 1421 | 1072 | 1086 | 1538 | 1826 | 608 | 1394 |
| Demangan | 247 | 739 | 687 | 141 | 407 | 2161 | 282 |
| Klitren | 437 | 54 | 27 | 681 | 1048 | 1706 | 1619 |
| Terban | 1498 | 1014 | 1061 | 1712 | 2066 | 1200 | 1607 |
| Baciyo | 624 | 952 | 896 | 419 | 445 | 1877 | 340 |

5.2.5 Data Biaya

Data biaya diperoleh dari hasil wawancara dengan pengelola persampahan DLH Kota Yogyakarta. Biaya tenaga kerja diasumsikan sesuai dengan upah minimum di Kota Yogyakarta yaitu sebesar Rp 1.765.000,00 per bulan atau setara dengan Rp 60.000,00 per hari. Sedangkan harga bahan bakar sebesar Rp 9.400,00 per liter untuk menempuh jarak 8 km. Sehingga biaya bahan bakar sebesar Rp 1,175/meter.

5.2.6 Data Waktu Tempuh Antar Fasilitas TPS

Data waktu tempuh antar setiap fasilitas diperoleh berdasarkan mengukur jarak dengan google maps dari titik fasilitas TPS hingga titik lokasi fasilitas TPS lainnya lalu mengalikannya dengan kecepatan rata-rata kendaraan pengangkut sampah menurut UPT pengelola yaitu 40 km/jam. Data waktu tempuh dalam satuan menit.

5.2.6.1 Data Waktu Tempuh Antar Fasilitas Depo

Berdasarkan data fasilitas TPS yang diperoleh dari DLH Kota Yogyakarta. Hanya terdapat satu Depo yang digunakan untuk menampung sampah sementara di Sektor Krasak.

5.2.6.2 Data Waktu Tempuh Antar Fasilitas Landasan Container

Berdasarkan data fasilitas TPS yang diperoleh dari DLH Kota Yogyakarta. Hanya terdapat satu Landasan Container yang digunakan untuk menampung sampah sementara di Sektor Krasak.

5.2.6.3 Data Waktu Tempuh Antar Fasilitas TPSS

Data waktu tempuh antar fasilitas TPSS dapat dilihat pada tabel 5.29.

Tabel 5.29 Waktu Tempuh Antar Fasilitas TPSS

| | TPSS JL. Herman Yohanes | TPSS Sagan | TPSS JL. Wardani | TPSS JL. Wahidin | TPSS JL. Atmosukar to | TPSS JL. Krasak | TPSS JL. Kusbini I | TPSS JL. Kusbini II | TPSS JL. Ungaran | TPSS JL. I Nyoman Oka | TPSS JL. Patimura | TPSS JL. Johar Nurhadi | TPSS JL. Hadi Darsono | TPSS JL. Urip Sumoharjo | TPSS JL. Munggur | TPSS Belakang Duta | TPSS SD Klitren | TPSS Pengok | TPSS Kowlilan | TPSS JL. A. Jajuli | TPSS Tribrata |
|-------------------------------|-------------------------------|---------------|------------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|----------------|------------------|-----------------------|------------------|
| TPSS JL. Herman Yohanes | 0 | 0,405 | 1,8 | 1,65 | 2,1 | 2,7 | 3,45 | 4,35 | 3 | 2,1 | 2,1 | 0,885 | 3,9 | 4,2 | 4,05 | 4,05 | 4,2 | 4,05 | 6,6 | 2,1 | 4,35 |
| TPSS Sagan | 0,225 | 0 | 1,65 | 1,35 | 1,8 | 2,4 | 3 | 3,9 | 2,25 | 1,8 | 1,8 | 0,75 | 0,75 | 3,75 | 3,6 | 3,75 | 3,6 | 3,75 | 6,15 | 1,65 | 3,9 |
| TPSS JL. Wardani | 1,8 | 1,95 | 0 | 0,75 | 1,2 | 1,65 | 1,275 | 2,25 | 1,95 | 1,95 | 1,875 | 0,6 | 0,6 | 1,95 | 1,95 | 2,1 | 1,95 | 2,1 | 3,6 | 1,05 | 2,25 |
| TPSS JL. Wahidin | 1,65 | 1,8 | 1,95 | 0 | 0,675 | 1,5 | 2,1 | 3,75 | 3,45 | 3,45 | 1,5 | 2,4 | 1,8 | 3,45 | 3,45 | 1,5 | 1,35 | 2,1 | 2,85 | 2,1 | 1,8 |
| TPSS JL. Atmosukar to | 1,95 | 2,25 | 2,55 | 0,675 | 0 | 1,35 | 0,9 | 2,4 | 2,1 | 2,1 | 1,2 | 0,9 | 1,95 | 2,1 | 2,1 | 1,5 | 1,5 | 2,25 | 3,45 | 2,25 | 1,65 |
| TPSS JL. Krasak | 2,55 | 2,4 | 2,25 | 1,425 | 1,5 | 0 | 1,65 | 3 | 1,2 | 1,35 | 1,2 | 1,35 | 0,9 | 2,85 | 2,85 | 2,25 | 2,25 | 3 | 4,2 | 3 | 1,8 |
| TPSS JL. Kusbini I | 2,1 | 2,55 | 2,55 | 1,95 | 2,7 | 3,15 | 0 | 0,9 | 4,65 | 3,9 | 3,6 | 3,3 | 2,55 | 1,05 | 1,125 | 1,275 | 1,2 | 1,5 | 1,65 | 1,95 | 1,05 |
| TPSS JL. Kusbini II | 4,35 | 2,4 | 2,7 | 3,75 | 3,45 | 3,9 | 2,4 | 0 | 3,3 | 3,45 | 3 | 2,25 | 0,825 | 0,825 | 0,3 | 0,75 | 0,675 | 0,8505 | 0,975 | 3 | 0,45 |
| TPSS JL. Ungaran | 3 | 2,25 | 2,25 | 1,8 | 2,55 | 3 | 1,8 | 1,8 | 0 | 0,525 | 0,345 | 1,5 | 0,975 | 3,15 | 3 | 3,15 | 3 | 3,3 | 3,3 | 0,45 | 2,7 |
| TPSS JL. I Nyoman Oka | 2,1 | 2,55 | 3 | 3,9 | 2,1 | 1,35 | 1,8 | 1,8 | 0,525 | 0 | 0,21 | 1,425 | 0,975 | 3,15 | 3 | 3 | 3,15 | 3,15 | 3,15 | 0,6 | 2,55 |
| TPSS JL. Patimura | 2,205 | 1,8 | 2,1 | 1,425 | 1,2 | 1,2 | 1,8 | 1,8 | 0,33 | 0,21 | 0 | 1,65 | 1,125 | 3,3 | 3,15 | 3,3 | 3 | 3,3 | 3,318 | 0,45 | 2,7 |
| TPSS JL. Johar Nurhadi | 0,9 | 1,425 | 1,8 | 2,55 | 0,9 | 1,35 | 1,8 | 1,8 | 1,95 | 1,95 | 2,1 | 0 | 0,36 | 2,7 | 2,7 | 2,7 | 2,55 | 2,85 | 2,25 | 1,35 | 1,8 |
| TPSS JL. Hadi Darsono | 3,9 | 2,1 | 2,4 | 1,8 | 1,95 | 0,9 | 1,95 | 1,35 | 2,1 | 2,1 | 2,25 | 0,45 | 0 | 2,7 | 2,55 | 2,55 | 2,55 | 4,2 | 3 | 2,25 | 1,95 |
| TPSS JL. Urip Sumoharjo | 4,05 | 3,75 | 1,95 | 2,7 | 2,1 | 2,85 | 1,05 | 1,5 | 2,85 | 2,55 | 2,7 | 1,425 | 1,65 | 0 | 2,85 | 2,85 | 3 | 4,5 | 3 | 2,55 | |
| TPSS JL. Munggur | 1,8 | 3,6 | 1,95 | 2,85 | 2,1 | 2,85 | 1,5 | 1,65 | 4,2 | 3,75 | 3,15 | 2,7 | 3 | 1,275 | 0 | 1,2 | 1,275 | 0,702 | 2,55 | 0,525 | 0,435 |
| TPSS Belakang Duta | 4,05 | 1,8 | 2,1 | 1,5 | 1,5 | 2,25 | 3,15 | 1,8 | 3 | 2,7 | 2,85 | 2,7 | 1,95 | 0,165 | 1,05 | 0 | 0,6 | 1,5 | 0,675 | 0,975 | 0,36 |
| TPSS SD Klitren | 4,05 | 1,5 | 1,95 | 1,5 | 1,5 | 2,25 | 3,3 | 1,8 | 3,15 | 2,7 | 3 | 1,5 | 1,95 | 0,255 | 0,975 | 0,6 | 0 | 1,425 | 3,45 | 0,6 | 0,9 |
| TPSS Pengok | 4,05 | 3,15 | 2,1 | 2,1 | 2,25 | 3 | 1,5 | 1,275 | 4,5 | 4,05 | 4,35 | 3 | 3,3 | 1,5 | 1,5 | 1,35 | 1,35 | 0 | 2,1 | 1,65 | 0,45 |
| TPSS Kowlilan | 4,8 | 4,8 | 6 | 5,4 | 3,45 | 5,55 | 4,8 | 4,8 | 3,45 | 5,7 | 6 | 5,85 | 5,85 | 3,6 | 3,45 | 0,675 | 0,33 | 2,1 | 0 | 3,6 | 2,55 |
| TPSS JL. A. Jajuli | 2,1 | 1,65 | 1,05 | 1,8 | 2,25 | 3 | 1,95 | 3 | 0,45 | 0,6 | 0,45 | 1,35 | 1,2 | 1,125 | 0,225 | 0,975 | 0,6 | 0,75 | 2,85 | 0 | 2,8845 |
| TPSS Tribrata | 2,1 | 2,4 | 2,25 | 1,8 | 1,65 | 1,8 | 1,05 | 0,45 | 2,7 | 2,4585 | 2,7 | 1,8 | 1,95 | 1,125 | 0,975 | 0,36 | 0,9 | 0,45 | 2,55 | 2,8845 | 0 |

5.2.6.4 Data Waktu Tempuh Fasilitas Depo dengan TPSS

Data waktu tempuh fasilitas Depo dengan TPSS dapat dilihat pada tabel 5.30.

Tabel 5.30 Waktu tempuh Depo dengan TPSS

| | TPSS JL. Herman Yohanes | TPSS Sagan | TPSS JL. Wardani | TPSS JL. Wahidin | TPSS JL. Atmosukarto | TPSS JL. Krasak | TPSS JL. Kusbini I | TPSS JL. Kusbini II | TPSS JL. Ungaran | TPSS JL. I Nyoman Oka |
|---------------|-------------------------------|---------------|---------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|
| Depo Sagan | 0,75 | 0,675 | 1,425 | 2,25 | 1,65 | 2,1 | 2,25 | 2,85 | 2,1 | 1,65 |

| | TPSS JL. Patimura | TPSS JL. Johar Nurhadi | TPSS JL. Hadi Darsono | TPSS JL. Urip Sumoharjo | TPSS JL. Munggur | TPSS Belakang Duta | TPSS SD Klitren | TPSS Pengok | TPSS Kowilhan | TPSS Jl. A. Jajuli | TPSS Tribrata |
|---------------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------|------------------|--------------------------|------------------|
| Depo Sagan | 1,8 | 0,525 | 0,825 | 3,6 | 3,45 | 3,6 | 3,45 | 3,6 | 5,1 | 3,75 | 3,15 |

5.2.6.5 Data Waktu Tempuh Fasilitas Depo dengan Landasan Container

Data waktu tempuh fasilitas Depo dengan Landasan Container dapat dilihat pada tabel 5.31.

Tabel 5.31. Waktu Tempuh Fasilitas Depo dan Landasan Container

| | |
|------------|---------------------------------|
| | Landasan Container Rri Jogja |
| Depo Sagan | 4,65 |

5.2.6.6 Data Waktu Tempuh Fasilitas Landasan Container dengan TPSS

Data waktu tempuh fasilitas Landasan Container dengan TPSS dapat dilihat pada tabel 5.32.

Tabel 5.32 Waktu Tempuh Landasan Container dengan TPSS

| | TPSS JL. Patimura | TPSS JL. Johar Nurhadi | TPSS JL. Hadi Darsono | TPSS JL. Urip Sumoharjo | TPSS JL. Munggur | TPSS Belakang Duta | TPSS SD Klitren | TPSS Pengok | TPSS Kowilhan | TPSS Jl. A. Jajuli | TPSS Tribrata |
|------------------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------|------------------|-----------------------|------------------|
| Landasan Container Rri Jogja | 0,45 | 1,95 | 1,425 | 3,6 | 3,45 | 3,45 | 3,45 | 3,6 | 2,85 | 3,6 | 22,05 |

| | TPSS JL. Herman Yohanes | TPSS Sagan | TPSS JL. Wardani | TPSS JL. Wahidin | TPSS JL. Atmosuk arto | TPSS JL. Krasak | TPSS JL. Kusbini I | TPSS JL. Kusbini II | TPSS JL. Ungaran | TPSS JL. I Nyoman Oka |
|------------------------------------|-------------------------------|------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|-----------------------------|
| Landasan Container Rri Jogja | 2,7 | 2,7 | 1,5 | 2,25 | 1,65 | 2,1 | 2,25 | 2,85 | 0,315 | 0,675 |

5.2.6.7 Data Waktu Tempuh Fasilitas Landasan Container dengan Depo

Data waktu tempuh fasilitas Landasan Container dengan Depo dapat dilihat pada tabel 5.33.

Tabel 5.33. Waktu Tempuh Fasilitas Landasan Container dan Depo

| | Depo Sagan |
|---------------------------------|------------|
| Landasan Container RRI Jogja | 2,85 |

5.2.6.8 Data Waktu Tempuh Fasilitas TPSS dengan Depo

Data waktu tempuh fasilitas TPSS dengan Depo dapat dilihat pada tabel 5.34.

Tabel 5.34 Waktu Tempuh TPSS dengan Depo

| | Depo Sagan |
|-------------------------|------------|
| TPSS JL. Herman Yohanes | 0,36 |
| TPSS Sagan | 0,18 |
| TPSS JL. Wardani | 2,1 |
| TPSS JL. Wahidin | 3,3 |
| TPSS JL. Atmosukarto | 2,4 |
| TPSS JL. Krasak | 2,7 |
| TPSS JL. Kusbini I | 2,85 |
| TPSS JL. Kusbini II | 2,25 |
| TPSS JL. Ungaran | 2,4 |
| TPSS JL. I Nyoman Oka | 2,4 |
| TPSS JL. Patimura | 2,55 |
| TPSS JL. Johar Nurhadi | 1,65 |
| TPSS JL. Hadi Darsono | 2,1 |
| TPSS JL. Urip Sumoharjo | 1,5 |
| TPSS JL. Munggur | 2,7 |
| TPSS Belakang Duta | 1,65 |
| TPSS SD Klitren | 1,65 |
| TPSS Pengok | 2,25 |
| TPSS Kowilhan | 6 |
| TPSS Jl. A. Jajuli | 2,25 |
| TPSS Tribbrata | 2,55 |

5.2.6.9 Data Waktu Tempuh Fasilitas TPSS dengan Landasan Container

Data waktu tempuh fasilitas TPSS dengan Landasan Container dapat dilihat pada tabel 5.35.

Tabel 5.35 Waktu Tempuh TPSS dengan Landasan Container

| | Landasan Container RRI Jogja |
|-------------------------|------------------------------|
| TPSS JL. Herman Yohanes | 4,5 |
| TPSS Sagan | 2,55 |
| TPSS JL. Wardani | 2,4 |
| TPSS JL. Wahidin | 2,25 |
| TPSS JL. Atmosukarto | 2,85 |
| TPSS JL. Krasak | 2,55 |
| TPSS JL. Kusbini I | 4,35 |
| TPSS JL. Kusbini II | 3,9 |
| TPSS JL. Ungaran | 0,315 |
| TPSS JL. I Nyoman Oka | 0,675 |
| TPSS JL. Patimura | 0,435 |
| TPSS JL. Johar Nurhadi | 2,25 |
| TPSS JL. Hadi Darsono | 2,4 |
| TPSS JL. Urip Sumoharjo | 3 |
| TPSS JL. Munggur | 4,35 |
| TPSS Belakang Duta | 3,15 |
| TPSS SD Klitren | 3,3 |
| TPSS Pengok | 4,65 |

| | |
|--------------------|------|
| TPSS Kowilhan | 6,6 |
| TPSS Jl. A. Jajuli | 3,9 |
| TPSS Tribrata | 4,05 |

5.2.7 Data Waktu Tempuh Depot ke TPS

Data waktu tempuh depot dan fasilitas TPS diperoleh dengan mengukur jarak Kantor Dinas Lingkungan Hidup dengan Google Maps dan mengkalikannya dengan kecepatan 40 km/jam sebagai tempat penyimpanan kendaraan ke masing-masing TPS .

5.2.7.1 Waktu Tempuh Depot ke Depo

Data waktu tempuh depot dengan depo dapat dilihat pada tabel 5.36.

Tabel 5.36 Waktu Tempuh Depot ke Depo

| | |
|-----|------------|
| | Depo Sagan |
| DLH | 3,3 |

5.2.7.2 Waktu Tempuh Depot Ke Landasan container

Data waktu tempuh depot dengan landasan container dapat dilihat pada tabel 5.37.

Tabel 5.37 Waktu Tempuh Depot ke Landasan Container

| | Container 1 | Container 2 |
|-----|-------------|-------------|
| DLH | 4 | 1 |

5.2.7.3 Waktu Tempuh Depot ke TPSS

Data waktu tempuh depot dengan TPSS dapat dilihat pada Tabel 5.38.

Tabel 5.38 Waktu Tempuh Depot ke TPSS

| | TPS JL. HERMAN YOHANES | TPS SAGAN | TPS JL. WARDANI | TPS JL. WAHIDIN | TPS JL. ATMOSUKARTO | TPS JL. KRASAK | TPS JL. KUSBINI I | TPS JL. KUSBINI II | TPS JL. UNGARAN | TPS JL. I NYOMAN OKA | TPS JL. PATIMURA | TPS JL. JOHAR NURHADI | TPS JL. HADI DARSONO | TPS JL. URIP SUMOHARJO |
|-----|------------------------------|--------------|--------------------|--------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| DLH | 2,55 | 3,495 | 2,0175 | 1,869 | 2,3835 | 0,8505 | 1,473 | 0,6795 | 1,617 | 1,734 | 1,701 | 1,362 | 1,152 | 1,017 |

| | TPS JL. MUNGGUR | TPS BELAKANG DUTA | TPS SD KLITREN | TPS PENGOK (REL KERETA) | TPS KOWILHAN | TPS Jl. A. JAJULI | TPS TRIBRATA |
|-----|--------------------|-------------------------|-------------------|----------------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|
| DLH | 1,251 | 1,1535 | 0,8595 | 0,0315 | 0,5175 | 0,813 | 1,011 |

5.2.8 Data Waktu Lainnya

Data rill dari waktu tempuh untuk penentuan rute adalah sebagai berikut.

1. Waktu tempuh dari TPA Piyungan ke Sektor Krasak yang merupakan titik Kecamatan Gondokusuman diukur menggunakan jarak antara Titik Tengah Sektor dengan TPA Piyungan menggunakan google maps dan mengkalikannya dengan kecepatan 40 km/ jam. Waktu tempuh diperoleh 24 menit. Perhitungan tersebut didasarkan pada kondisi bahwa pengelolaan sampah di Kota Yogyakarta dibagi menjadi beberapa sektor sesuai regional, sehingga asumsi ini digunakan. Asumsi serupa dilakukan pada penelitian (Crainic et al., 2012; Farahani dan Massoud, 2012; Xue et al., 2015) dalam menyelesaikan permasalahan pengelolaan sampah padat. Titik tengah sektor dapat mewakili titik fasilitas lainnya karena tercakup oleh radian titik tersebut.
2. Waktu tempuh dari Sektor Krasak ke TPA diukur dengan cara yang sama dengan diperoleh waktu tempuh 24 menit.
3. Waktu tempuh dari TPA Piyungan ke Depot (DLH) diperoleh dengan mengukur pada google maps lalu dikalikan terhadap kecepatan kendaraan pengangkut sampah dan diperoleh waktu tempuh sebesar 24 menit.
4. Jam kerja maksimal sebesar 420 menit atau setara 7 jam.

5.3 Pengolahan Data

5.3.1 Pengolahan Data Hipotetik

Sebelum melakukan pengolahan data untuk kasus nyata, dilakukan perhitungan untuk pengujian model dengan menggunakan data hipotetik terlebih dahulu. Hal tersebut dilakukan untuk menguji kesesuaian model terhadap kondisi nyata. Data hipotetik tersebut kemudian dicari solusi optimal berdasarkan model matematik yang dikembangkan dengan menggunakan software LINGO 11.0. Pada pengolahan model matematis ini dilakukan sesuai tahapan pada pengolahan data di kondisi nyata. Pada tahap awal model matematis dikerjakan dengan branch and bound terhadap masing-masing fungsi tujuan untuk memperoleh nilai optimal yang akan digunakan dalam pengolahan *fuzzy goal programming*. Berikut input model ke software LINGO 11.0 untuk optimasi fungsi tujuan minimasi biaya.

```

MIN = BTKK+ BOK ;
BTKK = @SUM (SET_v (v) : CB * Bv * Wv (v)) ;
BOK = ((TK1) * Vkec * HargaSolarMeter )+((TK2) * Vkec * HargaSolarMeter )+
((TK3) * Vkec * HargaSolarMeter );

```

```

TK1=Waktuperjalanan1+ waktuberangkat1+ TPBD+TPBST1+TPSBT1;
TK2=Waktuperjalanan2+ waktuberangkat2+ TPBD+TPBST2+TPSBT2;
TK3=Waktuperjalanan3+ waktuberangkat3+ TPBD+TPBST3+TPSBT3;

```

Berdasarkan input model tersebut diperoleh hasil sebagai berikut.

Global optimal solution found.

| | |
|--------------------------|---------------|
| Objective value: | 799869.9 |
| Objective bound: | 799869.9 |
| Infeasibilities: | 0.5820766E-10 |
| Extended solver steps: | 0 |
| Total solver iterations: | 99 |

Sedangkan untuk maksimasi sumber sampah adalah sebagai berikut.

```

MAX = @SUM (Link_ik(i,k):Vi(i)*Yik(i,k)) + @SUM (Link_il(i,l): Vi(i)*Yil(i,l)) +
@SUM(Link_im(i,m):Vi(i)*Yim(i,m));

```

Hasil pengolahan dengan Lingo 11.0 dengan fungsi tujuan diatas adalah sebagai berikut.

| | |
|--------------------------------|----------|
| Global optimal solution found. | |
| Objective value: | 28.00000 |
| Objective bound: | 28.00000 |

| | |
|--------------------------|----------|
| Infeasibilities: | 0.000000 |
| Extended solver steps: | 0 |
| Total solver iterations: | 20 |

Berdasarkan hasil pengolahan data tersebut diperoleh bahwa nilai Z_1^* sebesar Rp 799.869,00. Sedangkan nilai Z_2^* adalah 28 m^3 . Nilai \overline{Z}_1 diasumsikan sebesar Rp 963.000,00 berasal dari biaya tenaga kerja dan biaya bahan bakar solar 15 liter untuk setiap kendaraan sedangkan \overline{Z}_2 diasumsikan sebesar 74% dari jumlah total sampah sesuai kondisi rill. Berdasarkan hal tersebut maka input Lingo 11.0 untuk model fuzzy goal programming dengan data hipotetik dapat dilihat pada lampiran 1.

Hasil program Lingo 11.0 untuk model fuzzy goal programming dengan data hipotetik adalah sebagai berikut.

| | |
|--------------------------------|---------------|
| Global optimal solution found. | |
| Objective value: | 1.000000 |
| Objective bound: | 1.000000 |
| Infeasibilities: | 0.7275958E-11 |
| Extended solver steps: | 0 |
| Total solver iterations: | 29 |

| Variable | Value | Reduced Cost |
|-----------------|----------|--------------|
| CB | 60000.00 | 0.000000 |
| BV | 3.000000 | 0.000000 |
| DMAX | 1000.000 | 0.000000 |
| TPDS | 4.000000 | 0.000000 |
| TPBS | 34.00000 | 0.000000 |
| TPBD | 30.00000 | 0.000000 |
| TMAX | 240.0000 | 0.000000 |
| VKEC | 667.0000 | 0.000000 |
| HARGASOLARMETER | 1.170000 | 0.000000 |
| PK | 1.000000 | 0.000000 |
| PL | 1.000000 | 0.000000 |
| PM | 1.000000 | 0.000000 |
| LAMDA | 1.000000 | 0.000000 |
| UBIAYA | 963000.0 | 0.000000 |
| BIAYAOPTIMAL | 799870.0 | 0.000000 |
| SAMPHAOPTIMAL | 28.00000 | 0.000000 |
| LSAMPAH | 21.00000 | 0.000000 |

| | | |
|--------------------|----------|------------|
| BIAYA | 799869.9 | 0.000000 |
| SAMPAH | 28.00000 | 0.000000 |
| BTKK | 540000.0 | 0.000000 |
| BOK | 259869.9 | 0.000000 |
| TK1 | 133.0000 | 0.000000 |
| TK2 | 134.0000 | 0.000000 |
| TK3 | 66.00000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN1 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN2 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN3 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN4 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN5 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN6 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN7 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN8 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN9 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN10 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN11 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN12 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN13 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN14 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN15 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN16 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN17 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN18 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN19 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN20 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN21 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN22 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN23 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN24 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN25 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN26 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN27 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN28 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN29 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN30 | 0.000000 | 0.000000 |
| XK(1) | 1.000000 | 0.000000 |
| XL(2) | 1.000000 | 0.000000 |
| XM(1) | 1.000000 | 0.000000 |
| WV(1) | 1.000000 | 0.000000 |
| WV(2) | 1.000000 | 0.000000 |
| WV(3) | 1.000000 | 0.000000 |
| TV(1) | 166.0000 | 0.000000 |
| TV(2) | 170.0000 | 0.000000 |
| TV(3) | 84.00000 | 0.000000 |
| AVT(1, 1) | 5.000000 | 0.000000 |
| AVT(1, 2) | 6.000000 | 0.000000 |
| AVT(2, 1) | 6.000000 | 0.000000 |
| AVT(2, 2) | 6.000000 | 0.000000 |
| AVT(3, 1) | 6.000000 | 0.000000 |
| ZKAVT(1, 2, 1) | 1.000000 | 0.000000 |
| ZKAVT(1, 2, 2) | 1.000000 | 0.000000 |
| ZKAVT(1, 3, 1) | 1.000000 | 0.000000 |
| ZLAVT(2, 1, 1) | 1.000000 | 0.000000 |
| ZMAVT(1, 1, 2) | 1.000000 | 0.000000 |
| YIK(2, 1) | 1.000000 | -2.571429 |
| YIL(1, 2) | 1.000000 | -0.5714286 |
| YIM(3, 1) | 1.000000 | -0.8571429 |
| PDKTV(1, 1, 1, 2) | 1.000000 | 0.000000 |
| PDKTV(1, 1, 1, 3) | 1.000000 | 0.000000 |
| PDLTV(1, 2, 1, 1) | 1.000000 | 0.000000 |

Berdasarkan hasil pengolahan Lingo 11.0 menunjukkan bahwa nilai

$\lambda = 1$ dengan TPS yang tetap dipertahankan adalah Depo A,

Landasan Container B dan TPSS A. Depo A dilayani 3 kali oleh kendaraan 2 pada trip 1 dan 2 dan kendaraan 3 pada trip 1. Landasan Container B dilayani oleh kendaraan 1 pada trip 1. Sedangkan TPSS A dilayani oleh kendaraan 1 pada trip 2. Kendaraan 2 dan 3 berangkat dari depot (DLH) menuju ke depo. Sedangkan kendaraan 1 berangkat dari DLH ke Landasan Container B. Sumber sampah A dilayani container B, sumber sampah B dliayani depo A dan Sumber sampah C dilayani TPSS A. Selanjutnya untuk melihat kesesuaian model dilakukan analisa terhadap total waktu, kendaraan 1 memiliki total waktu 166 menit, kendaraan 2 170 menit dan kendaraan 3 memiliki total waktu 84 menit sehingga tidak melebihi jam kerja kendaraan sebesar 240 menit.

5.3.2 Pengolahan Data Rill

Data rill dilakukan pengolahan dengan tahapan yang sama dengan data hipotetik. Data tersebut kemudian dicari solusi optimal berdasarkan model matematik yang dikembangkan dengan menggunakan software LINGO 11.0. Pada tahap awal model matematis dikerjakan dengan branch and bound terhadap masing-masing fungsi tujuan untuk memperoleh nilai optimal yang akan digunakan dalam pengolahan *fuzzy goal programming*. Berikut input model ke software LINGO 11.0 untuk optimasi fungsi tujuan minimasi biaya.

```

MIN = BTKK+ BOK ;
BTKK = @SUM(SET_v (v) : CB * Bv * Wv (v)) ;
BOK = ((TK1) * Vkec * HargaSolarMeter)+((TK2) * Vkec * HargaSolarMeter )+
      ((TK3) * Vkec * HargaSolarMeter );
TK1=Waktuperjalanan1+ waktuberangkat1+ TPBD+TPBST1+TPSBT1;
TK2=Waktuperjalanan2+ waktuberangkat2+ TPBD+TPBST2+TPSBT2;
TK3=Waktuperjalanan3+ waktuberangkat3+ TPBD+TPBST3+TPSBT3;

```

Berdasarkan input fungsi tujuan model tersebut diperoleh hasil

pengolahan dengan data rill sebagai berikut.

```

Global optimal solution found.
Objective value: 1431608.
Objective bound: 1431608.
Infeasibilities: 0.1455192E-10
Extended solver steps: 0
Total solver iterations: 775

```

Sedangkan untuk maksimasi sumber sampah adalah sebagai berikut.

$$\text{MAX} = @\text{SUM}(\text{Link_ik}(i,k) : \text{Vi}(i) * \text{Yik}(i,k)) + @\text{SUM}(\text{Link_il}(i,l) : \text{Vi}(i) * \text{Yil}(i,l)) + @\text{SUM}(\text{Link_im}(i,m) : \text{Vi}(i) * \text{Yim}(i,m));$$

Hasil pengolahan dengan Lingo 11.0 dengan fungsi tujuan diatas adalah sebagai berikut.

```

Global optimal solution found.
Objective value: 103.0785
Objective bound: 103.0785
Infeasibilities: 0.000000
Extended solver steps: 5
Total solver iterations: 13783

```

Berdasarkan hasil pengolahan data tersebut diperoleh bahwa nilai Z_1^* sebesar Rp 1.431.608,00. Sedangkan nilai Z_2^* adalah 103.08 m³. Nilai $\overline{Z_1}$ diasumsikan sebesar Rp 1.605.000,00 berasal dari biaya tenaga kerja dan biaya bahan bakar solar 15 liter untuk setiap kendaraan sedangkan $\overline{Z_2}$ sebesar 74% dari jumlah total sampah sesuai dengan Peraturan Walikota Yogyakarta Nomor 67 Tahun 2018. Berdasarkan hal tersebut maka input Lingo 11.0 untuk model fuzzy goal programming dengan data rill dapat dilihat pada lampiran 2.

Hasil program Lingo 11.0 untuk model fuzzy goal programming dengan data rill adalah sebagai berikut.

```

Global optimal solution found.
Objective value: 0.4730391
Objective bound: 0.4730391
Infeasibilities: 0.1164153E-09

```

Extended solver steps:
 Total solver iterations:

4
 1152

| Variable | Value | Reduced Cost |
|------------------|---------------|--------------|
| CB | 60000.00 | 0.000000 |
| BV | 3.000000 | 0.000000 |
| DMAX | 2000.000 | 0.000000 |
| TPDS | 4.000000 | 0.000000 |
| TPBS | 24.00000 | 0.000000 |
| TPBD | 24.00000 | 0.000000 |
| TMAX | 420.0000 | 0.000000 |
| VKEC | 667.0000 | 0.000000 |
| HARGABENSINMETER | 1.175000 | 0.000000 |
| PK | 1.000000 | 0.000000 |
| PL | 1.000000 | 0.000000 |
| PM | 2.000000 | 0.000000 |
| LAMDA | 0.4730391 | 0.000000 |
| UBIAYA | 1605000. | 0.000000 |
| BIAYAOPTIMAL | 1431608. | 0.000000 |
| SAMPAHOPTIMAL | 103.0800 | 0.000000 |
| LSAMPAH | 59.14900 | 0.000000 |
| BIAYA | 1431608. | 0.000000 |
| SAMPAH | 79.93008 | 0.000000 |
| BTKK | 900000.0 | 0.000000 |
| BOK | 531607.7 | 0.000000 |
| TK1 | 195.3000 | 0.000000 |
| TK2 | 49.47300 | 0.000000 |
| TK3 | 192.0315 | 0.000000 |
| TK4 | 48.03150 | 0.000000 |
| TK5 | 193.4730 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN1 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUBERANGKAT1 | 3.300000 | 0.000000 |
| TPBST1 | 72.00000 | 0.000000 |
| TPSBT1 | 96.00000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN2 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUBERANGKAT2 | 1.473000 | 0.000000 |
| TPBST2 | 0.000000 | 0.000000 |
| TPSBT2 | 24.00000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN3 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUBERANGKAT3 | 0.3150000E-01 | 0.000000 |
| TPBST3 | 72.00000 | 0.000000 |
| TPSBT3 | 96.00000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN4 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUBERANGKAT4 | 0.3150000E-01 | 0.000000 |
| TPBST4 | 0.000000 | 0.000000 |
| TPSBT4 | 24.00000 | 0.000000 |
| WAKTUPERJALANAN5 | 0.000000 | 0.000000 |
| WAKTUBERANGKAT5 | 1.473000 | 0.000000 |
| TPBST5 | 72.00000 | 0.000000 |
| TPSBT5 | 96.00000 | 0.000000 |
| WAKTUPELAYANAN1 | 144.0000 | 0.000000 |

| | | |
|--------------------|-----------|------------|
| WAKTUPELAYANAN2 | 36.00000 | 0.000000 |
| WAKTUPELAYANAN3 | 144.00000 | 0.000000 |
| WAKTUPELAYANAN4 | 36.00000 | 0.000000 |
| WAKTUPELAYANAN5 | 144.00000 | 0.000000 |
| XK(1) | 1.000000 | 0.000000 |
| XM(7) | 1.000000 | 0.000000 |
| XM(18) | 1.000000 | 0.000000 |
| WV(1) | 1.000000 | 0.000000 |
| WV(2) | 1.000000 | 0.000000 |
| WV(3) | 1.000000 | 0.000000 |
| WV(4) | 1.000000 | 0.000000 |
| WV(5) | 1.000000 | 0.000000 |
| TV(1) | 339.3000 | 0.000000 |
| TV(2) | 85.47300 | 0.000000 |
| TV(3) | 336.0315 | 0.000000 |
| TV(4) | 84.03150 | 0.000000 |
| TV(5) | 337.4730 | 0.000000 |
| AVT(1, 1) | 6.000000 | 0.000000 |
| AVT(1, 2) | 6.000000 | 0.000000 |
| AVT(1, 3) | 6.000000 | 0.000000 |
| AVT(1, 4) | 6.000000 | 0.000000 |
| AVT(2, 1) | 6.000000 | 0.000000 |
| AVT(3, 1) | 6.000000 | 0.000000 |
| AVT(3, 2) | 6.000000 | 0.000000 |
| AVT(3, 3) | 6.000000 | 0.000000 |
| AVT(3, 4) | 6.000000 | 0.000000 |
| AVT(4, 1) | 6.000000 | 0.000000 |
| AVT(5, 1) | 6.000000 | 0.000000 |
| AVT(5, 2) | 6.000000 | 0.000000 |
| AVT(5, 3) | 6.000000 | 0.000000 |
| AVT(5, 4) | 6.000000 | 0.000000 |
| YIK(2, 1) | 1.000000 | -0.1175134 |
| YIM(4, 7) | 1.000000 | -0.4094139 |
| YIM(1, 7) | 1.000000 | -0.5266277 |
| YIM(3, 18) | 1.000000 | -0.3727391 |
| YIM(5, 18) | 1.000000 | -0.3931520 |
| ZKAVT(1, 1, 1) | 1.000000 | 0.000000 |
| ZKAVT(1, 1, 2) | 1.000000 | 0.000000 |
| ZKAVT(1, 1, 4) | 1.000000 | 0.000000 |
| ZKAVT(1, 3, 4) | 1.000000 | 0.000000 |
| ZMAVT(7, 2, 1) | 1.000000 | 0.000000 |
| ZMAVT(7, 3, 2) | 1.000000 | 0.000000 |
| ZMAVT(7, 3, 3) | 1.000000 | 0.000000 |
| ZMAVT(7, 5, 1) | 1.000000 | 0.000000 |
| ZMAVT(18, 1, 3) | 1.000000 | 0.000000 |
| ZMAVT(18, 3, 1) | 1.000000 | 0.000000 |
| ZMAVT(18, 4, 1) | 1.000000 | 0.000000 |
| ZMAVT(18, 5, 2) | 1.000000 | 0.000000 |
| ZMAVT(18, 5, 3) | 1.000000 | 0.000000 |
| ZMAVT(18, 5, 4) | 1.000000 | 0.000000 |
| PDKTV(1, 1, 1, 1) | 1.000000 | 0.000000 |
| PDMTV(1, 7, 1, 2) | 1.000000 | 0.000000 |

| | | |
|---------------------|----------|----------|
| PDMTV(1, 7, 1, 5) | 1.000000 | 0.000000 |
| PDMTV(1, 18, 1, 3) | 1.000000 | 0.000000 |
| PDMTV(1, 18, 1, 4) | 1.000000 | 0.000000 |

Menurut hasil pengolahan dengan software Lingo 11.0 diperoleh bahwa sampah dari penduduk kelurahan Kotabaru dan Klitren akan ditampung sementara oleh TPSS Kusbini I. Sedangkan Sampah dari Kelurahan Baciro akan ditampung oleh Depo Sagan. Sampah dari masyarakat Demangan dan Terban dapat ditampung sementara oleh TPSS Pengok. Sehingga akan dipertahankan 1 Depo dan 2 TPSS di Sektor Krasak untuk menampung 79,93 m³ sampah dari penduduk Kecamatan Gondokusuman dengan biaya pengangkutan Rp 1.431.608,00. Depo Sagan dilayani oleh kendaraan 1 trip 1, 2 dan 4 serta kendaraan 3 trip 4. TPSS Kusbini I dilayani oleh kendaraan 2 trip 1, kendaraan 3 trip 2 dan 3 serta kendaraan 5 trip 1. TPSS Pengok dilayani oleh kendaraan 1 trip 3, kendaraan 3 trip 1, kendaraan 4 trip 1 serta kendaraan 5 trip 2, 3 dan 4. Kendaraan 1 dari Kantor Dinas Lingkungan Hidup berjalan menuju Depo Sagan, kendaraan 2 dan 5 menuju TPSS Kusbini I dan kendaraan 3 dan 4 menuju TPSS Pengok.

BAB VI

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas mengenai interpretasi hasil berdasarkan data-data yang diperoleh dan model yang telah dikembangkan. Selain melakukan analisa menggunakan data pada kondisi nyata, dilakukan analisa sensitivitas untuk melihat perubahan nilai parameter yang berpengaruh signifikan terhadap model.

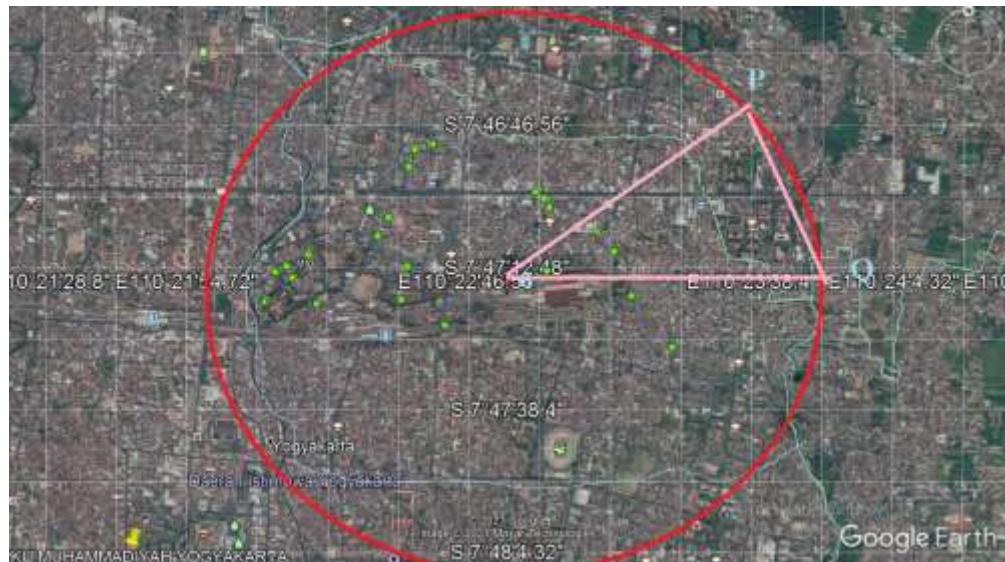
6.1 Analisis dan Pembahasan

Model *Multi Objective Integer Liniear Programming* dikembangkan dalam penelitian ini untuk membantu evaluasi dalam penentuan lokasi TPS yang akan dipertahankan dan aktifitas pengangkutan sampahnya. Tujuan pengembangan model ini untuk meminimalkan biaya aktifitas pengangkutan sampah yang terdiri dari biaya bahan bakar dan biaya tenaga kerja pengangkut sampah serta memaksimalkan jumlah sampah yang dapat ditampung oleh TPS yang akan dipertahankan. Model matematis tersebut diselesaikan dengan *fuzzy goal programming*. Pemodelan ini diawali dengan melakukan identifikasi terhadap TPS beserta volume kapasitasnya untuk menentukan jumlah maksimal TPS yang akan dipertahankan selain mempertimbangkan hasil wawancara dengan Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta.

Model dikembangkan dengan melakukan hybrid terhadap metode *facility location*, *vehicle routing problem* dan teori *fuzzy*. Metode *facility location* yang digunakan adalah *maximum covering* problem yang bertujuan untuk memaksimalkan jumlah sampah yang dapat ditampung sementara oleh TPS yang akan dipertahankan. Metode *maximum covering* dipilih karena termasuk *discrete facility location* karena titik *demand* sampah dibuat untuk mewakili sekumpulan

demand pada area tertentu (pendekatan geometris) untuk mempermudah pengolahan data (Gunhak Lee, 2008; Chauhan et al., 2019). *Discrete facility location* dianggap lebih sesuai untuk meminimalkan fasilitas karena demand akan terdistribusi pada satu titik tidak seperti kontinyu yang memungkinkan menggunakan beberapa fasilitas sehingga dapat meminimalkan jumlah fasilitas. Metode *maximum covering* diselesaikan dengan sumber sampah atau demand point berupa titik tengah sebuah kelurahan. TPS akan melayani sumber sampah yang memiliki jarak maksimal 2000 m dari titik TPS tersebut sesuai kapasitas maksimal yang dimiliki setiap jenis TPS. Jarak 2000 km ditentukan dari hasil diskusi dengan Dinas Lingkungan Hidup bahwa petugas di setiap Rukun Warga (RW) biasanya membawa sampahnya menuju TPS terdekat dengan jarak 500 hingga 2000 m. Selain itu pada *maximum covering problem* terdapat jumlah fasilitas yang akan dialokasikan, dimana dalam penelitian ini digunakan sebagai maksimal fasilitas TPS yang akan dialokasikan untuk setiap jenisnya. Sedangkan metode *vehicle routing problem* yang akan digunakan adalah *Vehicle Routing Problem Multi Trips* yang nantinya akan mempertimbangkan *intermediate facility*, pemilihan metode tersebut dilakukan karena pada kondisi nyata kendaraan pengangkut sampah akan melakukan beberapa perjalanan dalam satu rute pengangkutan dan akan melakukan perjalan ke TPA untuk melakukan *unloading* sampah yang ditampung dan melanjutkan melakukan aktifitas *routing* jika masih waktu kerja kendaraan masih mencukupi. Pada kondisi nyata kendaraan setelah mencapai kapasitas $6m^3$ akan melakukan perjalanan ke TPA Piyungan lalu kembali ke TPS terdekat yang belum dilayani, sedangkan pada penelitian ini diasumsikan jika terdapat aktifitas pengangkutan sampah pada trip tersebut kendaraan akan berjalan menuju TPA Piyungan dengan waktu tempuh yang diukur dari titik tengah sektor pengelolaan sampah dan jika ada pengangkutan kembali di trip berikutnya akan ada perjalan kembali dari TPA Piyungan ke titik tengah sektor pengelolaan sampah. Asumsi tersebut mempertimbangkan pada kondisi *rill* titik tersebut mewakili sektor pengelolaan

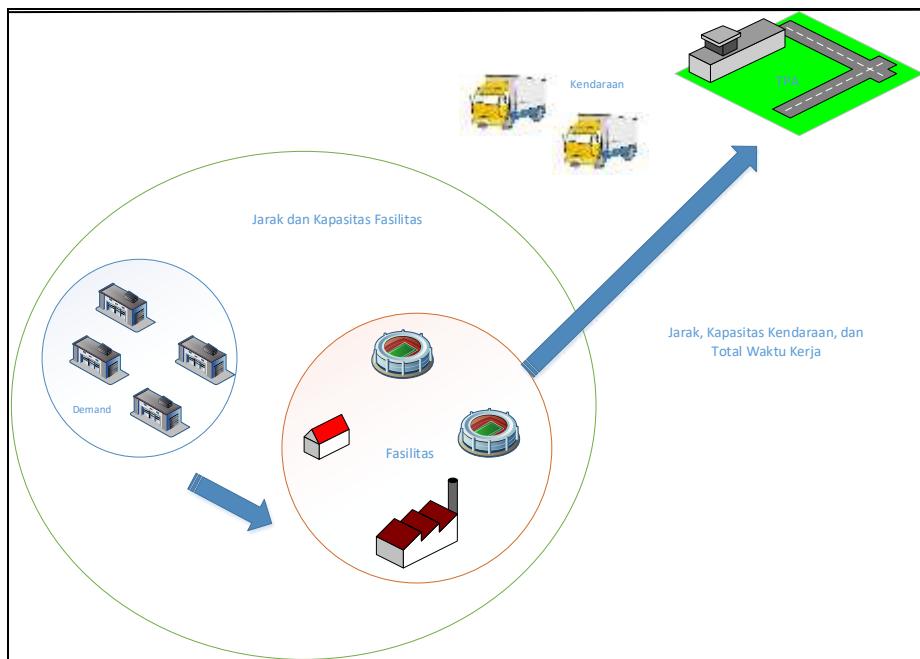
atau regional yang sudah mempertimbangkan radian dalam *facility location* sehingga jarak dan waktu tempuh akan tidak jauh berbeda dengan jarak dan waktu dari TPA Piyungan ke TPS di Sektor Krasak maupun sebaliknya seperti yang tunjukkan pada gambar 6.1, dan tabel di lampiran12.



Gambar 6.1 Cakupan Area Pengelolaan Sampah Sektor Krasak

Gambar 6.1 menunjukkan bahwa setiap fasilitas tersebut termasuk dalam regional atau sektor pengelolaan sampah di sektor krasak, sehingga dapat dikatakan juga bahwa fasilitas tersebut yang merupakan demand point dalam aktifitas *vehicle routing problem* memiliki titik pusat yang dapat mewakili kumpulan TPS tersebut. Asumsi serupa dilakukan pada penelitian pengelolaan sampah yang dilakukan (Crainic et al., 2012; Xue et al., 2015). Pada model VRP *Multi Trips* ini jumlah maksimal *trip* untuk setiap kendaraan diketahui dari hasil wawancara dengan pengangkut sampah jumlah maksimal kendaraan pengangkut melakukan unloading ke TPA dalam sehari sehingga menggunakan model yang telah dikembangkan oleh (Cattaruzza et al., 2016). Sedangkan untuk fasilitas yang memiliki kapasitas yang melebihi kapasitas kendaraan akan dilakukan *split delivery* dengan membagikan kapasitas fasilitas dengan kapasita kendaraan untuk

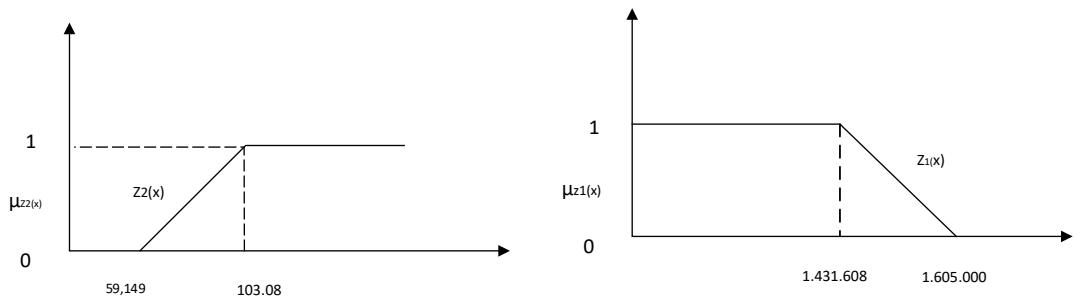
mengetahui jumlah kunjungan dan jumlah sampah terangkut sekali pelayanan seperti yang dilakukan oleh penelitian (Archetti dan Speranza, 2008; Ouhader dan Kyal, 2017). Jaringan pengelolaan sampah padat di Sektor Krasak beserta faktor yang mempengaruhi aktifitas pengelolaan dapat dilihat pada gambar 6.2.



Gambar 6.2. Struktur Jaringan Pengelolaan Sampah Padat

Selanjutnya model tersebut akan diselesaikan dengan *fuzzy goal programming*. Model matematis ini diselesaikan dengan software Lingo 11.0 dan Microsoft Excel. Pada tahap awal melakukan optimasi untuk setiap fungsi tujuan secara branch and bound dengan software Lingo 11.0. Nilai optimal untuk fungsi tujuan pertama sebesar Rp 1.431.608,00 nilai tersebut berasal dari biaya tenaga kerja untuk lima kendaraan yang digunakan untuk mengangkut sampah dan biaya bahan bakar kendaraan. Sampah yang dilayani berasal dari TPSS pengok, Depo Sagan dan TPSS Kusbini I. Sedangkan nilai optimal untuk fungsi tujuan kedua sebesar 103.08 m³/hari berasal dari jumlah sampah yang dialokasikan dari lima

kelurahan ke 1 Depo, 1 Landasan Container dan 2 TPSS. Nilai optimal jumlah sampah melebihi total volume sampah yang dihasilkan oleh masyarakat Kecamatan Gondokusuman dikarenakan batasan bahwa setiap sumber sampah minimal dapat dilayani oleh satu TPS, persamaan tersebut mengacu pada model dasar *maximum covering problem* dan kondisi nyata dimana masyarakat dapat membuang sampah pada beberapa TPS terdekat jika kapasitas TPS masih tersedia. Berdasarkan hal tersebut maka keanggotaan *fuzzy* untuk setiap fungsi tujuan adalah sebagai berikut.



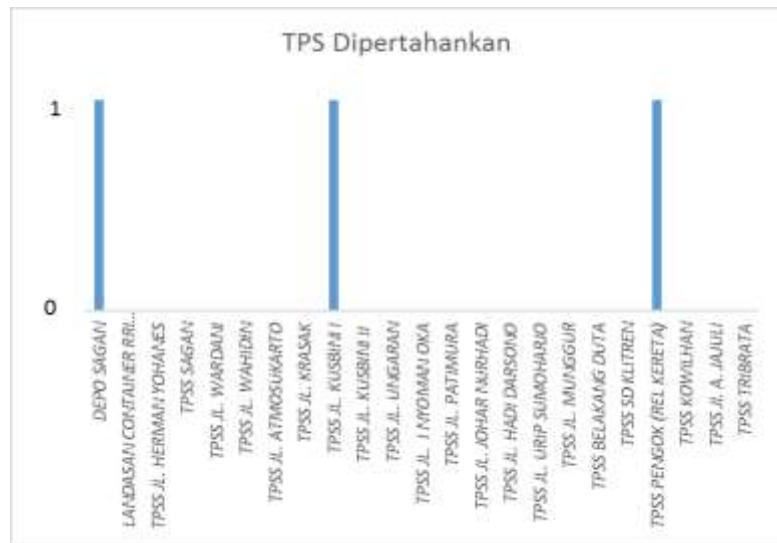
Gambar 6.3 Himpunan *Fuzzy* Data Rill

Selanjutnya nilai optimal tersebut digunakan menjadi input dalam penyelesaian model dengan *fuzzy goal programming* yang diselesaikan oleh software Lingo 11.0. Nilai λ sebagai derajat keanggotaan setiap fungsi tujuan memiliki nilai 0,47 sehingga nilai yang diperoleh belum mendekati nilai optimal untuk setiap fungsi tujuan. Hasil pengolahan dengan *software* Lingo dapat dilihat pada tabel 6.1 dan tabel 6.2.

Tabel 6.1 Fasilitas TPS yang di Pertahankan Beserta Sumber Sampah Yang di Tampung

| No. | TPS | Kapasitas TPS (m ³ /hari) | Sumber Sampah | Volume Sumber Sampah (m ³ /hari) |
|-----|----------------|---|---------------------|--|
| 1. | TPSS Kusbini I | 24 | Kotabaru Klitren | 5,16 17,98 |
| 2. | Depo Sagan | 24 | Baciro | 23,13 |
| 3. | TPSS Pengok | 36 | Demangan Terban | 16,37 17,27 |

Berdasarkan tabel 6.1 menunjukkan bahwa sampah dari penduduk kelurahan Kotabaru dan Klitren dengan total sampah 23,14 m³/hari akan ditampung sementara oleh TPSS Kusbini I yang memiliki kapasitas 24 m³/hari sehingga masih tersisa kapasitas 0,86 m³/hari. Sedangkan Sampah dari Kelurahan Baciro dengan volume 23,13 m³/hari akan ditampung oleh Depo Sagan. Sedangkan, sampah dari masyarakat Demangan dan Terban dengan volume total 33,64 m³/hari dapat ditampung sementara oleh TPSS Pengok. Total sampah yang dapat ditampung oleh tiga TPS yang akan dipertahankan sebesar 79,93 m³/hari. Selain itu, menurut hasil pengolahan data dengan software Lingo 11.0 diperlukan tiga TPS untuk menampung sementara semua sampah dari masyarakat yaitu 1 Depo berkapasitas 24 m³/hari , 1 TPSS berukuran 24 m³/hari dan 1 TPSS berukuran 36 m³/hari seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.4.



Gambar 6.4 TPS yang Dipertahankan

Gambar 6.4 menunjukkan bahwa dari 23 TPS yang terdiri dari 1 Depo, 1 Landasan Container dan 21 TPSS di Sektor Krasak akan dipertahankan sejumlah 1 Depo dan 2 TPSS. Selanjutnya dari TPS yang dipertahankan tersebut akan terbentuk rute pengakutan dimana dalam satu trip perjalanan hanya akan melayani satu TPS seperti pada asumsi penelitian. Hal tersebut dikarenakan kapasitas TPS terpilih melebihi kapasitas kendaraan dalam satu trip. Setiap fasilitas TPS yang dilayani lebih satu kali karena kapasitasnya melebihi kapasitas kendaraan dalam satu trip atau disebut *split delivery*. Rute pengangkutan sampah pada TPS yang dipertahankan adalah sebagai berikut.

Tabel 6.2 Rute Kendaraan untuk TPS yang Dipertahankan

| No. | Kendaraan | Rute | Total Trip | Total Waktu Penyelesaian (menit) | Volume Sampah Yang dapat Terangkut (m ³ /hari) |
|-----|------------|--|------------|----------------------------------|---|
| 1. | AB 8336 UA | Depot - Depo Sagan – TPA Piyungan - Depo Sagan – TPA Piyungan – TPSS Pengok - TPA Piyungan - Depo Sagan – TPA Piyungan - Depot | 5 | 339,3 | 24 |
| 2. | AB 8163 UA | Depot – TPSS Kusbini I - TPA Piyungan – Depot | 2 | 85,47 | 6 |
| 3. | AB 8247 UA | Depot – TPSS Pengok – TPA Piyungan – TPSS Kusbini I – TPA Piyungan - TPSS Kusbini I – TPA Piyungan - Depo Sagan – TPA Piyungan - Depot | 5 | 336,03 | 24 |
| 4. | AB 8133 UA | Depot – TPSS Pengok – TPA Piyungan – Depot | 2 | 84,03 | 6 |
| 5. | AB 8020 IA | Depot – TPSS Kusbini I - TPA Piyungan – TPSS Pengok - TPA Piyungan - TPSS Pengok - TPA Piyungan – Depot | 5 | 337,47 | 24 |
| | | | 19 | 1182,3 | 84 |

Berdasarkan tabel 6.2 menunjukkan bahwa untuk melakukan pengangkutan sampah dari TPS yang dipertahankan membutuhkan lima kendaraan drump truck dengan kapasitas kendaraan 6 m^3 . Jumlah sampah yang dapat terangkut sebesar $84 \text{ m}^3/\text{hari}$ dengan waktu penyelesaian tertinggi pada kendaraan 1 yaitu sebesar 339,3 menit dengan 4 trip perjalanan, sedangkan waktu penyelesaian terendah sebesar 84,03 menit yaitu kendaraan keempat dengan 1 trip perjalanan. Biaya yang dibutuhkan dalam aktifitas *routing* tersebut sebesar Rp 1.431.608,00. Biaya tersebut terdiri dari biaya tenaga kerja pengangkut sampah dan biaya bahan bakar. Biaya tenaga kerja untuk kelima kendaraan, dimana setiap kendaraan memiliki tiga tenaga kerja sebesar Rp 900.000,00. Sedangkan biaya bahan bakar diperoleh dari mengkalikan waktu tempuh setiap kendaraan dengan kecepatan sebesar 40 km/jam dan harga solar setiap meter sehingga harga bahan bakar sebesar Rp 631.608,00.

Nilai maksimal λ sebesar 0,47 menunjukkan bahwa nilai dari fungsi tujuan belum mendekati nilai optimalnya, pada fungsi tujuan pertama untuk meminimasi biaya sudah sesuai dengan nilai optimalnya yaitu Rp 1.431.608,00 sedangkan untuk fungsi tujuan kedua memiliki nilai $79,93 \text{ m}^3/\text{hari}$ dengan nilai optimal $103,08 \text{ m}^3/\text{hari}$. Nilai keanggotaan fuzzy setiap fungsi tujuan adalah sebagai berikut.

$$\mu_{z1} = \frac{1605000 - 1431608}{1605000 - 143160} = 1$$

$$\mu_{z2} = \frac{79,93 - 59,149}{103,08 - 59,149} = 0,473$$

6.2 Analisis Sensitivitas

Pada sub-bab ini akan dibahas mengenai analisa sensitivitas dengan mengubah nilai parameter yang dianggap memiliki pengaruh yang signifikan terhadap hasil keputusan yang dihasilkan oleh model. Analisa sensitivitas dilakukan pada nilai parameter volume sampah karena dapat mempengaruhi TPS yang akan dipertahankan dan berdampak juga pada penentuan rute pengangkutan sampah. Demand akan dinaikkan dan diturunkan sebesar 5% dan 15 %, presentase kenaikan merupakan hasil diskusi dengan Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta dimana pada kondisi tertentu sampah akan naik berkisar 5-15 %. Hal ini dilakukan untuk melihat perubahan dari solusi yang dihasilkan ketika terjadi perubahan pada satu parameter. Hasil perbandingan untuk keempat kondisi ditunjukkan pada tabel 6.3.

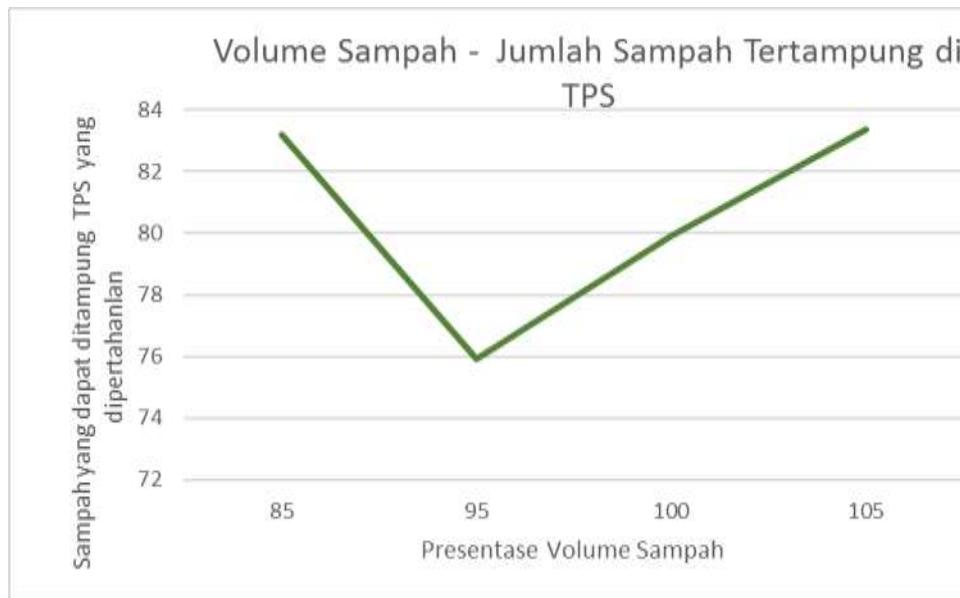
Tabel 6.3 Analisis Sensitivitas

| No. | Kondisi | TPS yang digunakan | Kendaraan yang digunakan | Biaya Transportasi | Volume Sampah yang dapat ditampung sementara di TPS | λ |
|-----|------------------------------|---|--------------------------|--------------------|---|-----------|
| 1. | Data rill | Depo Sagan TPSS Pengok TPSS Kubini I | 5 Kendaraan, 19 Trip | Rp 1.431.608,00 | 79,93 m ³ /hari | 0,473 |
| 2. | Kenaikan Volume sampah 5 % | Depo Sagan TPSS Pengok TPSS Kubini I | 5 Kendaraan, 19 Trip | Rp 1.431.608,00 | 83,39 m ³ /hari | 0,54 |
| 3. | Kenaikan Volume sampah 15 % | Nilai optimal untuk fungsi tujuan pertama berubah Rp 1.619.702,00 Dan fungsi tujuan kedua menjadi 97,85 m ³ /hari | | | | |
| 4. | Penurunan Volume sampah 5 % | Depo Sagan TPSS Pengok TPSS Kubini I | 5 Kendaraan, 19 Trip | Rp 1.431.608,00 | 75,93 m ³ /hari | 0,38 |
| 5. | Penurunan Volume sampah 15 % | Landasan Container RRI TPSS Pengok TPSS Kubini I | 5 Kendaraan, 20 Trip | Rp 1.472.069,00 | 83,22 m ³ /hari | 0,58 |

Berdasarkan tabel 6.3 menunjukkan bahwa volume sampah mempengaruhi dari biaya yang akan ditimbulkan untuk aktifitas sampah maupun sampah yang dapat ditampung sementara oleh TPS. Hal tersebut dikarenakan bahwa jumlah volume sampah akan menentukan TPS yang akan tetap dipertahankan yang nantinya akan ada aktifitas pengangkutan sampah untuk TPS tersebut. Hubungan antara volume sampah dengan setiap fungsi tujuan dapat dilihat pada gambar 6.5 dan 6.6 .



Gambar 6.5. Hubungan Presentase Volume Sampah dengan Biaya Pengangkutan Sampah



Gambar 6.6 Hubungan Presentase Volume Sampah dengan Sampah Yang Dapat Ditampung Sementara oleh TPS yang Dipertahankan

Gambar 6.5 menunjukkan bahwa biaya pengangkutan sampah dipengaruhi oleh volume sampah yang dapat ditampung karena parameter tersebut menentukan dimana sampah dialokasikan, sehingga pada kondisi penurunan 15 % ketika sampah dialokasikan pada TPS yang berbeda kondisi biaya pengangkutan sampah yang akan ditimbulkan lebih tinggi. Sedangkan gambar 6.6 menunjukkan bahwa ketika pada kondisi kenaikan 5% serta penurunan 5% pada volume sampah, TPS yang dipertahankan sama sehingga volume sampah yang dapat terlayani menunjukkan kenaikan setiap kenaikan volume sampah. Sedangkan pada penurunan 15% volume sampah TPS yang akan dipertahankan berbeda sehingga volume sampah yang dapat tertampung lebih besar dikarenakan kemampuan penampungan sampah TPS terpilih lebih besar. Pada kenaikan sampah 15% nilai optimal melebihi biaya maksimal yang ditentukan oleh pengambil keputusan sehingga diperlukan alokasi biaya tambahan untuk mengantisipasi ketika terjadi kenaikan volume sampah hingga 15%.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai kesimpulan untuk menjawab rumusan masalah dalam penelitian ini yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan serta saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya.

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan interpretasi hasil dan analisis yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Telah dikembangkan model matematis untuk penentuan fasilitas TPS yang akan dipertahankan beserta aktifitas pengangkutan sampah dari TPS tersebut. Model dikembangkan dengan melakukan hybrid terhadap metode *facility location*, *vehicle routing problem* dan teori *fuzzy* sehingga dapat meminimalkan biaya pengangkutan sampah dan memaksimalkan jumlah sampah yang dapat dikelola.
2. Diperlukan 3 TPS untuk menampung sampah dari masyarakat di Kecamatan Gondokusuman yaitu Depo Sagan, TPSS Kusbini I dan TPSS Pengok. Aktifitas pengangkutan sampah dari TPS yang dipertahankan tersebut memerlukan lima kendaraan dengan 19 trip perjalanan. Sampah yang dapat ditampung sementara sebesar $79,93 \text{ m}^3/\text{hari}$, total biaya aktifitas pengangkutan sebesar Rp 1.431.608,00 dan nilai maksimal λ sebesar 0,47.
3. Menurut hasil analisis sensitivitas, peningkatan volume sampah akan mempengaruhi jumlah fasilitas yang akan dipertahankan sehingga akan berdampak pada biaya aktifitas pengangkutan sampah dan sampah yang dapat ditampung oleh TPS yang akan dipertahankan, dengan kata lain ketika sampah dialokasikan pada TPS yang berbeda akan

mempengaruhi biaya pengangkutan sampah dan sampah yang dapat ditampung oleh TPS terpilih.

7.2 Saran

Dari penelitian yang dilakukan, terdapat beberapa saran yang diberikan untuk Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta dan untuk penelitian selanjutnya.

1. Data jumlah TPS dari pihak Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta perlu diperbarui karena terdapat beberapa lokasi TPS yang telah ditutup tetapi masih terdaftar.
2. Asumsi ruang solusi permasalahan masih bersifat diskrit. Pengembangan model selanjutnya dapat dengan merubah ruang solusi model menjadi network ataupun kontinyu sesuai dengan kondisi riil permasalahan. Sehingga titik permintaan tidak hanya diasumsikan terpusat pada suatu titik melainkan dapat sepanjang jaringan jalan.
3. Pengembangan model dapat dikombinasikan dengan *software* GIS agar solusi dapat langsung diketahui berdasarkan map Kota Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- Adeleke, O. J., & Olukanni, D. O. (2020). Facility Location Problems : Models , Techniques , and Applications in Waste Management. *MDPI*, hal.1–20.
- Alam, P., & Ahmade, K. (2013). Impact of Solid Waste on Health and the Environment. *International Journal of Sustainable Development and ...*, 2(1), hal.165–168.
- Alsalloum, O. I., & Rand, G. K. (2006). Extensions to emergency vehicle location models. *Computers and Operations Research*, vol. 33(9), hal. 2725–2743.
- Angelelli, E., & Speranza, M. G. (2002). The periodic vehicle routing problem with intermediate facilities. *European Journal of Operational Research*, vol.137.
- Assaf, R., & Saleh, Y. (2017). Vehicle-Routing Optimization For Municipal Solid Waste Collection Using Genetic Algorithm : The Case Of Southern Nablus City. *Civil And Environmental Engineering Reports*, vol. 26(3), hal. 43–57.
- Azi, N., Gendreau, M., & Potvin, J. Y. (2007). An exact algorithm for a single-vehicle routing problem with time windows and multiple routes. *European Journal of Operational Research*, vol. 178(3), hal. 755–766.
- BELAID AOUNI, J.-M. M., & HASSAIN, and A. (2010). *Fuzzy Goal Programming Model : An Overview of the Current*. vol. 161(June), hal. 149–161.
- Biswas, A., & De, A. K. (2016). A Fuzzy Goal Programming Approach for Solid Waste Management Under Multiple Uncertainties. *Procedia Environmental Sciences*, vol. 35, hal. 245–256.
- Cattaruzza, D., Absi, N., & Feillet, D. (2016). *Vehicle routing problems with multiple trips To cite this version : HAL Id : emse-01250603* (Vol. 14, Issue 3).
- Chang, C. Ter. (2007). Binary fuzzy goal programming. *European Journal of Operational Research*, vol. 180(1), hal. 29–37.
- Chauhan, D., Unnikrishnan, A., & Figliozzi, M. (2019). Maximum coverage capacitated facility location problem with range constrained drones. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol.99(May), hal.1–18.
- Chergui, M. E.-A., Moulaï, M., & Ouaïl, and F. Z. (2008). Solving the Multiple Objective Integer Linear Programming Problem. *Communications in Computer*

and Information Science, 14(April 2016), hal. 66–76.

- Crainic, T. G., Gendreau, M., & Gajpal, Y. (2012). *Multi-Zone Multi-Trip Vehicle Routing Problem with Time Windows*. *Multi-Zone Multi-Trip Vehicle Routing Problem with Time Windows*. hal. 1–36.
- Damanhuri, E., Handoko, W., & Padmi, T. (2014). Municipal Solid Waste Management in Indonesia. *Municipal Solid Waste Management in Asia and the Pacific Islands, Environmental Science and Engineering*.
- Das, S., & Bhattacharyya, B. K. (2015). Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes. *WASTE MANAGEMENT*.
- Daskin, M. S. (1995). Network and Discrete Location. In *Network and Discrete Location*.
- Daskin, M. S. (2008). What you should know about Location Modelling. *Compendium: Continuing Education For Veterinarians*, vol. 31(11), hal. 535–536.
- Drezner, T., & Drezner, Z. (2002). Validating the gravity-based competitive location model using inferred attractiveness. *Annals of Operations Research*, vol. 111(1–4), hal. 227–237.
- Eka R, V., Subchan, S., & Mudjiati, T. (2017). Pendekatan Goal Programming Untuk Penentuan Rute Kendaraan Pada Kegiatan Distribusi. *Limits: Journal of Mathematics and Its Applications*, 9(1), 1.
- Farahbakhsh, A. (2019). Sustainable location and route planning with GIS for waste sorting centers , case study : Kerman , Iran. *Waste Management & Research*.
- Gunhak Lee, M. A. (2008). Competitive Location Modeling In A Broadband Access Market: An Integrated Approach Using Gis And Spatial Optimization Dissertation. *Dissertation Presented, Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy in the Graduate School of The Ohio State University*, hal. 2–5.
- Hoornweg, Daniel and Perinaz, B.-T. (2012). WHAT A WASTE A Global Review of Solid Waste Management. *Macrocognition Metrics and Scenarios: Design and Evaluation for Real-World Teams*, hal. 29–43.
- Joseph, K. (2008). Perspective of Solid Waste Managemen in India. *British Journal of Haematology*, vol. 143(2), hal. 288–293.
- K Syahputri, Rahmi M S, Indah R, Mangara M T, J. (2019). Determination of trash hauling routes using floyd warshall algorithm in medan barat district. *Journal of Physics: Conference Series*, hal. 0–7.

- Karimifar, M. J., Sikarudi, M. K., Moradi, E., & Bidkori, M. (2009). Competitive location problem. *Contributions to Management Science*, hal. 271–294.
- Kumar, S., & Putnam, V. (2008). Cradle to cradle: Reverse logistics strategies and opportunities across three industry sectors. *International Journal of Production Economics*, vol. 115(2), hal. 305–315.
- Kuo, Y., & Wang, C. (2012). Expert Systems with Applications A variable neighborhood search for the multi-depot vehicle routing problem with loading cost. *Expert Systems With Applications*, vol. 39(8), hal. 6949–6954.
- Laura WALTHER¹, Anisa RIZVANOLLI², Mareike WENDEBOURG³, CarlosJahn, C. (2016). Modeling and Optimization Algorithms in Ship Weather Routing. *UMK Procedia*, vol. 4, hal. 31–45.
- Lei, L., Liu, S., Ruszczynski, A., & Park, S. (2006). On the integrated production, inventory, and distribution routing problem. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, vol. 38(11), hal. 955–970.
- Li, S., Yang, Y., & Teng, C. (2004). Fuzzy goal programming with multiple priorities via generalized varying-domain optimization method. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 12(5), hal. 596–605.
- Mamashli, Z., & Javadian, N. (2021). Sustainable design modifications municipal solid waste management network and better optimization for risk reduction analyses. *Journal of Cleaner Production*, hal. 279.
- Markov Tiya, Sacha Varone, M. B. (2015). *The waste collection VRP with intermediate facilities , a heterogeneous xed eet and a exible assignment of origin and destination depot.*
- Mesjasz-Lech, A. (2019). Reverse logistics of municipal solid waste - Towards zero waste cities. *Transportation Research Procedia*, vol.39,hal. 320–332.
- Mohammad, S., Erfani, H., & Danesh, S. (2017). A novel approach to find and optimize bin locations and collection routes using a geographic information system. *Waste Management & Research*.
- Niyati, M. (2012). A Comparative Study of Municipal Solid Waste Management in India and Japan. *社学研論集*, vol. 25, hal. 48–61.
- Ouhader, H., & Kyal, M. El. (2017). *Combining Facility Location and Routing Decisions in Sustainable Urban Freight Distribution under Horizontal Collaboration : How Can Shippers Be Benefited ?.*
- Qin, G., Tao, F., & Li, L. (2019). A Vehicle Routing Optimization Problem for Cold Chain Logistics Considering Customer Satisfaction and Carbon Emissions.

International Journal of Environmental Research and Public Health Article.

- Rahma, N., Purwani, A., & Febriyanto, D. N. (2020). The best route determination using nearest neighbor approach. *International Journal of Industrial Optimization*, vol. 1(1), hal. 43.
- Reza Zanjirani Farahani, M. H. (2012). Contributions to Management Science. In *Icclab.Nl*.
- Sharholy, M., Ahmad, K., Mahmood, G., & Trivedi, R. C. (2008). Municipal solid waste management in Indian cities - A review. *Waste Management*, vol.28(2), hal.459–467.
- Shuib, A., & Zaharudin, Z. A. (2011). TAZ-OPT: A goal programming model for ambulance location and allocation. *2011 IEEE Colloquium on Humanities, Science and Engineering, Chuser*, hal. 945–950.
- Speranza, C. A. and M. G. (2008). The Split Delivery Vehicle Routing Problem: A Survey. *Springer Science+Business Media, LLC 2008*, vol. 43.
- Srivastava, A. K., & Nema, A. K. (2012). Fuzzy parametric programming model for multi-objective integrated solid waste management under uncertainty. *Expert Systems with Applications*, vol. 39(5), hal. 4657–4678.
- Sulemana, A., Donkor, E. A., Forkuo, E. K., Oduro-, S., Sulemana, A., Donkor, E. A., Forkuo, E. K., Oduro-, S., & Oduro-kwarteng, S. (2019). Effect of optimal routing on travel distance , travel time and fuel consumption of waste collection trucks. *Emerald Insight*.
- Sylva, J., & Crema, A. (2004). A method for finding the set of non-dominated vectors for multiple objective integer linear programs. *European Journal of Operational Research*, 158(1), hal. 46–55.
- Tamas Banyai, Peter Tamas, Zivile S, A. B. (2019). Optimization of Municipal Waste Collection Routing : Impact of Industry 4 . 0 Technologies on Environmental Awareness and Sustainability. *International Journal of Environmental Research and Public Health Article*.
- Tan, S. T., Lee, C. T., Hashim, H., Ho, W. S., & Lim, J. S. (2014). Optimal process network for municipal solid waste management in Iskandar Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, vol. 71(2014), hal. 48–58.
- Veenstra, M., Roodbergen, K. J., Coelho, L. C., & Zhu, S. X. (2018). A simultaneous facility location and vehicle routing problem arising in health care logistics in the Netherlands. *European Journal of Operational Research*.

- Wang, Y., Assogba, K., Liu, Y., Ma, X., Xu, M., & Wang, Y. (2018). Two-echelon location-routing optimization with time windows based on customer clustering. *Expert Systems With Applications*, vol. 104, hal. 244–260.
- Xue, W., Cao, K., Xue, W., Cao, K., & Li, W. (2015). *Institutional Knowledge at Singapore Management University Municipal solid waste collection optimization in Singapore Municipal solid waste collection optimization in Singapore*.
- Yu, S., Ding, C., & Zhu, K. (2011). Expert Systems with Applications A hybrid GA – TS algorithm for open vehicle routing optimization of coal mines material. *Expert Systems With Applications*, vol. 38(8), hal. 10568–10573.
- Zhang, Y., & Chen, X. D. (n.d.). An Optimization Model for the Vehicle Routing Problem in Multi- product Frozen Food Delivery. *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 12(2), hal. 239–250.
- Zhen, L., Ma, C., Wang, K., Xiao, L., & Zhang, W. (2020). Multi-depot multi-trip vehicle routing problem with time windows and release dates. *Transportation Research Part E*, vol. 135(January), hal. 101866.
- Zimmermann, H. J. (1978). Fuzzy programming and linear programming with several objective functions. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 1(1), hal. 45–55.
- Zsigraiova, Z., Semiao, V., & Beijoco, F. (2013). Operation costs and pollutant emissions reduction by definition of new collection scheduling and optimization of MSW collection routes using GIS . The case study of Barreiro , Portugal. *Waste Mangement*, vol. 33, hal. 793–806.

LAMPIRAN

Lampiran 1

Input Model Data Hipotetik

MODEL:

SETS:

```
index;  
SET_i/1..3/:Vi;  
SET_k/1..2/:Ck,Xk,TSk;  
SET_l/1..2/:Cl,Xl,TSl;  
SET_m/1..3/:Cm,Xm,TSm;  
SET_ka/1..2/:Xka,Cka,TSka;  
SET_la/1..2/:Xla,Cla,TSla;  
SET_ma/1..3/:Xma,Cma,TSma;  
SET_kb/1..2/:Xkb,Ckb;  
SET_lb/1..2/:Xlb,Clb;  
SET_mb/1..3/:Xmb,Cmb;  
SET_v/1..3/:Wv,Tv;  
SET_t/1..2/:TPSB;  
SET_d/1..1/;  
Link_vt(SET_v,SET_t):Cvt,Avt,Mvt,Xvt;  
Link_kavt(SET_ka,SET_v,SET_t):Zkavt;  
Link_lavt(SET_la,SET_v,SET_t):Zlavt;  
Link_mavt(SET_ma,SET_v,SET_t):Zmavt;  
Link_kbvt(SET_kb,SET_v,SET_t):Zkbvt;  
Link_lbvt(SET_lb,SET_v,SET_t):Zlbvt;  
Link_mbvt(SET_mb,SET_v,SET_t):Zmbvt;  
Link_ik(SET_i,SET_k): Dik,Yik;  
Link_il(SET_i,SET_l): Dil,Yil;  
Link_im(SET_i,SET_m): Dim,Yim;  
Link_kakb(SET_ka,SET_kb):TPkk;  
Link_kamb(SET_ka,SET_mb):TPkm;  
Link_kalb(SET_ka,SET_lb):TPkl;  
Link_lakb(SET_la,SET_kb):TPLk;  
Link_lamb(SET_la,SET_mb):TPlm;  
Link_lalb(SET_la,SET_lb):TPli;  
Link_makb(SET_ma,SET_kb):TPmk;  
Link_mamb(SET_ma,SET_mb):TPmm;  
Link_malb(SET_ma,SET_lb):TPml;  
Link_kbm(SET_kb,SET_ma):TPkbm;  
Link_kbla(SET_kb,SET_la):TPkbl;  
Link_lbka(SET_lb,SET_ka):TPLbk;  
Link_lbma(SET_lb,SET_ma):TPLbm;  
Link_mbka(SET_mb,SET_ka):TPmbk;  
Link_mbla(SET_mb,SET_la):TPmbl;  
Link_dka(SET_d,SET_ka):TPdk;  
Link_dla(SET_d,SET_la):TPdl;  
Link_dma(SET_d,SET_ma):TPdm;  
Link_dkatv(SET_d,SET_ka,SET_t,SET_v):Pdktv;  
Link_dlatv(SET_d,SET_la,SET_t,SET_v):Pdltv;  
Link_dmatv(SET_d,SET_ma,SET_t,SET_v):Pdmtv;  
Link_kakbtv(SET_ka,SET_kb,SET_t,SET_v):Pkktv;  
Link_kambtv(SET_ka,SET_mb,SET_t,SET_v):Pkmtv;  
Link_kalbtv(SET_ka,SET_lb,SET_t,SET_v):Pkltv;  
Link_lakbtv(SET_la,SET_kb,SET_t,SET_v):Plktv;  
Link_lambtv(SET_la,SET_mb,SET_t,SET_v):Plmtv;  
Link_lalbtv(SET_la,SET_lb,SET_t,SET_v):Plltv;  
Link_makbtv(SET_ma,SET_kb,SET_t,SET_v):Pmktv;  
Link_mambtv(SET_ma,SET_mb,SET_t,SET_v):Pmmtv;  
Link_malbtv(SET_ma,SET_lb,SET_t,SET_v):Pmltv;  
Link_kbkatv(SET_kb,SET_ka,SET_t,SET_v):Pkbktv;  
Link_mbkatv(SET_mb,SET_ka,SET_t,SET_v):Pmbktv;  
Link_lbkatv(SET_lb,SET_ka,SET_t,SET_v):Plbktv;
```

```

Link_kblatv(SET_kb,SET_la,SET_t,SET_v):Pkbltv;
Link_mblatv(SET_mb,SET_la,SET_t,SET_v):Pmbltv;
Link_lblatv(SET_lb,SET_la,SET_t,SET_v):Plbltv;
Link_kbmatv(SET_kb,SET_ma,SET_t,SET_v):Pkbmvt;
Link_mbmatv(SET_mb,SET_ma,SET_t,SET_v):Pmbmtv;
Link_lbmatv(SET_lb,SET_ma,SET_t,SET_v):Plbmtv;
ENDSETS

```

DATA:

```

Vi = @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','Vi');
Ck = @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','Ck');
Cl = @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','Cl');
Cm = @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','Cm');
Cka = @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','Cka');
Cla = @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','Cla');
Cma = @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','Cma');
Ckb = @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','Ckb');
Clb = @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','Clb');
Cmb = @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','Cmb');
Dik = @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','Dik');
Dil = @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','Dil');
Dim = @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','Dim');
Cvt = @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','Cvt');
TPkk= @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','TPkk');
TPkl= @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','TPkl');
TPkm= @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','TPkm');
TPdk= @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','TPdk');
TPdl= @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','TPdl');
TPdm= @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','TPdm');
TPlk= @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','TPlk');
TPII= @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','TPII');
TPLm= @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','TPLm');
TPmk= @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','TPmk');
TPml= @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','TPml');
TPmm= @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','TPmm');
TPkbl= @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','TPkbl');
TPkbm= @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','TPkbm');
TPlbk= @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','TPlbk');
TPlbm= @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','TPlbm');
TPmbk= @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','TPmbk');
TPmbl= @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','TPmbl');
TSka= @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','TSka');
TSla= @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','TSla');
TSma= @OLE('D:\Sempro\Data Hipotetik.xlsx','TSma');
CB= 35000;
Bv= 3;
Dmax = 1000;
TPDS = 4;
TPSB = 34,34;
TPBS=34;
TPBD= 30;
TMAX=240;
Vkec = 667;
HargaSolarmeter=1.17;
Pk=1;
Pl=1;
Pm=1;
ENDDATA

```

!FUNGSI TUJUAN GP;
MAX= Lamda;

UBiaya= 963000;
BiayaOptimal= 799870;

```

SampahOptimal= 28;
LSampah= 21;

(Biaya)+Lamda*(UBiaya-BiayaOptimal)<=Ubiaya;
(Sampah)-(SampahOptimal-LSampah)*Lamda>=Lsampah;

Biaya= BTKK+ BOK ;
BTKK = @SUM (SET_v (v) : CB * Bv * Wv (v)) ;
BOK = ((TK1) * Vkec * HargaSolarMeter )+((TK2) * Vkec * HargaSolarMeter )+
((TK3) * Vkec * HargaSolarMeter );

TK1=Waktuperjalanan1+ waktuberangkat1+ TPBD+TPBST1+TPSBT1;
TK2=Waktuperjalanan2+ waktuberangkat2+ TPBD+TPBST2+TPSBT2;
TK3=Waktuperjalanan3+ waktuberangkat3+ TPBD+TPBST3+TPSBT3;

Sampah= @SUM (Link_ik(i,k) :Vi(i)*Yik(i,k)) + @SUM (Link_il(i,l): Vi(i)*Yil(i,l)) +
@SUM(Link_im(i,m):Vi(i)*Yim(i,m)) ;

!JUMLAH SAMPAH YANG DAPAT TERLAYANI;
@FOR (SET_i(i):
      (@SUM (SET_k(k) : Yik ))+ (@SUM (SET_l(l) : Yil ))+ (@SUM (SET_m(m) : Yim))> = 1);

!KAPASITAS TPS;
@FOR (SET_k(k):
      (@SUM(SET_i(i): Vi(i) * Yik(i,k))) <= Ck(k) * Xk(k));
@FOR (SET_l(l):
      (@SUM(SET_i(i): Vi(i) * Yil(i,l))) <= Cl(l) * Xl(l));
@FOR (SET_m(m):
      (@SUM(SET_i(i): Vi(i) * Yim(i,m))) <= Cm(m) * Xm(m));

!PEMBATASAN JUMLAH TPS;
@SUM(SET_k(k):Xk(k))<=Pk;
@SUM(SET_l(l):Xl(l))<=Pl;
@SUM(SET_m(m):Xm(m))<=Pm;

!JARAK PEMBUANGAN MAKSIMAL;
@FOR (Link_ik(i,k):
      Dmax*Xk(k)<= Dik(i,k)*Yik(i,k));
@FOR (Link_il(i,l):
      Dmax*Xl(l) >= Dil(i,l)*Yil(i,l));
@FOR (Link_im(i,m):
      Dmax*Xm(m)>= Dim(i,m)*Yim(i,m));

Xk(1) = Xka(1);
Xk(1)=Xkb(1);
Xk(2) = Xka(2);
Xk(2)=Xkb(2);
Xl(1) = Xla(1);
Xl(1)=Xlb(1);
Xl(2) = Xla(2);
Xl(2)=Xlb(2);
Xm(1) = Xma(1);
Xm(1)=Xmb(1);
Xm(2) = Xma(2);
Xm(2)=Xmb(2);
Xm(3) = Xma(3);
Xm(3)=Xmb(3);

!KENDARAAN BERASAL DARI DEPOT;
@SUM(SET_v(v):Wv(v))<=3;
@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_t(t)|t#eq#1:@SUM(Link_vt(v,t):Xvt(v,t)<=1));

```

```

@FOR(SET_t(t)|t#eq#1:@FOR(SET_v(v):(@SUM(Link_dkav(d,ka,t,v):Pdktv(d,ka,t,v)))+(@SUM(Link
_dlatv(d,la,t,v):Pdltv(d,la,t,v)))+(@SUM(Link_dmatv(d,ma,t,v):Pdmtv(d,ma,t,v)))=1*Wv(v));
@FOR(SET_t(t)|t#eq#2:@FOR(SET_v(v):(@SUM(Link_dkav(d,ka,t,v):Pdktv(d,ka,t,v)))+(@SUM(Link
_dlatv(d,la,t,v):Pdltv(d,la,t,v)))+(@SUM(Link_dmatv(d,ma,t,v):Pdmtv(d,ma,t,v)))=0*Wv(v));
@FOR(SET_ka(ka):@FOR(SET_t(t)|t#eq#1:@FOR(SET_v(v):@SUM (Link_kavt(ka,v,t):
Zkavt)>=@SUM(Link_dkav(d,ka,t,v):Pdktv()))));
@FOR(SET_la(la):@FOR(SET_t(t)|t#eq#1:@FOR(SET_v(v):@SUM (Link_lavt(la,v,t):
Zlavt)>=@SUM(Link_dlatv(d,la,t,v):Pdltv())));
@FOR(SET_ma(ma):@FOR(SET_t(t)|t#eq#1:@FOR(SET_v(v):@SUM (Link_mavt(ma,v,t):
Zmavt)>=@SUM(Link_dmatv(d,ma,t,v):Pdmtv()))));

```

!KAPASITAS KENDARAAN:

```

@FOR(SET_v(v):@SUM(Link_vt(v,t):Xvt(v,t))>=Wv(v));
@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_v(v):@SUM(Link_vt(v,t):Avt(v,t))<= Cvt(v,t)*Xvt(v,t)));
@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_v(v):(@SUM (SET_ka(ka)|ka#gt#1:Cka(ka)*Zkavt(ka,v,t)))+(@SUM
(SET_ka(ka)|ka#eq#1:Cka(ka)*1/3*Zkavt(ka,v,t)))+ (@SUM (SET_la(la):Cla(la)*Zlavt(la,v,t)) +
(@SUM (SET_ma(ma):Cma(ma)*Zmavt(ma,v,t)))= Avt(v,t));
@FOR(SET_ka(ka)|ka#gt#1:(@SUM (Link_kavt(ka,v,t): Zkavt))=1*Xka(ka));
@FOR(SET_ka(ka)|ka#eq#1:(@SUM(Link_kavt(ka,v,t): Zkavt))=18/6*Xka(ka));
@FOR(SET_la(la):(@SUM (Link_lavt(la,v,t): Zlavt))=1*Xla(la));
@FOR(SET_ma(ma):(@SUM (Link_mavt(ma,v,t): Zmavt))=1*Xma(ma));
@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_ma(ma):@SUM (Link_mavt(ma,v,t): Zmavt)<=2));
@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_la(la):@SUM (Link_lavt(la,v,t): Zlavt)<=2));
@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_ka(ka):@SUM (Link_kavt(ka,v,t): Zkavt)<=2));

@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_v(v):(@SUM(Link_kavt(ka,v,t):Zkavt(ka,v,t)))+
(@SUM(Link_lavt(la,v,t):Zlavt(la,v,t)))+(@SUM(Link_mavt(ma,v,t):Zmavt(ma,v,t)))>= Xvt(v,t)));

```

!HANYA ADA SATU TUJUAN DARI SUMBER YANG SAMA DALAM SATU TRIP:

```

@FOR(SET_v(v): @SUM (Link_kavt(ka,v,t)|t#eq#1: Zkavt)+ @SUM (Link_lavt(la,v,t)|t#eq#1:
Zlavt)+@SUM (Link_mavt(ma,v,t)|t#eq#1:Zmavt)>=
@SUM (Link_kavt(ka,v,t)|t#eq#2: Zkavt)+@SUM (Link_lavt(la,v,t)|t#eq#2: Zlavt)+@SUM
(Link_mavt(ma,v,t)|t#eq#2: Zmavt));

```

```

Zkavt(1,1,1)=Zkbvt(1,1,1);
Zkavt(1,1,2)=Zkbvt(1,1,2);
Zkavt(2,1,1)=Zkbvt(2,1,1);
Zkavt(2,1,2)=Zkbvt(2,1,2);
Zkavt(1,2,1)=Zkbvt(1,2,1);
Zkavt(1,2,2)=Zkbvt(1,2,2);
Zkavt(2,2,1)=Zkbvt(2,2,1);
Zkavt(2,2,2)=Zkbvt(2,2,2);
Zkavt(1,3,1)=Zkbvt(1,3,1);
Zkavt(1,3,2)=Zkbvt(1,3,2);
Zkavt(2,3,1)=Zkbvt(2,3,1);
Zkavt(2,3,2)=Zkbvt(2,3,2);

```

```

Zlavt(1,1,1)=Zlbvt(1,1,1);
Zlavt(1,1,2)=Zlbvt(1,1,2);
Zlavt(2,1,1)=Zlbvt(2,1,1);
Zlavt(2,1,2)=Zlbvt(2,1,2);
Zlavt(1,2,1)=Zlbvt(1,2,1);
Zlavt(1,2,2)=Zlbvt(1,2,2);
Zlavt(2,2,1)=Zlbvt(2,2,1);
Zlavt(2,2,2)=Zlbvt(2,2,2);
Zlavt(1,3,1)=Zlbvt(1,3,1);
Zlavt(1,3,2)=Zlbvt(1,3,2);
Zlavt(2,3,1)=Zlbvt(2,3,1);
Zlavt(2,3,2)=Zlbvt(2,3,2);

```

```

Zmavt(1,1,1)=Zmbvt(1,1,1);

```

```

Zmavt(1,1,2)=Zmbvt(1,1,2);
Zmavt(2,1,1)=Zmbvt(2,1,1);
Zmavt(2,1,2)=Zmbvt(2,1,2);
Zmavt(3,1,1)=Zmbvt(3,1,1);
Zmavt(3,1,2)=Zmbvt(3,1,2);
Zmavt(1,2,1)=Zmbvt(1,2,1);
Zmavt(1,2,2)=Zmbvt(1,2,2);
Zmavt(2,2,1)=Zmbvt(2,2,1);
Zmavt(2,2,2)=Zmbvt(2,2,2);
Zmavt(3,2,1)=Zmbvt(3,2,1);
Zmavt(3,2,2)=Zmbvt(3,2,2);
Zmavt(1,3,1)=Zmbvt(1,3,1);
Zmavt(1,3,2)=Zmbvt(1,3,2);
Zmavt(2,3,1)=Zmbvt(2,3,1);
Zmavt(2,3,2)=Zmbvt(2,3,2);
Zmavt(3,3,1)=Zmbvt(3,3,1);
Zmavt(3,3,2)=Zmbvt(3,3,2);

@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_t(t):@FOR (SET_ka(ka)|ka#ne#1: (@SUM(Link_kakbtv(ka,kb,t,v) | Kb#NE#Ka #and#
kb#ne#1:Pkktv(ka,kb,t,v)))+(@SUM(Link_kalbtv(ka,lb,t,v)|lb#ne#1:Pkltv(ka,lb,t,v)))+(@SUM(
Link_kambtv(ka,mb,t,v)|mb#ne#1:Pkmtv(ka,mb,t,v)))<=1));
@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_t(t):@FOR (SET_ka(ka)|ka#eq#1: (@SUM(Link_kakbtv(ka,kb,t,v) | Kb#NE#Ka:Pkktv(ka,kb,t,v)))+(@SUM(Link_kalbtv(ka,lb,t,v):Pkltv(ka,lb,t,v)))+(@SUM(
Link_kambtv(ka,mb,t,v):Pkmtv(ka,mb,t,v)))=0));
@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_t(t):@FOR (SET_la(la)|la#ne#1: (@SUM(Link_lakbtv(la,kb,t,v)|kb#ne#1:
Plktv(la,kb,t,v)))+(@SUM( Link_lalbtv(la,lb,t,v)|Lb#NE#la #and# lb#ne#1:Plltv(la,lb,t,v)))+(@SUM(
Link_lambtv(la,mb,t,v)|mb#ne#1:Plmtv(la,mb,t,v))<=1)));
@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_t(t):@FOR (SET_la(la)|la#eq#1: (@SUM(Link_lakbtv(la,kb,t,v):
Plktv(la,kb,t,v)))+(@SUM( Link_lalbtv(la,lb,t,v)|Lb#NE#la:Plltv(la,lb,t,v)))+(@SUM(
Link_lambtv(la,mb,t,v):Plmtv(la,mb,t,v)))=0));
@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_t(t):@FOR (SET_ma(ma)|Ma#ne#1:
(@SUM(Link_makbtv(ma,kb,t,v)|kb#ne#1:Pmktv(ma,kb,t,v)))+(@SUM(
Link_malbtv(ma,lb,t,v)|lb#ne#1:Pmltv(ma,lb,t,v)))+(@SUM( Link_mambtv(ma,mb,t,v)|mb#NE#ma
#and# mb#ne#1 :Pmmtv(ma,mb,t,v)))<=1));
@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_t(t):@FOR (SET_ma(ma)|Ma#eq#1:
(@SUM(Link_makbtv(ma,kb,t,v):Pmktv(ma,kb,t,v)))+(@SUM(
Link_malbtv(ma,lb,t,v):Pmltv(ma,lb,t,v)))+(@SUM( Link_mambtv(ma,mb,t,v)|mb#NE#ma
:Pmmtv(ma,mb,t,v)))=0)));

@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_kb(kb)|kb#eq#1:(@SUM(Link_kakbtv(ka,kb,t,v)|ka#eq#
2:Pkktv(ka,kb,t,v)))+(@SUM(Link_lakbtv(la,kb,t,v):
Plktv(la,kb,t,v))+(@SUM(Link_makbtv(ma,kb,t,v):Pmktv(ma,kb,t,v)))-
(@SUM(Link_kbkatv(kb,ka,t,v)|ka#eq#2:Pkbktv(kb,ka,t,v)))-
(@SUM(Link_kblatv(kb,la,t,v):Pkbltv(kb,la,t,v)))-(@SUM(
Link_kbmatv(kb,ma,t,v):Pkbmtv(kb,ma,t,v)))=0));
@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_kb(kb)|kb#eq#2:(@SUM(Link_kakbtv(ka,kb,t,v)|ka#eq#
1:Pkktv(ka,kb,t,v)))-(@SUM(Link_lakbtv(la,kb,t,v):
Plktv(la,kb,t,v))+(@SUM(Link_makbtv(ma,kb,t,v):Pmktv(ma,kb,t,v)))-
(@SUM(Link_kbkatv(kb,ka,t,v)|ka#eq#1:Pkbktv(kb,ka,t,v)))-
(@SUM(Link_kblatv(kb,la,t,v):Pkbltv(kb,la,t,v)))-(@SUM(
Link_kbmatv(kb,ma,t,v):Pkbmtv(kb,ma,t,v)))=0));
@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_lb(lb)|lb#eq#1:(@SUM(Link_lalbtv(la,lb,t,v)|la#eq#2:Pll
tv(la,lb,t,v)))+(@SUM(Link_kalbtv(ka,lb,t,v):
Pkltv(ka,lb,t,v))+(@SUM(Link_malbtv(ma,lb,t,v):Pmltv(ma,lb,t,v)))-
(@SUM(Link_lblatv(lb,la,t,v)|la#eq#1:Plbltv(lb,la,t,v))))-
(@SUM(Link_lblatv(lb,la,t,v)|la#eq#1:Plbltv(lb,la,t,v)))-
(@SUM(Link_lalbtv(la,lb,t,v)|la#eq#1:Plltv(la,lb,t,v)))+(@SUM(Link_kalbtv(ka,lb,t,v):
Pkltv(ka,lb,t,v))+(@SUM(Link_malbtv(ma,lb,t,v):Pmltv(ma,lb,t,v)))-
(@SUM(Link_lblatv(lb,la,t,v)|la#eq#1:Plbltv(lb,la,t,v))))-
```

```

(@SUM(Link_lbkatv(lb,ka,t,v):Plbktv(lb,ka,t,v)))-(@SUM(
Link_lbmavt(lb,ma,t,v):Plbmtv(lb,ma,t,v)))=0));
@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_mb(mb)|mb#eq#1:(@SUM(
Link_mambtv(ma,mb,t,v)|ma#gt#1
:Pmmtv(ma,mb,t,v)))+(@SUM(Link_kambtv(ka,mb,t,v):Pkmtv(ka,mb,t,v)))+(@SUM(
Link_lambtv(la,mb,t,v):Plmtv(la,mb,t,v)))-@SUM( Link_mbmavt(mb,ma,t,v)|ma#gt#1:
Pmbmtv(mb,ma,t,v)))-(@SUM(Link_mbkatv(mb,ka,t,v):Pmbktv(mb,ka,t,v)))-(@SUM(
Link_mblatv(mb,la,t,v):Pmbltv(mb,la,t,v)))=0)));
@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_mb(mb)|mb#eq#2:(@SUM(
Link_mambtv(ma,mb,t,v)|ma#ne#2
:Pmmtv(ma,mb,t,v)))+(@SUM(Link_kambtv(ka,mb,t,v):Pkmtv(ka,mb,t,v)))+(@SUM(
Link_lambtv(la,mb,t,v):Plmtv(la,mb,t,v)))-@SUM( Link_mbmavt(mb,ma,t,v)|ma#ne#2:
Pmbmtv(mb,ma,t,v)))-(@SUM(Link_mbkatv(mb,ka,t,v):Pmbktv(mb,ka,t,v)))-(@SUM(
Link_mblatv(mb,la,t,v):Pmbltv(mb,la,t,v)))=0)));
@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_mb(mb)|mb#eq#3:(@SUM(
Link_mambtv(ma,mb,t,v)|ma#ne#3
:Pmmtv(ma,mb,t,v)))+(@SUM(Link_kambtv(ka,mb,t,v):Pkmtv(ka,mb,t,v)))+(@SUM(
Link_lambtv(la,mb,t,v):Plmtv(la,mb,t,v)))-@SUM( Link_mbmavt(mb,ma,t,v)|ma#ne#3:
Pmbmtv(mb,ma,t,v)))-(@SUM(Link_mbkatv(mb,ka,t,v):Pmbktv(mb,ka,t,v)))-(@SUM(
Link_mblatv(mb,la,t,v):Pmbltv(mb,la,t,v)))=0)));

!LINERISASI:
@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_ka(ka)|ka#eq#2:@FOR(SET_lb(lb)|lb#ne#1:(@SUM(Li
nk_kavt(ka,v,t):Zkavt(ka,v,t)))+(@SUM(Link_lbvt(lb,v,t):Zlbvt(lb,v,t))-(
@SUM(Link_kalbtv(ka,lb,t,v):Pkltv(ka,lb,t,v)))<=1)));
@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_ka(ka)|ka#eq#2:@FOR(SET_mb(mb)|mb#ne#1:(@SUM(
Link_kavt(ka,v,t):Zkavt(ka,v,t)))+(@SUM(Link_mbvt(mb,v,t):Zmbvt(mb,v,t))-(
@SUM(Link_kambtv(ka,mb,t,v):Pkmtv(ka,mb,t,v)))<=1)));
@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_la(la)|la#eq#2:@FOR(SET_kb(kb)|kb#ne#1:(@SUM(Li
nk_lavt(la,v,t):Zlavt(la,v,t)))+(@SUM(Link_kbvt(kb,v,t):Zkbvt(kb,v,t))-(
@SUM(Link_lakbtv(la,kb,t,v):Plktv(la,kb,t,v)))<=1)));
@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_la(la)|la#eq#2:@FOR(SET_mb(mb)|mb#ne#1:(@SUM(
Link_lavt(la,v,t):Zlavt(la,v,t)))+(@SUM(Link_mbvt(mb,v,t):Zmbvt(mb,v,t))-(
@SUM(Link_lambtv(la,mb,t,v):Plmtv(la,mb,t,v)))<=1)));
@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_ma(ma)|ma#gt#1:@FOR(SET_kb(kb)|kb#ne#1:(@SUM(
Link_mavt(ma,v,t):Zmavt(ma,v,t)))+(@SUM(Link_kbvt(kb,v,t):Zkbvt(kb,v,t))-(
@SUM(Link_makbtv(ma,kb,t,v):Pmktv(ma,kb,t,v)))<=1)));
@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_ma(ma)|ma#gt#1:@FOR(SET_lb(lb)|lb#ne#1:(@SUM(L
ink_mavt(ma,v,t):Zmavt(ma,v,t)))+(@SUM(Link_lbvt(lb,v,t):Zlbvt(lb,v,t))-(
@SUM(Link_malbtv(ma,lb,t,v):Pmltv(ma,lb,t,v)))<=1)));
@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_ma(ma)|ma#gt#1:@FOR(SET_mb(mb)|mb#gt#1:(@SU
M(Link_mavt(ma,v,t):Zmavt(ma,v,t)))+(@SUM(Link_mbvt(mb,v,t):Zmbvt(mb,v,t))-(
@SUM(Link_mambtv(ma,mb,t,v)|ma#ne#mb:Pmmtv(ma,mb,t,v)))<=1)));
@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_ka(ka)|ka#eq#2:@FOR(SET_lb(lb)|lb#ne#1:-(
@SUM(Link_kavt(ka,v,t):Zkavt(ka,v,t)))-(
@SUM(Link_lbvt(lb,v,t):Zlbvt(lb,v,t))+(@SUM(Link_kalbtv(ka,lb,t,v):2*Pkltv(ka,lb,t,v)))<=0)));
@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_ka(ka)|ka#eq#2:@FOR(SET_mb(mb)|mb#ne#1:-(
@SUM(Link_kavt(ka,v,t):Zkavt(ka,v,t)))-(
@SUM(Link_mbvt(mb,v,t):Zmbvt(mb,v,t))+(@SUM(Link_kambtv(ka,mb,t,v):2*Pkmtv(ka,mb,t,v)))<=
0)));
@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_la(la)|la#eq#2:@FOR(SET_kb(kb)|kb#ne#1:-(
@SUM(Link_lavt(la,v,t):Zlavt(la,v,t)))-(
@SUM(Link_kbvt(kb,v,t):Zkbvt(kb,v,t))+(@SUM(Link_lakbtv(la,kb,t,v):2*Plktv(la,kb,t,v)))<=0)));
@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_la(la)|la#eq#2:@FOR(SET_mb(mb)|mb#ne#1:-(
@SUM(Link_lavt(la,v,t):Zlavt(la,v,t)))-(
@SUM(Link_mbvt(mb,v,t):Zmbvt(mb,v,t))+(@SUM(Link_lambtv(la,mb,t,v):2*Plmtv(la,mb,t,v)))<=0)))
);

```

```

@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_ma(ma)|ma#ne#1:@FOR(SET_kb(kb)|kb#ne#1:-(@SUM(Link_mavt(ma,v,t)):Zmavt(ma,v,t)))-(@SUM(Link_kbvt(kb,v,t):Zkbvt(kb,v,t)))+(@SUM(Link_makbtv(ma,kb,t,v):2*Pmkv(ma,kb,t,v)))<=0))):@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_ma(ma)|ma#ne#1:@FOR(SET_lb(lb)|lb#ne#1:-(@SUM(Link_mavt(ma,v,t)):Zmavt(ma,v,t)))-(@SUM(Link_lbvt(lb,v,t):Zlbvt(lb,v,t)))+(@SUM(Link_malbtv(ma,lb,t,v):2*Pmltv(ma,lb,t,v)))<=0)))):@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_ma(ma)|ma#ne#1:@FOR(SET_mb(mb)|mb#ne#1:-(@SUM(Link_mavt(ma,v,t)):Zmavt(ma,v,t)))-(@SUM(Link_mbvt(mb,v,t):Zmbvt(mb,v,t)))+(@SUM(Link_mambtv(ma,mb,t,v):ma#ne#mb:2*Pmmtv(ma,mb,t,v)))<=0))));
```

!BATASAN WAKTU PERJALANAN:
 $\text{FOR}(\text{SET}_v(v):\text{Tv}(v) \leq \text{TMAX} * \text{Wv}(v));$

$\text{Tv}(1) = \text{waktuperjalanan1} + \text{waktuberangkat1} + \text{waktupelayanan1} + \text{TPSBT1} + \text{TPBST1} + \text{TPBD};$
 $\text{Tv}(2) = \text{waktuperjalanan2} + \text{waktuberangkat2} + \text{waktupelayanan2} + \text{TPSBT2} + \text{TPBST2} + \text{TPBD};$
 $\text{Tv}(3) = \text{waktuperjalanan3} + \text{waktuberangkat3} + \text{waktupelayanan3} + \text{TPSBT3} + \text{TPBST3} + \text{TPBD};$

$\text{TPSBT1} = \text{@SUM}(\text{Link}_{\text{vt}}(\text{v},\text{t})|\text{v}\#\text{eq}\#1 : \text{TPSB}(\text{t}) * \text{Xvt}(\text{v},\text{t}));$
 $\text{TPSBT2} = \text{@SUM}(\text{Link}_{\text{vt}}(\text{v},\text{t})|\text{v}\#\text{eq}\#2 : \text{TPSB}(\text{t}) * \text{Xvt}(\text{v},\text{t}));$
 $\text{TPSBT3} = \text{@SUM}(\text{Link}_{\text{vt}}(\text{v},\text{t})|\text{v}\#\text{eq}\#3 : \text{TPSB}(\text{t}) * \text{Xvt}(\text{v},\text{t}));$

$\text{TPBST1} = \text{@SUM}(\text{Link}_{\text{vt}}(\text{v},\text{t})|\text{v}\#\text{eq}\#1 \text{ and } \text{t}\#\text{eq}\#2 : \text{TPBS} * \text{Xvt}(\text{v},\text{t}));$
 $\text{TPBST2} = \text{@SUM}(\text{Link}_{\text{vt}}(\text{v},\text{t})|\text{v}\#\text{eq}\#2 \text{ and } \text{t}\#\text{eq}\#2 : \text{TPBS} * \text{Xvt}(\text{v},\text{t}));$
 $\text{TPBST3} = \text{@SUM}(\text{Link}_{\text{vt}}(\text{v},\text{t})|\text{v}\#\text{eq}\#3 \text{ and } \text{t}\#\text{eq}\#2 : \text{TPBS} * \text{Xvt}(\text{v},\text{t}));$

$\text{Waktupelayanan1} = \text{@SUM}(\text{link}_{\text{kavt}}(\text{ka},\text{v},\text{t})|\text{v}\#\text{eq}\#1:\text{TSka}(\text{ka}) * \text{Zkavt}(\text{ka},\text{v},\text{t})) + \text{@SUM}(\text{link}_{\text{lavt}}(\text{la},\text{v},\text{t})|\text{v}\#\text{eq}\#1:\text{TSla}(\text{la}) * \text{Zlavt}(\text{la},\text{v},\text{t})) + \text{@SUM}(\text{link}_{\text{mavt}}(\text{ma},\text{v},\text{t})|\text{v}\#\text{eq}\#1:\text{TSma}(\text{ma}) * \text{Zmavt}(\text{ma},\text{v},\text{t}));$
 $\text{Waktupelayanan2} = \text{@SUM}(\text{link}_{\text{kavt}}(\text{ka},\text{v},\text{t})|\text{v}\#\text{eq}\#2:\text{TSka}(\text{ka}) * \text{Zkavt}(\text{ka},\text{v},\text{t})) + \text{@SUM}(\text{link}_{\text{lavt}}(\text{la},\text{v},\text{t})|\text{v}\#\text{eq}\#2:\text{TSla}(\text{la}) * \text{Zlavt}(\text{la},\text{v},\text{t})) + \text{@SUM}(\text{link}_{\text{mavt}}(\text{ma},\text{v},\text{t})|\text{v}\#\text{eq}\#2:\text{TSma}(\text{ma}) * \text{Zmavt}(\text{ma},\text{v},\text{t}));$
 $\text{Waktupelayanan3} = \text{@SUM}(\text{link}_{\text{kavt}}(\text{ka},\text{v},\text{t})|\text{v}\#\text{eq}\#3:\text{TSka}(\text{ka}) * \text{Zkavt}(\text{ka},\text{v},\text{t})) + \text{@SUM}(\text{link}_{\text{lavt}}(\text{la},\text{v},\text{t})|\text{v}\#\text{eq}\#3:\text{TSla}(\text{la}) * \text{Zlavt}(\text{la},\text{v},\text{t})) + \text{@SUM}(\text{link}_{\text{mavt}}(\text{ma},\text{v},\text{t})|\text{v}\#\text{eq}\#3:\text{TSma}(\text{ma}) * \text{Zmavt}(\text{ma},\text{v},\text{t}));$

$\text{Waktuberangkat1} = (\text{@SUM}(\text{link}_{\text{dkavt}}(\text{d},\text{ka},\text{t},\text{v})|\text{v}\#\text{eq}\#1 \text{ and } \text{t}\#\text{eq}\#1:\text{Pdktv}(\text{d},\text{ka},\text{t},\text{v}) * \text{Tpdk}(\text{d},\text{ka})) + (\text{@SUM}(\text{link}_{\text{dlavt}}(\text{d},\text{la},\text{t},\text{v})|\text{v}\#\text{eq}\#1 \text{ and } \text{t}\#\text{eq}\#1:\text{Pdltv}(\text{d},\text{la},\text{t},\text{v}) * \text{Tpdltv}(\text{d},\text{la})) + (\text{@SUM}(\text{link}_{\text{dmavt}}(\text{d},\text{ma},\text{t},\text{v})|\text{v}\#\text{eq}\#1 \text{ and } \text{t}\#\text{eq}\#1:\text{Pdmtv}(\text{d},\text{ma},\text{t},\text{v}) * \text{Tpdmtv}(\text{d},\text{ma})))$
 $\text{Waktuberangkat2} = (\text{@SUM}(\text{link}_{\text{dkavt}}(\text{d},\text{ka},\text{t},\text{v})|\text{v}\#\text{eq}\#2 \text{ and } \text{t}\#\text{eq}\#1:\text{Pdktv}(\text{d},\text{ka},\text{t},\text{v}) * \text{Tpdk}(\text{d},\text{ka})) + (\text{@SUM}(\text{link}_{\text{dlavt}}(\text{d},\text{la},\text{t},\text{v})|\text{v}\#\text{eq}\#2 \text{ and } \text{t}\#\text{eq}\#1:\text{Pdltv}(\text{d},\text{la},\text{t},\text{v}) * \text{Tpdltv}(\text{d},\text{la})) + (\text{@SUM}(\text{link}_{\text{dmavt}}(\text{d},\text{ma},\text{t},\text{v})|\text{v}\#\text{eq}\#2 \text{ and } \text{t}\#\text{eq}\#1:\text{Pdmtv}(\text{d},\text{ma},\text{t},\text{v}) * \text{Tpdmtv}(\text{d},\text{ma})))$
 $\text{Waktuberangkat3} = (\text{@SUM}(\text{link}_{\text{dkavt}}(\text{d},\text{ka},\text{t},\text{v})|\text{v}\#\text{eq}\#3 \text{ and } \text{t}\#\text{eq}\#1:\text{Pdktv}(\text{d},\text{ka},\text{t},\text{v}) * \text{Tpdk}(\text{d},\text{ka})) + (\text{@SUM}(\text{link}_{\text{dlavt}}(\text{d},\text{la},\text{t},\text{v})|\text{v}\#\text{eq}\#3 \text{ and } \text{t}\#\text{eq}\#1:\text{Pdltv}(\text{d},\text{la},\text{t},\text{v}) * \text{Tpdltv}(\text{d},\text{la})) + (\text{@SUM}(\text{link}_{\text{dmavt}}(\text{d},\text{ma},\text{t},\text{v})|\text{v}\#\text{eq}\#3 \text{ and } \text{t}\#\text{eq}\#1:\text{Pdmtv}(\text{d},\text{ma},\text{t},\text{v}) * \text{Tpdmtv}(\text{d},\text{ma})))$

$\text{Waktuperjalanan1} = \text{@SUM}(\text{Link}_{\text{kakbtv}}(\text{ka},\text{kb},\text{t},\text{v})|\text{v}\#\text{eq}\#1:\text{Pkkv}(\text{ka},\text{kb})) + \text{@SUM}(\text{Link}_{\text{kalbtv}}(\text{ka},\text{lb},\text{t},\text{v})|\text{v}\#\text{eq}\#1:\text{Pkltv}(\text{ka},\text{lb},\text{t},\text{v}) * \text{TPkl}(\text{ka},\text{lb})) + \text{@SUM}(\text{Link}_{\text{kambtv}}(\text{ka},\text{mb},\text{t},\text{v})|\text{v}\#\text{eq}\#1:\text{Pkmtv}(\text{ka},\text{mb},\text{t},\text{v}) * \text{TPkm}(\text{ka},\text{mb})) + \text{@SUM}(\text{Link}_{\text{lakbtv}}(\text{la},\text{kb},\text{t},\text{v})|\text{v}\#\text{eq}\#1:\text{Plktv}(\text{la},\text{kb},\text{t},\text{v}) * \text{TPlk}(\text{la},\text{kb})) + \text{@SUM}(\text{Link}_{\text{lalbtv}}(\text{la},\text{lb},\text{t},\text{v})|\text{v}\#\text{eq}\#1:\text{Plltv}(\text{la},\text{lb},\text{t},\text{v}) * \text{TPll}(\text{la},\text{lb})) + \text{@SUM}(\text{Link}_{\text{lambtv}}(\text{la},\text{mb},\text{t},\text{v})|\text{v}\#\text{eq}\#1:\text{Plmtv}(\text{la},\text{mb},\text{t},\text{v}) * \text{TPlm}(\text{la},\text{mb})) + \text{@SUM}(\text{Link}_{\text{makbtv}}(\text{ma},\text{kb},\text{t},\text{v})|\text{v}\#\text{eq}\#1:\text{Pmkv}(\text{ma},\text{kb})) + \text{@SUM}(\text{Link}_{\text{malbtv}}(\text{ma},\text{lb},\text{t},\text{v})|\text{v}\#\text{eq}\#1:\text{Pmltv}(\text{ma},\text{lb},\text{t},\text{v}) * \text{TPml}(\text{ma},\text{lb})) + \text{@SUM}(\text{Link}_{\text{mambtv}}(\text{ma},\text{mb},\text{t},\text{v})|\text{v}\#\text{eq}\#1:\text{Pmmtv}(\text{ma},\text{mb},\text{t},\text{v}) * \text{TPmm}(\text{ma},\text{mb}))$

Waktuperjalanan2=@SUM(Link_kakbtv(ka,kb,t,v)|v#eq#2:
 Pkktv(ka,kb,t,v)*TPkk(ka,kb))+@SUM(Link_kalbtv(ka,lb,t,v)|v#eq#2:Pkltv(ka,lb,t,v)*TPkl(ka,lb))+@SU
M(Link_kambtv(ka,mb,t,v)|v#eq#2:Pkmtv(ka,mb,t,v)*TPkm(ka,mb))
 +@SUM(Link_lakbtv(ka,kb,t,v)|v#eq#2:Plktv(ka,kb,t,v)*TPlk(ka,kb))+@SUM(Link_lalbtv(ka,lb,t,v)|v#eq#
 2:Plltv(ka,lb,t,v)*TPll(ka,lb))+@SUM(Link_lambtv(ka,mb,t,v)|v#eq#2:Plmtv(ka,mb,t,v)*TPlm(ka,mb))+
 @SUM(Link_makbtv(ka,mb,t,v)|v#eq#2:Pmktv(ka,mb,t,v)*TPmk(ka,mb))+@SUM(Link_malbtv(ka,mb,t,
 v)|v#eq#2:Pmltv(ka,mb,t,v)*TPml(ka,mb))+@SUM(Link_mambtv(ka,mb,t,v)|v#eq#2:Pmmtv(ka,mb,t,v)*
 TPmm(ka,mb));

Waktuperjalanan3=@SUM(Link_kakbtv(ka,kb,t,v)|v#eq#3:
 Pkktv(ka,kb,t,v)*TPkk(ka,kb))+@SUM(Link_kalbtv(ka,lb,t,v)|v#eq#3:Pkltv(ka,lb,t,v)*TPkl(ka,lb))+@SU
M(Link_kambtv(ka,mb,t,v)|v#eq#3:Pkmtv(ka,mb,t,v)*TPkm(ka,mb))
 +@SUM(Link_lakbtv(ka,kb,t,v)|v#eq#3:Plktv(ka,kb,t,v)*TPlk(ka,kb))+@SUM(Link_lalbtv(ka,lb,t,v)|v#eq#
 3:Plltv(ka,lb,t,v)*TPll(ka,lb))+@SUM(Link_lambtv(ka,mb,t,v)|v#eq#3:Plmtv(ka,mb,t,v)*TPlm(ka,mb))+
 @SUM(Link_makbtv(ka,mb,t,v)|v#eq#3:Pmktv(ka,mb,t,v)*TPmk(ka,mb))+@SUM(Link_malbtv(ka,mb,t,
 v)|v#eq#3:Pmltv(ka,mb,t,v)*TPml(ka,mb))+@SUM(Link_mambtv(ka,mb,t,v)|v#eq#3:Pmmtv(ka,mb,t,v)*
 TPmm(ka,mb));

! KEPUTUSAN:

```

@FOR (LINK_ik(i,k): @BIN (Yik));
@FOR (LINK_il(i,l): @BIN (Yil));
@FOR (LINK_im(i,m): @BIN (Yim));
@FOR (SET_k(k): @BIN (Xk));
@FOR (SET_l(l): @BIN (Xl));
@FOR (SET_m(m): @BIN (Xm));
@FOR (SET_ka(ka): @BIN (Xka));
@FOR (SET_la(la): @BIN (Xla));
@FOR (SET_ma(ma): @BIN (Xma));
@FOR (SET_kb(kb): @BIN (Xkb));
@FOR (SET_lb(lb): @BIN (Xlb));
@FOR (SET_mb(mb): @BIN (Xmb));
@FOR (SET_v(v): @BIN (Wv));
@FOR (Link_vt(v,t): @BIN (Xvt));
@FOR (Link_vt(v,t): @GIN (Avt));
@FOR (LINK_kavt(ka,v,t): @BIN (Zkavt));
@FOR (LINK_lavt(la,v,t): @BIN (Zlavt));
@FOR (LINK_mavt(ma,v,t): @BIN (Zmavt));
@FOR (LINK_kbvt(kb,v,t): @BIN (Zkbvt));
@FOR (LINK_lbvt(lb,v,t): @BIN (Zlbvt));
@FOR (LINK_mbvt(mb,v,t): @BIN (Zmbvt));
@FOR (LINK_kakbtv(ka,kb,t,v): @BIN (Pkktv));
@FOR (LINK_dkatv(d,ka,t,v): @BIN (Pdktv));
@FOR (LINK_dlatv(d,la,t,v): @BIN (Pdltv));
@FOR (LINK_dmatv(d,ma,t,v): @BIN (Pdmvt));
@FOR (LINK_kalbtv(ka,lb,t,v): @BIN (Pkltv));
@FOR (LINK_kambtv(ka,mb,t,v): @BIN (Pkmtv));
@FOR (LINK_lakbtv(ka,kb,t,v): @BIN (Plktv));
@FOR (LINK_lalbtv(ka,lb,t,v): @BIN (Plltv));
@FOR (LINK_lambtv(ka,mb,t,v): @BIN (Plmtv));
@FOR (LINK_makbtv(ka,mb,t,v): @BIN (Pmktv));
@FOR (LINK_malbtv(ka,mb,t,v): @BIN (Pmltv));
@FOR (LINK_mambtv(ka,mb,t,v): @BIN (Pmmtv));
@FOR (LINK_kbbatv(kb,ka,t,v): @BIN (Pkbktv));
@FOR (LINK_lbkatv(lb,ka,t,v): @BIN (Plbkty));
@FOR (LINK_mbkatv(mb,ka,t,v): @BIN (Pmbltv));
@FOR (LINK_kblatv(kb,la,t,v): @BIN (Pkbltv));
@FOR (LINK_llatv(lb,la,t,v): @BIN (Plbltv));
@FOR (LINK_mblatv(mb,la,t,v): @BIN (Pmbltv));
@FOR (LINK_kbmavt(kb,ma,t,v): @BIN (Pkbmvt));
@FOR (LINK_lbmavt(lb,ma,t,v): @BIN (Plbmvt));
@FOR (LINK_mbmavt(mb,ma,t,v): @BIN (Pmbmvt))
  
```

Lampiran 2

Input Model Data Rill

```
MODEL:  
SETS:  
    index;  
    SET_i/1..5/:Vi;  
    SET_k/1..1/:Ck,Xk,TSk;  
    SET_l/1..1/:Cl,Xl,TSl;  
    SET_m/1..21/:Cm,Xm,TSm;  
    SET_ka/1..1/:Xka,Cka,TSka;  
    SET_la/1..1/:Xla,Cla,TSla;  
    SET_ma/1..21/:Xma,Cma,TSma;  
    SET_kb/1..1/:Xkb,Ckb;  
    SET_lb/1..1/:Xlb,Clb;  
    SET_mb/1..21/:Xmb,Cmb;  
    SET_v/1..5/:Wv,Tv;  
    SET_t/1..5/:TPSB;  
    SET_d/1..1/;  
    Link_vt(SET_v,SET_t):Cvt,Mvt,Avt,Xvt;  
    Link_kavt(SET_ka,SET_v,SET_t):Zkavt;  
    Link_lavt(SET_la,SET_v,SET_t):Zlavt;  
    Link_mavt(SET_ma,SET_v,SET_t):Zmavt;  
    Link_kbvt(SET_kb,SET_v,SET_t):Zkbvt;  
    Link_lbvt(SET_lb,SET_v,SET_t):Zlbvt;  
    Link_mbvt(SET_mb,SET_v,SET_t):Zmbvt;  
    Link_ik(SET_i,SET_k):Dik,Yik;  
    Link_il(SET_i,SET_l):Dil,Yil;  
    Link_im(SET_i,SET_m):Dim,Yim;  
    Link_mamb(SET_ma,SET_mb):TPmm;  
    Link_dka(SET_d,SET_ka):TPdk;  
    Link_dla(SET_d,SET_la):TPdl;  
    Link_dma(SET_d,SET_ma):TPdm;  
    Link_dkavt(SET_d,SET_ka,SET_t,SET_v):Pdktv;  
    Link_dlatv(SET_d,SET_la,SET_t,SET_v):Pdltv;  
    Link_dmatv(SET_d,SET_ma,SET_t,SET_v):Pdmtv;  
    Link_mambtv(SET_ma,SET_mb,SET_t,SET_v):Pmmtv;  
    Link_mbmatv(SET_mb,SET_ma,SET_t,SET_v):Pmbmtv;  
ENDSETS  
  
DATA:  
Vi = @OLE('D:\Sempro \Dataaa.xlsx','Vi');  
Ck = @OLE('D:\Sempro \Dataaa.xlsx','Ck');  
Cl = @OLE('D:\Sempro \Dataaa.xlsx','Cl');  
Cm = @OLE('D:\Sempro \Dataaa.xlsx','Cm');  
Cka = @OLE('D:\Sempro \Dataaa.xlsx','Cka');  
Cla = @OLE('D:\Sempro \Dataaa.xlsx','Cla');  
Cma = @OLE('D:\Sempro \Dataaa.xlsx','Cma');  
Ckb = @OLE('D:\Sempro \Dataaa.xlsx','Ckb');  
Clb = @OLE('D:\Sempro \Dataaa.xlsx','Clb');  
Cmb = @OLE('D:\Sempro \Dataaa.xlsx','Cmb');  
Dik = @OLE('D:\Sempro \Dataaa.xlsx','Dik');  
Dil = @OLE('D:\Sempro \Dataaa.xlsx','Dil');  
Dim = @OLE('D:\Sempro \Dataaa.xlsx','Dim');  
Cvt = @OLE('D:\Sempro \Dataaa.xlsx','Cvt');  
TPdk= @OLE('D:\Sempro \Dataaa.xlsx','TPdk');  
TPdl= @OLE('D:\Sempro \Dataaa.xlsx','TPdl');  
TPdm= @OLE('D:\Sempro \Dataaa.xlsx','TPdm');  
TPmm= @OLE('D:\Sempro \Dataaa.xlsx','TPmm');
```

```

TSka= @OLE('D:\Sempro \Dataaa.xlsx','TSka');
TSlal= @OLE('D:\Sempro \Dataaa.xlsx','TSlal');
TSma= @OLE('D:\Sempro \Dataaa.xlsx','TSma');
CB= 60000;
Bv= 3;
Dmax = 2000;
TPDS = 4;
TPSB = 24,24,24,24,24;
TPBS = 24;
TPBD= 24;
TMAX=420;
Vkec = 667;
Hargasolarmeter=1.175;
Pk=1;
Pl=1;
Pm=2;
ENDDATA

!FUNGSI TUJUAN GP;
MAX= Lamda;

UBiaya= 1605000;
BiayaOptimal= 1431608;

SampahOptimal= 103.08;
LSampah= 59.149;

(Biaya)+Lamda*(UBiaya-BiayaOptimal)<=Ubiaya;
(Sampah)-(SampahOptimal-LSampah)*Lamda>=Lsampah;

Biaya= BTKK+ BOK ;
BTKK = @SUM (SET_v(v) : CB * Bv * Wv(v));
BOK = ((TK1) * Vkec * Hargasolarmeter )+((TK2) * Vkec * Hargasolarmeter )+((TK3) * Vkec * Hargasolarmeter )+((TK4) * Vkec * Hargasolarmeter )+((TK5) * Vkec * Hargasolarmeter );

TK1=Waktuperjalanan1+ waktuberangkat1+ TPBD+TPBST1+TPSBT1;
TK2=Waktuperjalanan2+ waktuberangkat2+ TPBD+TPBST2+TPSBT2;
TK3=Waktuperjalanan3+ waktuberangkat3+ TPBD+TPBST3+TPSBT3;
TK4=Waktuperjalanan4+ waktuberangkat4+ TPBD+TPBST4+TPSBT4;
TK5=Waktuperjalanan5+ waktuberangkat5+ TPBD+TPBST5+TPSBT5;

Sampah= @SUM (Link_ik(i,k) : Vi(i)*Yik(i,k)) + @SUM (Link_il(i,l): Vi(i)*Yil(i,l)) +
@SUM(Link_im(i,m):Vi(i)*Yim(i,m)) ;

!JUMLAH SAMPAH YANG DAPAT TERLAYANI;
@FOR (SET_i(i):
    (@SUM (SET_k(k) : Yik ))+ (@SUM (SET_l(l) : Yil ))+ (@SUM (SET_m(m) : Yim)) >= 1);

!KAPASITAS TPS;
@FOR (SET_k(k):
    (@SUM(SET_i(i): Vi(i) * Yik(i,k))) <= Ck(k) * Xk(k));
@FOR (SET_l(l):
    (@SUM(SET_i(i): Vi(i) * Yil(i,l))) <= Cl(l) * Xl(l));
@FOR (SET_m(m):
    (@SUM(SET_i(i): Vi(i) * Yim(i,m))) <= Cm(m) * Xm(m));

!PEMBATASAN JUMLAH TPS;
@SUM(SET_k(k):Xk(k))<=Pk;
@SUM(SET_l(l):Xl(l))<=Pl;
@SUM(SET_m(m):Xm(m))<=Pm;

!JARAK PEMBUANGAN MAKSIMAL;

```

```

@FOR (Link_ik(i,k):
      Dmax*Xk(k)>= Dik(i,k)*Yik(i,k);
@FOR (Link_il(i,l):
      Dmax*Xl(l) >= Dil(i,l)*Yil(i,l));
@FOR (Link_im(i,m):
      Dmax*Xm(m)>= Dim(i,m)*Yim(i,m));

Xk(1) = Xka(1);
Xk(1)=Xkb(1);
Xl(1) = Xla(1);
Xl(1)=Xlb(1);
Xm(1) = Xma(1);
Xm(1)=Xmb(1);
Xm(2) = Xma(2);
Xm(2)=Xmb(2);
Xm(3) = Xma(3);
Xm(3)=Xmb(3);
Xm(4) = Xma(4);
Xm(4)=Xmb(4);
Xm(5) = Xma(5);
Xm(5)=Xmb(5);
Xm(6) = Xma(6);
Xm(6)=Xmb(6);
Xm(7) = Xma(7);
Xm(7)=Xmb(7);
Xm(8) = Xma(8);
Xm(8)=Xmb(8);
Xm(9) = Xma(9);
Xm(9)=Xmb(9);
Xm(10) = Xma(10);
Xm(10)=Xmb(10);
Xm(11) = Xma(11);
Xm(11)=Xmb(11);
Xm(12) = Xma(12);
Xm(12)=Xmb(12);
Xm(13) = Xma(13);
Xm(13)=Xmb(13);
Xm(14) = Xma(14);
Xm(14)=Xmb(14);
Xm(15) = Xma(15);
Xm(15)=Xmb(15);
Xm(16) = Xma(16);
Xm(16)=Xmb(16);
Xm(17) = Xma(17);
Xm(17)=Xmb(17);
Xm(18) = Xma(18);
Xm(18)=Xmb(18);
Xm(19) = Xma(19);
Xm(19)=Xmb(19);
Xm(20) = Xma(20);
Xm(20)=Xmb(20);
Xm(21) = Xma(21);
Xm(21)=Xmb(21);

!KENDARAAN BERASAL DARI DEPOT;
@FOR(SET_t(t)|#eq#1:@FOR(SET_v(v):(@SUM(Link_dkatv(d,ka,t,v):Pdktv(d,ka,t,v)))+(@SUM(
Link_dlatv(d,la,t,v):Pdltv(d,la,t,v)))+(@SUM(Link_dmatv(d,ma,t,v):Pdmtv(d,ma,t,v)))=1*Wv(v));
@FOR(SET_t(t)|#eq#2:@FOR(SET_v(v):(@SUM(Link_dkatv(d,ka,t,v):Pdktv(d,ka,t,v)))+(@SUM(
Link_dlatv(d,la,t,v):Pdltv(d,la,t,v)))+(@SUM(Link_dmatv(d,ma,t,v):Pdmtv(d,ma,t,v)))=0*Wv(v));
@FOR(SET_t(t)|#eq#3:@FOR(SET_v(v):(@SUM(Link_dkatv(d,ka,t,v):Pdktv(d,ka,t,v)))+(@SUM(
Link_dlatv(d,la,t,v):Pdltv(d,la,t,v)))+(@SUM(Link_dmatv(d,ma,t,v):Pdmtv(d,ma,t,v)))=0*Wv(v));
@FOR(SET_t(t)|#eq#4:@FOR(SET_v(v):(@SUM(Link_dkatv(d,ka,t,v):Pdktv(d,ka,t,v)))+(@SUM(
Link_dlatv(d,la,t,v):Pdltv(d,la,t,v)))+(@SUM(Link_dmatv(d,ma,t,v):Pdmtv(d,ma,t,v)))=0*Wv(v));

```

```

@FOR(SET_t(t)|t#eq#5:@FOR(SET_v(v):(@SUM(Link_dkatv(d,ka,t,v):Pdktv(d,ka,t,v)))+(@SUM(
Link_dlatv(d,la,t,v):Pdltv(d,la,t,v)))+(@SUM(Link_dmatv(d,ma,t,v):Pdmtv(d,ma,t,v)))=0*Wv(v)));
@FOR(SET_ka(ka):@FOR(SET_t(t)|t#eq#1:@FOR(SET_v(v):@SUM (Link_kavt(ka,v,t):
Zkavt)>=@SUM(Link_dkatv(d,ka,t,v):Pdktv)))); 
@FOR(SET_la(la):@FOR(SET_t(t)|t#eq#1:@FOR(SET_v(v):@SUM (Link_lavt(la,v,t):
Zlavt)>=@SUM(Link_dlatv(d,la,t,v):Pdltv)))); 
@FOR(SET_ma(ma):@FOR(SET_t(t)|t#eq#1:@FOR(SET_v(v):@SUM (Link_mavt(ma,v,t):
Zmavt)>=@SUM(Link_dmatv(d,ma,t,v):Pdmtv))));
```

!KAPASITAS KENDARAAN:

```

@FOR(SET_v(v):@SUM(Link_vt(v,t):Xvt(v,t))>=Wv(v));
@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_v(v):@SUM(Link_vt(v,t):Avt(v,t))<= Cvt(v,t)*Xvt(v,t)));
@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_v(v):(@SUM (SET_ka(ka)|ka#gt#1:Cka(ka)*Zkavt(ka,v,t)))+(@SUM
(SET_ka(ka)|ka#eq#1:Cka(ka)*1/3*Zkavt(ka,v,t)))+ (@SUM (SET_la(la):Cla(la)*Zlavt(la,v,t)) +
(@SUM (SET_ma(ma):Cma(ma)*Zmavt(ma,v,t))= Avt(v,t));
@FOR(SET_ka(ka):(@SUM(Link_kavt(ka,v,t): Zkavt))=24/6*Xka(ka));
@FOR(SET_la(la):(@SUM (Link_lavt(la,v,t): Zlavt))=30/6*Xla(la));
@FOR(SET_ma(ma)|ma#eq#7:(@SUM (Link_mavt(ma,v,t): Zmavt))=24/6*Xma(ma));
@FOR(SET_ma(ma)|ma#eq#18:(@SUM (Link_mavt(ma,v,t): Zmavt))=36/6*Xma(ma));
@FOR(SET_ma(ma)|ma#ne#18 and# ma#ne#7:(@SUM (Link_mavt(ma,v,t):
Zmavt))=1*Xma(ma));
@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_ma(ma):@SUM (Link_mavt(ma,v,t): Zmavt)<=2));
@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_la(la):@SUM (Link_lavt(la,v,t): Zlavt)<=2));
@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_ka(ka):@SUM (Link_kavt(ka,v,t): Zkavt)<=2));

@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_v(v):(@SUM(Link_kavt(ka,v,t):Zkavt(ka,v,t)))+
(@SUM(Link_lavt(la,v,t):Zlavt(la,v,t)))+(@SUM(Link_mavt(ma,v,t):Zmavt(ma,v,t)))>= Xvt(v,t)));
```

!HANYA ADA SATU TUJUAN DARI SUMBER YANG SAMA DALAM SATU TRIP:

```

@FOR(SET_v(v): @SUM (Link_kavt(ka,v,t)|t#eq#1: Zkavt)+ @SUM (Link_lavt(la,v,t)|t#eq#1:
Zlavt)+@SUM (Link_mavt(ma,v,t)|t#eq#1:Zmavt)>=
@SUM (Link_kavt(ka,v,t)|t#eq#2: Zkavt)+@SUM (Link_lavt(la,v,t)|t#eq#2: Zlavt)+@SUM
(Link_mavt(ma,v,t)|t#eq#2: Zmavt));

@FOR(SET_v(v): @SUM (Link_kavt(ka,v,t)|t#eq#2: Zkavt)+ @SUM (Link_lavt(la,v,t)|t#eq#2:
Zlavt)+@SUM (Link_mavt(ma,v,t)|t#eq#2:Zmavt)>=
@SUM (Link_kavt(ka,v,t)|t#eq#3: Zkavt)+@SUM (Link_lavt(la,v,t)|t#eq#3: Zlavt)+@SUM
(Link_mavt(ma,v,t)|t#eq#3: Zmavt));

@FOR(SET_v(v): @SUM (Link_kavt(ka,v,t)|t#eq#3: Zkavt)+ @SUM (Link_lavt(la,v,t)|t#eq#3:
Zlavt)+@SUM (Link_mavt(ma,v,t)|t#eq#3:Zmavt)>=
@SUM (Link_kavt(ka,v,t)|t#eq#4: Zkavt)+@SUM (Link_lavt(la,v,t)|t#eq#4: Zlavt)+@SUM
(Link_mavt(ma,v,t)|t#eq#4: Zmavt));
```

```

@FOR(SET_v(v): @SUM (Link_kavt(ka,v,t)|t#eq#4: Zkavt)+ @SUM (Link_lavt(la,v,t)|t#eq#4:
Zlavt)+@SUM (Link_mavt(ma,v,t)|t#eq#4:Zmavt)>=
@SUM (Link_kavt(ka,v,t)|t#eq#5: Zkavt)+@SUM (Link_lavt(la,v,t)|t#eq#5: Zlavt)+@SUM
(Link_mavt(ma,v,t)|t#eq#5: Zmavt));
```

```

Zkavt(1,1,1)=Zkbvt(1,1,1);
Zkavt(1,1,2)=Zkbvt(1,1,2);
Zkavt(1,1,3)=Zkbvt(1,1,3);
Zkavt(1,1,4)=Zkbvt(1,1,4);
Zkavt(1,1,5)=Zkbvt(1,1,5);
Zkavt(1,2,1)=Zkbvt(1,2,1);
Zkavt(1,2,2)=Zkbvt(1,2,2);
Zkavt(1,2,3)=Zkbvt(1,2,3);
Zkavt(1,2,4)=Zkbvt(1,2,4);
Zkavt(1,2,5)=Zkbvt(1,2,5);
```

```
Zkavt(1,3,1)=Zkbvt(1,3,1);
Zkavt(1,3,2)=Zkbvt(1,3,2);
Zkavt(1,3,3)=Zkbvt(1,3,3);
Zkavt(1,3,4)=Zkbvt(1,3,4);
Zkavt(1,3,5)=Zkbvt(1,3,5);
Zkavt(1,4,1)=Zkbvt(1,4,1);
Zkavt(1,4,2)=Zkbvt(1,4,2);
Zkavt(1,4,3)=Zkbvt(1,4,3);
Zkavt(1,4,4)=Zkbvt(1,4,4);
Zkavt(1,4,5)=Zkbvt(1,4,5);
Zkavt(1,5,1)=Zkbvt(1,5,1);
Zkavt(1,5,2)=Zkbvt(1,5,2);
Zkavt(1,5,3)=Zkbvt(1,5,3);
Zkavt(1,5,4)=Zkbvt(1,5,4);
Zkavt(1,5,5)=Zkbvt(1,5,5);
```

```
Zlavt(1,1,1)=Zlbvt(1,1,1);
Zlavt(1,1,2)=Zlbvt(1,1,2);
Zlavt(1,1,3)=Zlbvt(1,1,3);
Zlavt(1,1,4)=Zlbvt(1,1,4);
Zlavt(1,1,5)=Zlbvt(1,1,5);
Zlavt(1,2,1)=Zlbvt(1,2,1);
Zlavt(1,2,2)=Zlbvt(1,2,2);
Zlavt(1,2,3)=Zlbvt(1,2,3);
Zlavt(1,2,4)=Zlbvt(1,2,4);
Zlavt(1,2,5)=Zlbvt(1,2,5);
Zlavt(1,3,1)=Zlbvt(1,3,1);
Zlavt(1,3,2)=Zlbvt(1,3,2);
Zlavt(1,3,3)=Zlbvt(1,3,3);
Zlavt(1,3,4)=Zlbvt(1,3,4);
Zlavt(1,3,5)=Zlbvt(1,3,5);
Zlavt(1,4,1)=Zlbvt(1,4,1);
Zlavt(1,4,2)=Zlbvt(1,4,2);
Zlavt(1,4,3)=Zlbvt(1,4,3);
Zlavt(1,4,4)=Zlbvt(1,4,4);
Zlavt(1,4,5)=Zlbvt(1,4,5);
Zlavt(1,5,1)=Zlbvt(1,5,1);
Zlavt(1,5,2)=Zlbvt(1,5,2);
Zlavt(1,5,3)=Zlbvt(1,5,3);
Zlavt(1,5,4)=Zlbvt(1,5,4);
Zlavt(1,5,5)=Zlbvt(1,5,5);
```

```
Zmavt(1,1,1)=Zmbvt(1,1,1);
Zmavt(1,1,2)=Zmbvt(1,1,2);
Zmavt(1,1,3)=Zmbvt(1,1,3);
Zmavt(1,1,4)=Zmbvt(1,1,4);
Zmavt(1,1,5)=Zmbvt(1,1,5);
Zmavt(1,2,1)=Zmbvt(1,2,1);
Zmavt(1,2,2)=Zmbvt(1,2,2);
Zmavt(1,2,3)=Zmbvt(1,2,3);
Zmavt(1,2,4)=Zmbvt(1,2,4);
Zmavt(1,2,5)=Zmbvt(1,2,5);
Zmavt(1,3,1)=Zmbvt(1,3,1);
Zmavt(1,3,2)=Zmbvt(1,3,2);
Zmavt(1,3,3)=Zmbvt(1,3,3);
Zmavt(1,3,4)=Zmbvt(1,3,4);
Zmavt(1,3,5)=Zmbvt(1,3,5);
Zmavt(1,4,1)=Zmbvt(1,4,1);
Zmavt(1,4,2)=Zmbvt(1,4,2);
Zmavt(1,4,3)=Zmbvt(1,4,3);
Zmavt(1,4,4)=Zmbvt(1,4,4);
Zmavt(1,4,5)=Zmbvt(1,4,5);
```

Zmavt(1,5,1)=Zmbvt(1,5,1);
Zmavt(1,5,2)=Zmbvt(1,5,2);
Zmavt(1,5,3)=Zmbvt(1,5,3);
Zmavt(1,5,4)=Zmbvt(1,5,4);
Zmavt(1,5,5)=Zmbvt(1,5,5);

Zmavt(2,1,1)=Zmbvt(2,1,1);
Zmavt(2,1,2)=Zmbvt(2,1,2);
Zmavt(2,1,3)=Zmbvt(2,1,3);
Zmavt(2,1,4)=Zmbvt(2,1,4);
Zmavt(2,1,5)=Zmbvt(2,1,5);
Zmavt(2,2,1)=Zmbvt(2,2,1);
Zmavt(2,2,2)=Zmbvt(2,2,2);
Zmavt(2,2,3)=Zmbvt(2,2,3);
Zmavt(2,2,4)=Zmbvt(2,2,4);
Zmavt(2,2,5)=Zmbvt(2,2,5);
Zmavt(2,3,1)=Zmbvt(2,3,1);
Zmavt(2,3,2)=Zmbvt(2,3,2);
Zmavt(2,3,3)=Zmbvt(2,3,3);
Zmavt(2,3,4)=Zmbvt(2,3,4);
Zmavt(2,3,5)=Zmbvt(2,3,5);
Zmavt(2,4,1)=Zmbvt(2,4,1);
Zmavt(2,4,2)=Zmbvt(2,4,2);
Zmavt(2,4,3)=Zmbvt(2,4,3);
Zmavt(2,4,4)=Zmbvt(2,4,4);
Zmavt(2,4,5)=Zmbvt(2,4,5);
Zmavt(2,5,1)=Zmbvt(2,5,1);
Zmavt(2,5,2)=Zmbvt(2,5,2);
Zmavt(2,5,3)=Zmbvt(2,5,3);
Zmavt(2,5,4)=Zmbvt(2,5,4);
Zmavt(2,5,5)=Zmbvt(2,5,5);

Zmavt(3,1,1)=Zmbvt(3,1,1);
Zmavt(3,1,2)=Zmbvt(3,1,2);
Zmavt(3,1,3)=Zmbvt(3,1,3);
Zmavt(3,1,4)=Zmbvt(3,1,4);
Zmavt(3,1,5)=Zmbvt(3,1,5);
Zmavt(3,2,1)=Zmbvt(3,2,1);
Zmavt(3,2,2)=Zmbvt(3,2,2);
Zmavt(3,2,3)=Zmbvt(3,2,3);
Zmavt(3,2,4)=Zmbvt(3,2,4);
Zmavt(3,2,5)=Zmbvt(3,2,5);
Zmavt(3,3,1)=Zmbvt(3,3,1);
Zmavt(3,3,2)=Zmbvt(3,3,2);
Zmavt(3,3,3)=Zmbvt(3,3,3);
Zmavt(3,3,4)=Zmbvt(3,3,4);
Zmavt(3,3,5)=Zmbvt(3,3,5);
Zmavt(3,4,1)=Zmbvt(3,4,1);
Zmavt(3,4,2)=Zmbvt(3,4,2);
Zmavt(3,4,3)=Zmbvt(3,4,3);
Zmavt(3,4,4)=Zmbvt(3,4,4);
Zmavt(3,4,5)=Zmbvt(3,4,5);
Zmavt(3,5,1)=Zmbvt(3,5,1);
Zmavt(3,5,2)=Zmbvt(3,5,2);
Zmavt(3,5,3)=Zmbvt(3,5,3);
Zmavt(3,5,4)=Zmbvt(3,5,4);
Zmavt(3,5,5)=Zmbvt(3,5,5);

Zmavt(4,1,1)=Zmbvt(4,1,1);
Zmavt(4,1,2)=Zmbvt(4,1,2);
Zmavt(4,1,3)=Zmbvt(4,1,3);
Zmavt(4,1,4)=Zmbvt(4,1,4);

```

Zmavt(4,1,5)=Zmbvt(4,1,5);
Zmavt(4,2,1)=Zmbvt(4,2,1);
Zmavt(4,2,2)=Zmbvt(4,2,2);
Zmavt(4,2,3)=Zmbvt(4,2,3);
Zmavt(4,2,4)=Zmbvt(4,2,4);
Zmavt(4,2,5)=Zmbvt(4,2,5);
Zmavt(4,3,1)=Zmbvt(4,3,1);
Zmavt(4,3,2)=Zmbvt(4,3,2);
Zmavt(4,3,3)=Zmbvt(4,3,3);
Zmavt(4,3,4)=Zmbvt(4,3,4);
Zmavt(4,3,5)=Zmbvt(4,3,5);
Zmavt(4,4,1)=Zmbvt(4,4,1);
Zmavt(4,4,2)=Zmbvt(4,4,2);
Zmavt(4,4,3)=Zmbvt(4,4,3);
Zmavt(4,4,4)=Zmbvt(4,4,4);
Zmavt(4,4,5)=Zmbvt(4,4,5);
Zmavt(4,5,1)=Zmbvt(4,5,1);
Zmavt(4,5,2)=Zmbvt(4,5,2);
Zmavt(4,5,3)=Zmbvt(4,5,3);
Zmavt(4,5,4)=Zmbvt(4,5,4);
Zmavt(4,5,5)=Zmbvt(4,5,5);

Zmavt(5,1,1)=Zmbvt(5,1,1);
Zmavt(5,1,2)=Zmbvt(5,1,2);
Zmavt(5,1,3)=Zmbvt(5,1,3);
Zmavt(5,1,4)=Zmbvt(5,1,4);
Zmavt(5,1,5)=Zmbvt(5,1,5);
Zmavt(5,2,1)=Zmbvt(5,2,1);
Zmavt(5,2,2)=Zmbvt(5,2,2);
Zmavt(5,2,3)=Zmbvt(5,2,3);
Zmavt(5,2,4)=Zmbvt(5,2,4);
Zmavt(5,2,5)=Zmbvt(5,2,5);
Zmavt(5,3,1)=Zmbvt(5,3,1);
Zmavt(5,3,2)=Zmbvt(5,3,2);
Zmavt(5,3,3)=Zmbvt(5,3,3);
Zmavt(5,3,4)=Zmbvt(5,3,4);
Zmavt(5,3,5)=Zmbvt(5,3,5);
Zmavt(5,4,1)=Zmbvt(5,4,1);
Zmavt(5,4,2)=Zmbvt(5,4,2);
Zmavt(5,4,3)=Zmbvt(5,4,3);
Zmavt(5,4,4)=Zmbvt(5,4,4);
Zmavt(5,4,5)=Zmbvt(5,4,5);
Zmavt(5,5,1)=Zmbvt(5,5,1);
Zmavt(5,5,2)=Zmbvt(5,5,2);
Zmavt(5,5,3)=Zmbvt(5,5,3);
Zmavt(5,5,4)=Zmbvt(5,5,4);
Zmavt(5,5,5)=Zmbvt(5,5,5);

Zmavt(6,1,1)=Zmbvt(6,1,1);
Zmavt(6,1,2)=Zmbvt(6,1,2);
Zmavt(6,1,3)=Zmbvt(6,1,3);
Zmavt(6,1,4)=Zmbvt(6,1,4);
Zmavt(6,1,5)=Zmbvt(6,1,5);
Zmavt(6,2,1)=Zmbvt(6,2,1);
Zmavt(6,2,2)=Zmbvt(6,2,2);
Zmavt(6,2,3)=Zmbvt(6,2,3);
Zmavt(6,2,4)=Zmbvt(6,2,4);
Zmavt(6,2,5)=Zmbvt(6,2,5);
Zmavt(6,3,1)=Zmbvt(6,3,1);
Zmavt(6,3,2)=Zmbvt(6,3,2);
Zmavt(6,3,3)=Zmbvt(6,3,3);
Zmavt(6,3,4)=Zmbvt(6,3,4);
Zmavt(6,3,5)=Zmbvt(6,3,5);

```

```

Zmavt(6,4,1)=Zmbvt(6,4,1);
Zmavt(6,4,2)=Zmbvt(6,4,2);
Zmavt(6,4,3)=Zmbvt(6,4,3);
Zmavt(6,4,4)=Zmbvt(6,4,4);
Zmavt(6,4,5)=Zmbvt(6,4,5);
Zmavt(6,5,1)=Zmbvt(6,5,1);
Zmavt(6,5,2)=Zmbvt(6,5,2);
Zmavt(6,5,3)=Zmbvt(6,5,3);
Zmavt(6,5,4)=Zmbvt(6,5,4);
Zmavt(6,5,5)=Zmbvt(6,5,5);

Zmavt(7,1,1)=Zmbvt(7,1,1);
Zmavt(7,1,2)=Zmbvt(7,1,2);
Zmavt(7,1,3)=Zmbvt(7,1,3);
Zmavt(7,1,4)=Zmbvt(7,1,4);
Zmavt(7,1,5)=Zmbvt(7,1,5);
Zmavt(7,2,1)=Zmbvt(7,2,1);
Zmavt(7,2,2)=Zmbvt(7,2,2);
Zmavt(7,2,3)=Zmbvt(7,2,3);
Zmavt(7,2,4)=Zmbvt(7,2,4);
Zmavt(7,2,5)=Zmbvt(7,2,5);
Zmavt(7,3,1)=Zmbvt(7,3,1);
Zmavt(7,3,2)=Zmbvt(7,3,2);
Zmavt(7,3,3)=Zmbvt(7,3,3);
Zmavt(7,3,4)=Zmbvt(7,3,4);
Zmavt(7,3,5)=Zmbvt(7,3,5);
Zmavt(7,4,1)=Zmbvt(7,4,1);
Zmavt(7,4,2)=Zmbvt(7,4,2);
Zmavt(7,4,3)=Zmbvt(7,4,3);
Zmavt(7,4,4)=Zmbvt(7,4,4);
Zmavt(7,4,5)=Zmbvt(7,4,5);
Zmavt(7,5,1)=Zmbvt(7,5,1);
Zmavt(7,5,2)=Zmbvt(7,5,2);
Zmavt(7,5,3)=Zmbvt(7,5,3);
Zmavt(7,5,4)=Zmbvt(7,5,4);
Zmavt(7,5,5)=Zmbvt(7,5,5);

Zmavt(8,1,1)=Zmbvt(8,1,1);
Zmavt(8,1,2)=Zmbvt(8,1,2);
Zmavt(8,1,3)=Zmbvt(8,1,3);
Zmavt(8,1,4)=Zmbvt(8,1,4);
Zmavt(8,1,5)=Zmbvt(8,1,5);
Zmavt(8,2,1)=Zmbvt(8,2,1);
Zmavt(8,2,2)=Zmbvt(8,2,2);
Zmavt(8,2,3)=Zmbvt(8,2,3);
Zmavt(8,2,4)=Zmbvt(8,2,4);
Zmavt(8,2,5)=Zmbvt(8,2,5);
Zmavt(8,3,1)=Zmbvt(8,3,1);
Zmavt(8,3,2)=Zmbvt(8,3,2);
Zmavt(8,3,3)=Zmbvt(8,3,3);
Zmavt(8,3,4)=Zmbvt(8,3,4);
Zmavt(8,3,5)=Zmbvt(8,3,5);
Zmavt(8,4,1)=Zmbvt(8,4,1);
Zmavt(8,4,2)=Zmbvt(8,4,2);
Zmavt(8,4,3)=Zmbvt(8,4,3);
Zmavt(8,4,4)=Zmbvt(8,4,4);
Zmavt(8,4,5)=Zmbvt(8,4,5);
Zmavt(8,5,1)=Zmbvt(8,5,1);
Zmavt(8,5,2)=Zmbvt(8,5,2);
Zmavt(8,5,3)=Zmbvt(8,5,3);
Zmavt(8,5,4)=Zmbvt(8,5,4);
Zmavt(8,5,5)=Zmbvt(8,5,5);

Zmavt(9,1,1)=Zmbvt(9,1,1);

```

```

Zmavt(9,1,2)=Zmbvt(9,1,2);
Zmavt(9,1,3)=Zmbvt(9,1,3);
Zmavt(9,1,4)=Zmbvt(9,1,4);
Zmavt(9,1,5)=Zmbvt(9,1,5);
Zmavt(9,2,1)=Zmbvt(9,2,1);
Zmavt(9,2,2)=Zmbvt(9,2,2);
Zmavt(9,2,3)=Zmbvt(9,2,3);
Zmavt(9,2,4)=Zmbvt(9,2,4);
Zmavt(9,2,5)=Zmbvt(9,2,5);
Zmavt(9,3,1)=Zmbvt(9,3,1);
Zmavt(9,3,2)=Zmbvt(9,3,2);
Zmavt(9,3,3)=Zmbvt(9,3,3);
Zmavt(9,3,4)=Zmbvt(9,3,4);
Zmavt(9,3,5)=Zmbvt(9,3,5);
Zmavt(9,4,1)=Zmbvt(9,4,1);
Zmavt(9,4,2)=Zmbvt(9,4,2);
Zmavt(9,4,3)=Zmbvt(9,4,3);
Zmavt(9,4,4)=Zmbvt(9,4,4);
Zmavt(9,4,5)=Zmbvt(9,4,5);
Zmavt(9,5,1)=Zmbvt(9,5,1);
Zmavt(9,5,2)=Zmbvt(9,5,2);
Zmavt(9,5,3)=Zmbvt(9,5,3);
Zmavt(9,5,4)=Zmbvt(9,5,4);
Zmavt(9,5,5)=Zmbvt(9,5,5);

Zmavt(10,1,1)=Zmbvt(10,1,1);
Zmavt(10,1,2)=Zmbvt(10,1,2);
Zmavt(10,1,3)=Zmbvt(10,1,3);
Zmavt(10,1,4)=Zmbvt(10,1,4);
Zmavt(10,1,5)=Zmbvt(10,1,5);
Zmavt(10,2,1)=Zmbvt(10,2,1);
Zmavt(10,2,2)=Zmbvt(10,2,2);
Zmavt(10,2,3)=Zmbvt(10,2,3);
Zmavt(10,2,4)=Zmbvt(10,2,4);
Zmavt(10,2,5)=Zmbvt(10,2,5);
Zmavt(10,3,1)=Zmbvt(10,3,1);
Zmavt(10,3,2)=Zmbvt(10,3,2);
Zmavt(10,3,3)=Zmbvt(10,3,3);
Zmavt(10,3,4)=Zmbvt(10,3,4);
Zmavt(10,3,5)=Zmbvt(10,3,5);
Zmavt(10,4,1)=Zmbvt(10,4,1);
Zmavt(10,4,2)=Zmbvt(10,4,2);
Zmavt(10,4,3)=Zmbvt(10,4,3);
Zmavt(10,4,4)=Zmbvt(10,4,4);
Zmavt(10,4,5)=Zmbvt(10,4,5);
Zmavt(10,5,1)=Zmbvt(10,5,1);
Zmavt(10,5,2)=Zmbvt(10,5,2);
Zmavt(10,5,3)=Zmbvt(10,5,3);
Zmavt(10,5,4)=Zmbvt(10,5,4);
Zmavt(10,5,5)=Zmbvt(10,5,5);

Zmavt(11,1,1)=Zmbvt(11,1,1);
Zmavt(11,1,2)=Zmbvt(11,1,2);
Zmavt(11,1,3)=Zmbvt(11,1,3);
Zmavt(11,1,4)=Zmbvt(11,1,4);
Zmavt(11,1,5)=Zmbvt(11,1,5);
Zmavt(11,2,1)=Zmbvt(11,2,1);
Zmavt(11,2,2)=Zmbvt(11,2,2);
Zmavt(11,2,3)=Zmbvt(11,2,3);
Zmavt(11,2,4)=Zmbvt(11,2,4);
Zmavt(11,2,5)=Zmbvt(11,2,5);
Zmavt(11,3,1)=Zmbvt(11,3,1);
Zmavt(11,3,2)=Zmbvt(11,3,2);

```

```

Zmavt(11,3,3)=Zmbvt(11,3,3);
Zmavt(11,3,4)=Zmbvt(11,3,4);
Zmavt(11,3,5)=Zmbvt(11,3,5);
Zmavt(11,4,1)=Zmbvt(11,4,1);
Zmavt(11,4,2)=Zmbvt(11,4,2);
Zmavt(11,4,3)=Zmbvt(11,4,3);
Zmavt(11,4,4)=Zmbvt(11,4,4);
Zmavt(11,4,5)=Zmbvt(11,4,5);
Zmavt(11,5,1)=Zmbvt(11,5,1);
Zmavt(11,5,2)=Zmbvt(11,5,2);
Zmavt(11,5,3)=Zmbvt(11,5,3);
Zmavt(11,5,4)=Zmbvt(11,5,4);
Zmavt(11,5,5)=Zmbvt(11,5,5);

Zmavt(12,1,1)=Zmbvt(12,1,1);
Zmavt(12,1,2)=Zmbvt(12,1,2);
Zmavt(12,1,3)=Zmbvt(12,1,3);
Zmavt(12,1,4)=Zmbvt(12,1,4);
Zmavt(12,1,5)=Zmbvt(12,1,5);
Zmavt(12,2,1)=Zmbvt(12,2,1);
Zmavt(12,2,2)=Zmbvt(12,2,2);
Zmavt(12,2,3)=Zmbvt(12,2,3);
Zmavt(12,2,4)=Zmbvt(12,2,4);
Zmavt(12,2,5)=Zmbvt(12,2,5);
Zmavt(12,3,1)=Zmbvt(12,3,1);
Zmavt(12,3,2)=Zmbvt(12,3,2);
Zmavt(12,3,3)=Zmbvt(12,3,3);
Zmavt(12,3,4)=Zmbvt(12,3,4);
Zmavt(12,3,5)=Zmbvt(12,3,5);
Zmavt(12,4,1)=Zmbvt(12,4,1);
Zmavt(12,4,2)=Zmbvt(12,4,2);
Zmavt(12,4,3)=Zmbvt(12,4,3);
Zmavt(12,4,4)=Zmbvt(12,4,4);
Zmavt(12,4,5)=Zmbvt(12,4,5);
Zmavt(12,5,1)=Zmbvt(12,5,1);
Zmavt(12,5,2)=Zmbvt(12,5,2);
Zmavt(12,5,3)=Zmbvt(12,5,3);
Zmavt(12,5,4)=Zmbvt(12,5,4);
Zmavt(12,5,5)=Zmbvt(12,5,5);

Zmavt(13,1,1)=Zmbvt(13,1,1);
Zmavt(13,1,2)=Zmbvt(13,1,2);
Zmavt(13,1,3)=Zmbvt(13,1,3);
Zmavt(13,1,4)=Zmbvt(13,1,4);
Zmavt(13,1,5)=Zmbvt(13,1,5);
Zmavt(13,2,1)=Zmbvt(13,2,1);
Zmavt(13,2,2)=Zmbvt(13,2,2);
Zmavt(13,2,3)=Zmbvt(13,2,3);
Zmavt(13,2,4)=Zmbvt(13,2,4);
Zmavt(13,2,5)=Zmbvt(13,2,5);
Zmavt(13,3,1)=Zmbvt(13,3,1);
Zmavt(13,3,2)=Zmbvt(13,3,2);
Zmavt(13,3,3)=Zmbvt(13,3,3);
Zmavt(13,3,4)=Zmbvt(13,3,4);
Zmavt(13,3,5)=Zmbvt(13,3,5);
Zmavt(13,4,1)=Zmbvt(13,4,1);
Zmavt(13,4,2)=Zmbvt(13,4,2);
Zmavt(13,4,3)=Zmbvt(13,4,3);
Zmavt(13,4,4)=Zmbvt(13,4,4);
Zmavt(13,4,5)=Zmbvt(13,4,5);
Zmavt(13,5,1)=Zmbvt(13,5,1);
Zmavt(13,5,2)=Zmbvt(13,5,2);
Zmavt(13,5,3)=Zmbvt(13,5,3);
Zmavt(13,5,4)=Zmbvt(13,5,4);

```

```

Zmavt(13,5,5)=Zmbvt(13,5,5);

Zmavt(14,1,1)=Zmbvt(14,1,1);
Zmavt(14,1,2)=Zmbvt(14,1,2);
Zmavt(14,1,3)=Zmbvt(14,1,3);
Zmavt(14,1,4)=Zmbvt(14,1,4);
Zmavt(14,1,5)=Zmbvt(14,1,5);
Zmavt(14,2,1)=Zmbvt(14,2,1);
Zmavt(14,2,2)=Zmbvt(14,2,2);
Zmavt(14,2,3)=Zmbvt(14,2,3);
Zmavt(14,2,4)=Zmbvt(14,2,4);
Zmavt(14,2,5)=Zmbvt(14,2,5);
Zmavt(14,3,1)=Zmbvt(14,3,1);
Zmavt(14,3,2)=Zmbvt(14,3,2);
Zmavt(14,3,3)=Zmbvt(14,3,3);
Zmavt(14,3,4)=Zmbvt(14,3,4);
Zmavt(14,3,5)=Zmbvt(14,3,5);
Zmavt(14,4,1)=Zmbvt(14,4,1);
Zmavt(14,4,2)=Zmbvt(14,4,2);
Zmavt(14,4,3)=Zmbvt(14,4,3);
Zmavt(14,4,4)=Zmbvt(14,4,4);
Zmavt(14,4,5)=Zmbvt(14,4,5);
Zmavt(14,5,1)=Zmbvt(14,5,1);
Zmavt(14,5,2)=Zmbvt(14,5,2);
Zmavt(14,5,3)=Zmbvt(14,5,3);
Zmavt(14,5,4)=Zmbvt(14,5,4);
Zmavt(14,5,5)=Zmbvt(14,5,5);

Zmavt(15,1,1)=Zmbvt(15,1,1);
Zmavt(15,1,2)=Zmbvt(15,1,2);
Zmavt(15,1,3)=Zmbvt(15,1,3);
Zmavt(15,1,4)=Zmbvt(15,1,4);
Zmavt(15,1,5)=Zmbvt(15,1,5);
Zmavt(15,2,1)=Zmbvt(15,2,1);
Zmavt(15,2,2)=Zmbvt(15,2,2);
Zmavt(15,2,3)=Zmbvt(15,2,3);
Zmavt(15,2,4)=Zmbvt(15,2,4);
Zmavt(15,2,5)=Zmbvt(15,2,5);
Zmavt(15,3,1)=Zmbvt(15,3,1);
Zmavt(15,3,2)=Zmbvt(15,3,2);
Zmavt(15,3,3)=Zmbvt(15,3,3);
Zmavt(15,3,4)=Zmbvt(15,3,4);
Zmavt(15,3,5)=Zmbvt(15,3,5);
Zmavt(15,4,1)=Zmbvt(15,4,1);
Zmavt(15,4,2)=Zmbvt(15,4,2);
Zmavt(15,4,3)=Zmbvt(15,4,3);
Zmavt(15,4,4)=Zmbvt(15,4,4);
Zmavt(15,4,5)=Zmbvt(15,4,5);
Zmavt(15,5,1)=Zmbvt(15,5,1);
Zmavt(15,5,2)=Zmbvt(15,5,2);
Zmavt(15,5,3)=Zmbvt(15,5,3);
Zmavt(15,5,4)=Zmbvt(15,5,4);
Zmavt(15,5,5)=Zmbvt(15,5,5);

Zmavt(16,1,1)=Zmbvt(16,1,1);
Zmavt(16,1,2)=Zmbvt(16,1,2);
Zmavt(16,1,3)=Zmbvt(16,1,3);
Zmavt(16,1,4)=Zmbvt(16,1,4);
Zmavt(16,1,5)=Zmbvt(16,1,5);
Zmavt(16,2,1)=Zmbvt(16,2,1);
Zmavt(16,2,2)=Zmbvt(16,2,2);
Zmavt(16,2,3)=Zmbvt(16,2,3);
Zmavt(16,2,4)=Zmbvt(16,2,4);
Zmavt(16,2,5)=Zmbvt(16,2,5);

```

Zmavt(16,3,1)=Zmbvt(16,3,1);
Zmavt(16,3,2)=Zmbvt(16,3,2);
Zmavt(16,3,3)=Zmbvt(16,3,3);
Zmavt(16,3,4)=Zmbvt(16,3,4);
Zmavt(16,3,5)=Zmbvt(16,3,5);
Zmavt(16,4,1)=Zmbvt(16,4,1);
Zmavt(16,4,2)=Zmbvt(16,4,2);
Zmavt(16,4,3)=Zmbvt(16,4,3);
Zmavt(16,4,4)=Zmbvt(16,4,4);
Zmavt(16,4,5)=Zmbvt(16,4,5);
Zmavt(16,5,1)=Zmbvt(16,5,1);
Zmavt(16,5,2)=Zmbvt(16,5,2);
Zmavt(16,5,3)=Zmbvt(16,5,3);
Zmavt(16,5,4)=Zmbvt(16,5,4);
Zmavt(16,5,5)=Zmbvt(16,5,5);

Zmavt(17,1,1)=Zmbvt(17,1,1);
Zmavt(17,1,2)=Zmbvt(17,1,2);
Zmavt(17,1,3)=Zmbvt(17,1,3);
Zmavt(17,1,4)=Zmbvt(17,1,4);
Zmavt(17,1,5)=Zmbvt(17,1,5);
Zmavt(17,2,1)=Zmbvt(17,2,1);
Zmavt(17,2,2)=Zmbvt(17,2,2);
Zmavt(17,2,3)=Zmbvt(17,2,3);
Zmavt(17,2,4)=Zmbvt(17,2,4);
Zmavt(17,2,5)=Zmbvt(17,2,5);
Zmavt(17,3,1)=Zmbvt(17,3,1);
Zmavt(17,3,2)=Zmbvt(17,3,2);
Zmavt(17,3,3)=Zmbvt(17,3,3);
Zmavt(17,3,4)=Zmbvt(17,3,4);
Zmavt(17,3,5)=Zmbvt(17,3,5);
Zmavt(17,4,1)=Zmbvt(17,4,1);
Zmavt(17,4,2)=Zmbvt(17,4,2);
Zmavt(17,4,3)=Zmbvt(17,4,3);
Zmavt(17,4,4)=Zmbvt(17,4,4);
Zmavt(17,4,5)=Zmbvt(17,4,5);
Zmavt(17,5,1)=Zmbvt(17,5,1);
Zmavt(17,5,2)=Zmbvt(17,5,2);
Zmavt(17,5,3)=Zmbvt(17,5,3);
Zmavt(17,5,4)=Zmbvt(17,5,4);
Zmavt(17,5,5)=Zmbvt(17,5,5);

Zmavt(18,1,1)=Zmbvt(18,1,1);
Zmavt(18,1,2)=Zmbvt(18,1,2);
Zmavt(18,1,3)=Zmbvt(18,1,3);
Zmavt(18,1,4)=Zmbvt(18,1,4);
Zmavt(18,1,5)=Zmbvt(18,1,5);
Zmavt(18,2,1)=Zmbvt(18,2,1);
Zmavt(18,2,2)=Zmbvt(18,2,2);
Zmavt(18,2,3)=Zmbvt(18,2,3);
Zmavt(18,2,4)=Zmbvt(18,2,4);
Zmavt(18,2,5)=Zmbvt(18,2,5);
Zmavt(18,3,1)=Zmbvt(18,3,1);
Zmavt(18,3,2)=Zmbvt(18,3,2);
Zmavt(18,3,3)=Zmbvt(18,3,3);
Zmavt(18,3,4)=Zmbvt(18,3,4);
Zmavt(18,3,5)=Zmbvt(18,3,5);
Zmavt(18,4,1)=Zmbvt(18,4,1);
Zmavt(18,4,2)=Zmbvt(18,4,2);
Zmavt(18,4,3)=Zmbvt(18,4,3);
Zmavt(18,4,4)=Zmbvt(18,4,4);
Zmavt(18,4,5)=Zmbvt(18,4,5);
Zmavt(18,5,1)=Zmbvt(18,5,1);
Zmavt(18,5,2)=Zmbvt(18,5,2);

Zmavt(18,5,3)=Zmbvt(18,5,3);
Zmavt(18,5,4)=Zmbvt(18,5,4);
Zmavt(18,5,5)=Zmbvt(18,5,5);

Zmavt(19,1,1)=Zmbvt(19,1,1);
Zmavt(19,1,2)=Zmbvt(19,1,2);
Zmavt(19,1,3)=Zmbvt(19,1,3);
Zmavt(19,1,4)=Zmbvt(19,1,4);
Zmavt(19,1,5)=Zmbvt(19,1,5);
Zmavt(19,2,1)=Zmbvt(19,2,1);
Zmavt(19,2,2)=Zmbvt(19,2,2);
Zmavt(19,2,3)=Zmbvt(19,2,3);
Zmavt(19,2,4)=Zmbvt(19,2,4);
Zmavt(19,2,5)=Zmbvt(19,2,5);
Zmavt(19,3,1)=Zmbvt(19,3,1);
Zmavt(19,3,2)=Zmbvt(19,3,2);
Zmavt(19,3,3)=Zmbvt(19,3,3);
Zmavt(19,3,4)=Zmbvt(19,3,4);
Zmavt(19,3,5)=Zmbvt(19,3,5);
Zmavt(19,4,1)=Zmbvt(19,4,1);
Zmavt(19,4,2)=Zmbvt(19,4,2);
Zmavt(19,4,3)=Zmbvt(19,4,3);
Zmavt(19,4,4)=Zmbvt(19,4,4);
Zmavt(19,4,5)=Zmbvt(19,4,5);
Zmavt(19,5,1)=Zmbvt(19,5,1);
Zmavt(19,5,2)=Zmbvt(19,5,2);
Zmavt(19,5,3)=Zmbvt(19,5,3);
Zmavt(19,5,4)=Zmbvt(19,5,4);
Zmavt(19,5,5)=Zmbvt(19,5,5);

Zmavt(20,1,1)=Zmbvt(20,1,1);
Zmavt(20,1,2)=Zmbvt(20,1,2);
Zmavt(20,1,3)=Zmbvt(20,1,3);
Zmavt(20,1,4)=Zmbvt(20,1,4);
Zmavt(20,1,5)=Zmbvt(20,1,5);
Zmavt(20,2,1)=Zmbvt(20,2,1);
Zmavt(20,2,2)=Zmbvt(20,2,2);
Zmavt(20,2,3)=Zmbvt(20,2,3);
Zmavt(20,2,4)=Zmbvt(20,2,4);
Zmavt(20,2,5)=Zmbvt(20,2,5);
Zmavt(20,3,1)=Zmbvt(20,3,1);
Zmavt(20,3,2)=Zmbvt(20,3,2);
Zmavt(20,3,3)=Zmbvt(20,3,3);
Zmavt(20,3,4)=Zmbvt(20,3,4);
Zmavt(20,3,5)=Zmbvt(20,3,5);
Zmavt(20,4,1)=Zmbvt(20,4,1);
Zmavt(20,4,2)=Zmbvt(20,4,2);
Zmavt(20,4,3)=Zmbvt(20,4,3);
Zmavt(20,4,4)=Zmbvt(20,4,4);
Zmavt(20,4,5)=Zmbvt(20,4,5);
Zmavt(20,5,1)=Zmbvt(20,5,1);
Zmavt(20,5,2)=Zmbvt(20,5,2);
Zmavt(20,5,3)=Zmbvt(20,5,3);
Zmavt(20,5,4)=Zmbvt(20,5,4);
Zmavt(20,5,5)=Zmbvt(20,5,5);

Zmavt(21,1,1)=Zmbvt(21,1,1);
Zmavt(21,1,2)=Zmbvt(21,1,2);
Zmavt(21,1,3)=Zmbvt(21,1,3);
Zmavt(21,1,4)=Zmbvt(21,1,4);
Zmavt(21,1,5)=Zmbvt(21,1,5);
Zmavt(21,2,1)=Zmbvt(21,2,1);
Zmavt(21,2,2)=Zmbvt(21,2,2);

```

Zmavt(21,2,3)=Zmbvt(21,2,3);
Zmavt(21,2,4)=Zmbvt(21,2,4);
Zmavt(21,2,5)=Zmbvt(21,2,5);
Zmavt(21,3,1)=Zmbvt(21,3,1);
Zmavt(21,3,2)=Zmbvt(21,3,2);
Zmavt(21,3,3)=Zmbvt(21,3,3);
Zmavt(21,3,4)=Zmbvt(21,3,4);
Zmavt(21,3,5)=Zmbvt(21,3,5);
Zmavt(21,4,1)=Zmbvt(21,4,1);
Zmavt(21,4,2)=Zmbvt(21,4,2);
Zmavt(21,4,3)=Zmbvt(21,4,3);
Zmavt(21,4,4)=Zmbvt(21,4,4);
Zmavt(21,4,5)=Zmbvt(21,4,5);
Zmavt(21,5,1)=Zmbvt(21,5,1);
Zmavt(21,5,2)=Zmbvt(21,5,2);
Zmavt(21,5,3)=Zmbvt(21,5,3);
Zmavt(21,5,4)=Zmbvt(21,5,4);
Zmavt(21,5,5)=Zmbvt(21,5,5);

```

!LINERISASI:

```

@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_ma(ma)|ma#ne#7 #and# ma#ne#18:(@SUM(
Link_mambtv(ma,mb,t,v)|mb#NE#ma #and# ma#ne#7 #and# ma#ne#18 :Pmmtv(ma,mb,t,v)))<=1));
@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_mb(mb)|mb#ne#7 #and# mb#ne#18 :(@SUM(
Link_mambtv(ma,mb,t,v)|mb#NE#ma #and# ma#ne#7 #and# ma#ne#18 :Pmmtv(ma,mb,t,v))-
(@SUM( Link_mbmatv(mb,ma,t,v)|mb#NE#ma #and# ma#ne#7 #and# ma#ne#18 :
Pmbmtv(mb,ma,t,v)))=0)));

```

$$\text{@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_ma(ma)|ma#ne#18 #and# ma#ne#7:@FOR(SET_mb(mb)|mb#ne#18 #and# mb#ne#7:(@SUM(Link_mambtv(ma,mb,t,v)|mb#NE#ma #and# ma#ne#7 #and# ma#ne#18 :Pmmtv(ma,mb,t,v))-
(@SUM(Link_mbmatv(mb,ma,t,v)|mb#NE#ma #and# ma#ne#7 #and# ma#ne#18 :
Pmbmtv(mb,ma,t,v)))=0));}$$

$$\text{@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_ma(ma)|ma#ne#18 #and# ma#ne#7:@FOR(SET_mb(mb)|mb#ne#18 #and# mb#ne#7:(@SUM(Link_mambtv(ma,mb,t,v)|mb#NE#ma #and# ma#ne#7 #and# ma#ne#18 :Pmmtv(ma,mb,t,v)))<=1)));}$$

$$\text{@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_ma(ma)|ma#ne#18 #and# ma#ne#7:@FOR(SET_mb(mb)|mb#ne#18 #and# mb#ne#7:(@SUM(Link_mavt(ma,v,t)):Zmavt(ma,v,t))+(@SUM(Link_mbvt(mb,v,t):Zmbvt(mb,v,t))-
(@SUM(Link_mambtv(ma,mb,t,v)|mb#NE#ma:Pmmtv(ma,mb,t,v)))<=1))));$$

$$\text{@FOR(SET_t(t):@FOR(SET_v(v):@FOR(SET_ma(ma)|ma#ne#18 #and# ma#ne#7:@FOR(SET_mb(mb)|mb#ne#18 #and# mb#ne#7:(@SUM(Link_mavt(ma,v,t)):Zmavt(ma,v,t))-(@SUM(Link_mbvt(mb,v,t):Zmbvt(mb,v,t))+
(@SUM(Link_mambtv(ma,mb,t,v)|ma#ne#mb:2*Pmmtv(ma,mb,t,v)))<=0))));$$

!BATASAN WAKTU PERJALANAN:

```

@FOR(SET_v(v):Tv(v) <=TMAX*Wv(v));

```

```

Tv(1)=waktuperjalanan1+waktuberangkat1+waktupelayanan1+TPSBT1+TPBST1+TPBD;
Tv(2)=waktuperjalanan2+waktuberangkat2+waktupelayanan2+TPSBT2+TPBST2+TPBD;
Tv(3)=waktuperjalanan3+waktuberangkat3+waktupelayanan3+TPSBT3+TPBST3+TPBD;
Tv(4)=waktuperjalanan4+waktuberangkat4+waktupelayanan4+TPSBT4+TPBST4+TPBD;
Tv(5)=waktuperjalanan5+waktuberangkat5+waktupelayanan5+TPSBT5+TPBST5+TPBD;

```

```

TPSBT1=@SUM(Link_vt(v,t)|v#eq#1:TPSB(t)*Xvt(v,t));
TPSBT2=@SUM(Link_vt(v,t)|v#eq#2:TPSB(t)*Xvt(v,t));
TPSBT3=@SUM(Link_vt(v,t)|v#eq#3:TPSB(t)*Xvt(v,t));
TPSBT4=@SUM(Link_vt(v,t)|v#eq#4:TPSB(t)*Xvt(v,t));
TPSBT5=@SUM(Link_vt(v,t)|v#eq#5:TPSB(t)*Xvt(v,t));

```

```

TPBST1=@SUM(Link_vt(v,t)|v#eq#1 #and# t#ne#1:TPBS*Xvt(v,t));
TPBST2=@SUM(Link_vt(v,t)|v#eq#2 #and# t#ne#1:TPBS*Xvt(v,t));
TPBST3=@SUM(Link_vt(v,t)|v#eq#3 #and# t#ne#1:TPBS*Xvt(v,t));
TPBST4=@SUM(Link_vt(v,t)|v#eq#4 #and# t#ne#1:TPBS*Xvt(v,t));
TPBST5=@SUM(Link_vt(v,t)|v#eq#5 #and# t#ne#1:TPBS*Xvt(v,t));

```

Waktupelayanan1= **@SUM**

(link_kavt(ka,v,t)|v#eq#1:TSka(ka)*Zkavt(ka,v,t))+ **@SUM**(link_lavt(la,v,t)|v#eq#1:TSla(la)*Zlavt(la,

v,t))+ **@SUM**(link_mavt(ma,v,t)|v#eq#1:TSma(ma)*Zmavt(ma,v,t));

Waktupelayanan2= **@SUM**

(link_kavt(ka,v,t)|v#eq#2:TSka(ka)*Zkavt(ka,v,t))+ **@SUM**(link_lavt(la,v,t)|v#eq#2:TSla(la)*Zlavt(la,

v,t))+ **@SUM**(link_mavt(ma,v,t)|v#eq#2:TSma(ma)*Zmavt(ma,v,t));

Waktupelayanan3= **@SUM**
 (link_kavt(ka,v,t)|v#eq#3:TSka(ka)*Zkavt(ka,v,t))+ **@SUM**(link_lavt(la,v,t)|v#eq#3:TSla(la)*Zlavt(la,v,t))+ **@SUM**(link_mavt(ma,v,t)|v#eq#3:TSma(ma)*Zmavt(ma,v,t));
 Waktupelayanan4= **@SUM**
 (link_kavt(ka,v,t)|v#eq#4:TSka(ka)*Zkavt(ka,v,t))+ **@SUM**(link_lavt(la,v,t)|v#eq#4:TSla(la)*Zlavt(la,v,t))+ **@SUM**(link_mavt(ma,v,t)|v#eq#4:TSma(ma)*Zmavt(ma,v,t));
 Waktupelayanan5= **@SUM**
 (link_kavt(ka,v,t)|v#eq#5:TSka(ka)*Zkavt(ka,v,t))+ **@SUM**(link_lavt(la,v,t)|v#eq#5:TSla(la)*Zlavt(la,v,t))+ **@SUM**(link_mavt(ma,v,t)|v#eq#5:TSma(ma)*Zmavt(ma,v,t));

 Waktuberangkat1=(**@SUM**(link_dkatv(d,ka,t,v)|v#eq#1 #and#
 t#eq#1:Pdktv(d,ka,t,v)*Tpdk(d,ka)))+(**@SUM**(link_dlatv(d,la,t,v)|v#eq#1 #and#
 t#eq#1:Pdltv(d,la,t,v)*Tpd़l(d,la))+(**@SUM**(link_dmatv(d,ma,t,v)|v#eq#1 #and#
 t#eq#1:Pdmtv(d,ma,t,v)*Tpdm(d,ma))):
 Waktuberangkat2=(**@SUM**(link_dkatv(d,ka,t,v)|v#eq#2 #and#
 t#eq#1:Pdktv(d,ka,t,v)*Tpdk(d,ka)))+(**@SUM**(link_dlatv(d,la,t,v)|v#eq#2 #and#
 t#eq#1:Pdltv(d,la,t,v)*Tpd़l(d,la))+(**@SUM**(link_dmatv(d,ma,t,v)|v#eq#2 #and#
 t#eq#1:Pdmtv(d,ma,t,v)*Tpdm(d,ma))):
 Waktuberangkat3=(**@SUM**(link_dkatv(d,ka,t,v)|v#eq#3 #and#
 t#eq#1:Pdktv(d,ka,t,v)*Tpdk(d,ka)))+(**@SUM**(link_dlatv(d,la,t,v)|v#eq#3 #and#
 t#eq#1:Pdltv(d,la,t,v)*Tpd़l(d,la))+(**@SUM**(link_dmatv(d,ma,t,v)|v#eq#3 #and#
 t#eq#1:Pdmtv(d,ma,t,v)*Tpdm(d,ma))):
 Waktuberangkat4=(**@SUM**(link_dkatv(d,ka,t,v)|v#eq#4 #and#
 t#eq#1:Pdktv(d,ka,t,v)*Tpdk(d,ka)))+(**@SUM**(link_dlatv(d,la,t,v)|v#eq#4 #and#
 t#eq#1:Pdltv(d,la,t,v)*Tpd़l(d,la))+(**@SUM**(link_dmatv(d,ma,t,v)|v#eq#4 #and#
 t#eq#1:Pdmtv(d,ma,t,v)*Tpdm(d,ma))):
 Waktuberangkat5=(**@SUM**(link_dkatv(d,ka,t,v)|v#eq#5 #and#
 t#eq#1:Pdktv(d,ka,t,v)*Tpdk(d,ka)))+(**@SUM**(link_dlatv(d,la,t,v)|v#eq#5 #and#
 t#eq#1:Pdltv(d,la,t,v)*Tpd़l(d,la))+(**@SUM**(link_dmatv(d,ma,t,v)|v#eq#5 #and#
 t#eq#1:Pdmtv(d,ma,t,v)*Tpdm(d,ma))):

 Waktuperjalanan1=**@SUM**(Link_mambtv(ma,mb,t,v)|v#eq#1:Pmmtv(ma,mb,t,v)*TPmm(ma,mb));
 Waktuperjalanan2=**@SUM**(Link_mambtv(ma,mb,t,v)|v#eq#2:Pmmtv(ma,mb,t,v)*TPmm(ma,mb));
 Waktuperjalanan3=**@SUM**(Link_mambtv(ma,mb,t,v)|v#eq#3:Pmmtv(ma,mb,t,v)*TPmm(ma,mb));
 Waktuperjalanan4=**@SUM**(Link_mambtv(ma,mb,t,v)|v#eq#4:Pmmtv(ma,mb,t,v)*TPmm(ma,mb));
 Waktuperjalanan5=**@SUM**(Link_mambtv(ma,mb,t,v)|v#eq#5:Pmmtv(ma,mb,t,v)*TPmm(ma,mb));

! KEPUTUSAN:
@FOR (LINK_ik(i,k): **@BIN** (Yik));
@FOR (LINK_il(i,l): **@BIN** (Yil));
@FOR (LINK_im(i,m): **@BIN** (Yim));
@FOR (SET_k(k): **@BIN** (Xk));
@FOR (SET_l(l): **@BIN** (Xl));
@FOR (SET_m(m): **@BIN** (Xm));
@FOR (SET_ka(ka): **@BIN** (Xka));
@FOR (SET_la(la): **@BIN** (Xla));
@FOR (SET_ma(ma): **@BIN** (Xma));
@FOR (SET_kb(kb): **@BIN** (Xkb));
@FOR (SET_lb(lb): **@BIN** (Xlb));
@FOR (SET_mb(mb): **@BIN** (Xmb));
@FOR (SET_v(v): **@BIN** (Wv));
@FOR (Link_vt(v,t): **@BIN** (Xvt));
@FOR (LINK_kavt(ka,v,t): **@BIN** (Zkavt));
@FOR (LINK_lavt(la,v,t): **@BIN** (Zlavt));
@FOR (LINK_mavt(ma,v,t): **@BIN** (Zmavt));
@FOR (LINK_kbvt(kb,v,t): **@BIN** (Zkbvt));
@FOR (LINK_lbvt(lb,v,t): **@BIN** (Zlbvt));
@FOR (LINK_mbvt(mb,v,t): **@BIN** (Zmbvt));
@FOR (LINK_dkatv(d,ka,t,v): **@BIN** (Pdktv));
@FOR (LINK_dlatv(d,la,t,v): **@BIN** (Pdltv));
@FOR (LINK_dmatv(d,ma,t,v): **@BIN** (Pdmtv));
@FOR (LINK_mambtv(ma,mb,t,v): **@BIN** (Pmmtv));
@FOR (LINK_mbmatv(mb,ma,t,v): **@BIN** (Pmbmtv))

Lampiran 3

**Waktu Tempuh TPS dan Titik Pusat Sektor dengan TPA Piyungan
(menit)**

| | TPA Piyungan |
|--------------------------|--------------|
| Titik Tengah Sektor | 24 |
| Depo Sagan | 17 |
| Landasan Container RRI | 24 |
| TPSS Jl. Herman Yohanes | 17 |
| Tpss Sagan | 20 |
| Tpss Jl. Wardani | 25 |
| Tpss Jl. Wahidin | 24 |
| Tpss Jl. Atmosukarto | 19 |
| Tpss Jl. Krasak | 19 |
| Tpss Jl. Kusbini I | 19 |
| Tpss Jl. Kusbini II | 21 |
| Tpss Jl. Ungaran | 23 |
| Tpss Jl. I Nyoman Oka | 25 |
| Tpss Jl. Patimura | 24 |
| Tpss Jl. Johar Nurhadi | 23 |
| Tpss Jl. Hadi Darsono | 23 |
| Tpss Jl. Urip Sumoharjo | 19 |
| Tpss Jl. Munggur | 19 |
| Tpss Belakang Duta | 23 |
| Tpss SD Klitren | 20 |
| Tpss Pengok (Rel Kereta) | 18 |
| Tpss Kowilhan | 20 |
| Tpss Jl. A. Jajuli | 22 |
| Tpss Tribrata | 20 |

Lampiran 4

Verifikasi Model

$$\sum_V CB \cdot B_V \cdot W_v + \sum_v CN_v + (\bar{Z}_1 - Z_1^*)\lambda \leq \bar{Z}_1 \quad (3.2)$$

Rupiah \leq Rupiah

$$\sum_i \sum_k Y_{ik} + \sum_i \sum_l Y_{il} + \sum_i \sum_m Y_{im} - (Z_2^* - \bar{Z}_2)\lambda \geq \bar{Z}_2 \quad (3.3)$$

$m^3/hari \geq m^3/hari$

$$d_{max} X_k \geq D_{ik} Y_{ik} \quad \forall k \in K, i \in I \quad (3.4)$$

$m \cdot$ tanpa satuan $\geq m \cdot$ tanpa satuan

$$\sum_{k \in K} Y_{ik} + \sum_{l \in L} Y_{il} + \sum_{m \in M} Y_{im} \geq 1 \quad \forall i \in I \quad (3.7)$$

tanpa satuan \geq tanpa satuan

$$\sum_{i \in I} V_i Y_{ik} \leq C_k X_k \quad \forall k \in K \quad (3.8)$$

$m^3/hari \cdot$ tanpa satuan $\leq m^3/hari \cdot$ tanpa satuan

$$\sum_k X_k \leq P_k \quad (3.11)$$

Unit \leq unit

$$\sum_{t=1} \sum_d \sum_{ka} P_{dkatv} + \sum_{t=1} \sum_d \sum_{la} P_{dlatv} + \sum_{t=1} \sum_d \sum_{ma} P_{dmav} = 1 \cdot W_v \quad \forall v \in V \quad (3.14)$$

tanpa satuan = tanpa satuan

$$\begin{aligned} \sum_{ka} \sum_t Z_{katv} + \sum_{la} \sum_t Z_{latv} + \sum_{ma} \sum_t Z_{matv} &\geq \\ \sum_{ka} \sum_{t+1} Z_{katv} + \sum_{la} \sum_{t+1} Z_{latv} + \sum_{ma} \sum_{t+1} Z_{matv} &\forall v \in V \end{aligned} \quad (3.15)$$

tanpa satuan \geq tanpa satuan

$$A_{vt} \leq C_{vt} X_{vt} \quad \forall v \in V, t \in T \quad (3.16)$$

$m^3/hari \leq m^3/hari \cdot$ tanpa satuan

$$A_{vt} = \sum_{ka \in Ka} C_{ka} Z_{katv} + \sum_{la \in La} C_{la} Z_{latv} + \sum_{ma \in Ma} C_{ma} Z_{matv} \quad (3.17)$$

$m^3/hari = m^3/hari$

$$\sum_{kb} P_{ka,kb,t,v} + \sum_{lb} P_{ka,lb,t,v} + \sum_{mb} P_{ka,mb,t,v} \leq 1$$

$$\forall v \in V, ka \in Ka, kb \neq kb, t \in T \quad (3.18)$$

tanpa satuan \leq tanpa satuan

$$\sum_{ka} P_{ka,lb,t,v} + \sum_{la} P_{la,lb,t,v} + \sum_{ma} P_{ma,lb,t,v} - \sum_{ka} P_{lb,ka,t,v} + \sum_{la} P_{lb,la,t,v} +$$

$$\sum_{ma} P_{lb,ma,t,v} = 0$$

$$\forall v \in V, lb \in Lb, lb \neq Lb, t \in T \quad (3.22)$$

tanpa satuan = tanpa satuan

$$Z_{katv} - Z_{kbtv} + P_{kakbtv} \leq 1 \quad \forall v \in V, ka \in Ka, kb \in Kb, ka \neq kb, t \in T \quad (3.24)$$

tanpa satuan \leq tanpa satuan

$$-Z_{katv} - Z_{kbtv} + 2 \times P_{kakbtv} \leq 0 \quad \forall v \in V,$$

$$ka \in Ka, kb \in Kb, ka \neq kb, t \in T \quad (3.33)$$

tanpa satuan \leq tanpa satuan

$$\sum_{ka} Z_{katv} + \sum_{la} Z_{latv} + \sum_{ma} Z_{matv} \geq X_{vt} \quad \forall v \in V, t \in T \quad (3.43)$$

tanpa satuan \geq tanpa satuan

$$TPSB = \sum_v \sum_t TPSB \times X_{vt} \quad \forall v \in V \quad (3.44)$$

Menit = menit . tanpa satuan

$$TPBST = \sum_v \sum_t TPBS \times X_{vt} \quad \forall v \in V, t \neq 1 \quad (3.45)$$

Menit = menit . tanpa satuan

$$Waktu\ pelayanan = TS_{ka} \times Z_{katv} + TS_{la} \times Z_{latv} + TS_{ma} \times Z_{matv}$$

$$\forall v \in V \quad (3.46)$$

Menit = menit . tanpa satuan + menit . tanpa satuan + menit . tanpa satuan

$$Waktu\ berangkat = TP_{dkatv} \times P_{dkatv} + TP_{dlatv} \times P_{dlatv} + TP_{dmatv} \times P_{dmatv}$$

$$\forall v \in V \quad (3.47)$$

Menit = menit . tanpa satuan + menit . tanpa satuan + menit . tanpa satuan

$$\begin{aligned}
\text{Waktu perjalanan} = & TP_{kakb} \times P_{kakbtv} + TP_{kalb} \times P_{klbtv} + TP_{kamb} \times P_{kambtv} \\
& + \\
& TP_{lakb} \times P_{lakbtv} + TP_{lalb} \times P_{lalbtv} + TP_{lamb} \times P_{lambtv} + TP_{makb} \times P_{makbtv} \\
& + TP_{malb} \times P_{malbtv} + TP_{mamb} \times P_{mambtv} \quad \forall v \in V
\end{aligned} \tag{3.48}$$

Menit = menit . tanpa satuan + menit . tanpa satuan + menit . tanpa satuan

$$\begin{aligned}
\text{Waktu perjalanan} + \text{Waktupelayanan} + \text{Waktuberangkat} + \text{TPSBT} + \text{TPBST} \\
+ \text{TPBD} \leq T_{max} \quad \forall v \in V
\end{aligned} \tag{3.49}$$

menit + menit + menit + menit + menit \leq menit

$$\begin{aligned}
CN_v = & (\text{Waktu perjalanan} + \text{Waktu berangkat} + \text{TPBD} + \text{TPSBT} + \text{TPBD}) \times K_v \times \\
& BB \quad \forall v \in V
\end{aligned} \tag{3.50}$$

Rupiah = (menit + menit + menit + menit + menit) x m/menit x Rupiah/m

$$\sum_v \sum_t Z_{katv} = \frac{C_{ka}}{C_{vt}} X_{ka} \quad \forall ka \in Ka, C_{ka} > C_{vt} \tag{3.51}$$

$$\text{Tanpa satuan} = \frac{\frac{m^3/hari}{m^3/hari}}{} \times \text{Tanpa satuan}$$

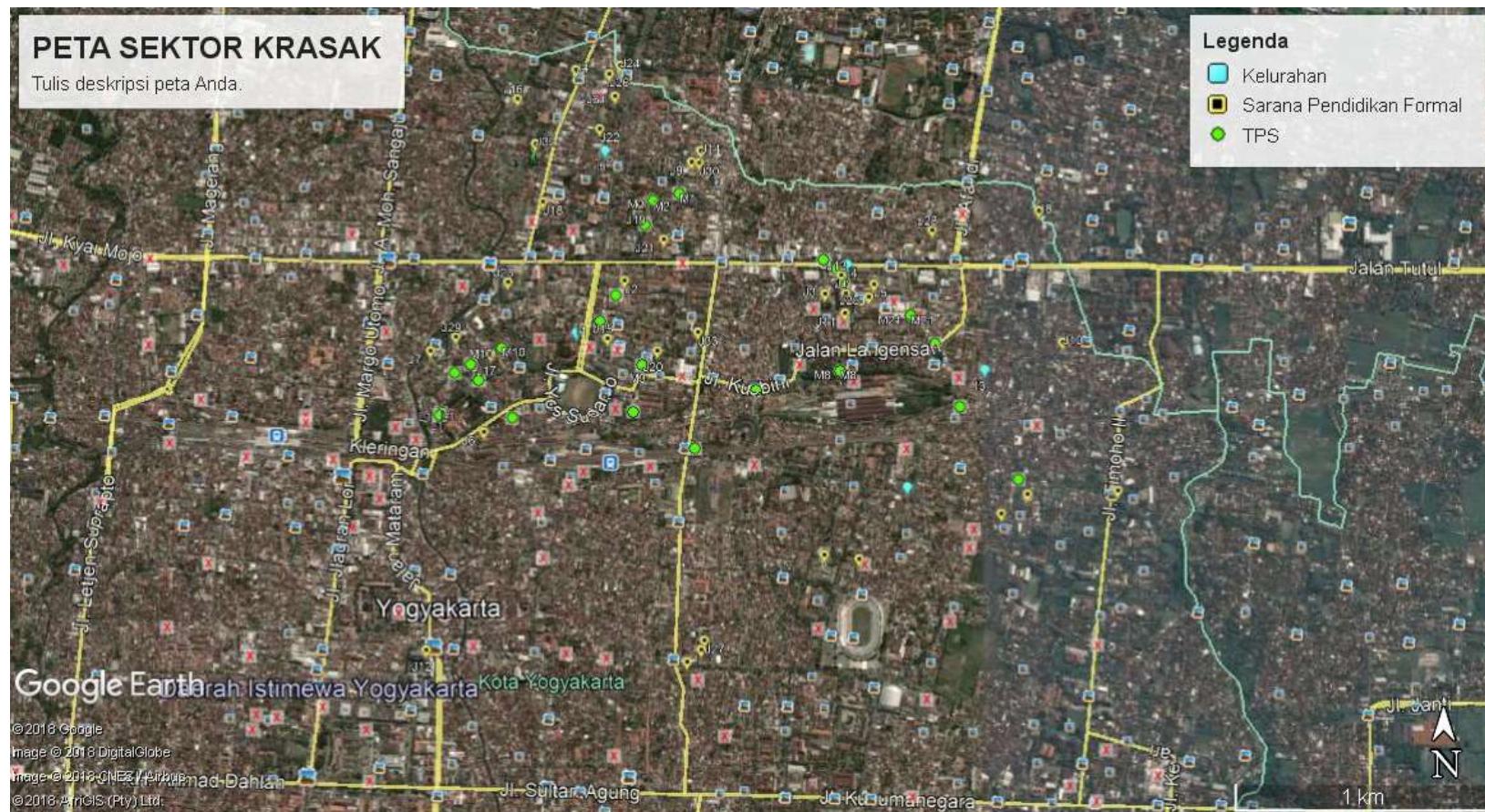
$$X_{ka} = X_{kb} \quad \forall ka \in Ka, ka = kb \tag{3.54}$$

$$\begin{aligned}
\text{Tanpa satuan} &= \text{Tanpa satuan} \\
\sum_v Z_{matv} &\leq J_{mat} \quad \forall ma \in Ma, t \in T
\end{aligned} \tag{3.63}$$

Tanpa satuan \leq Tanpa satuan

Lampiran 5

Peta Sektor Krasak



BIODATA PENULIS



Penulis bernama Cahaya Annisaa' Fathonah lahir pada 16 Juni 1996 di Kota Yogyakarta dan merupakan anak pertama dari pasangan Alm. Sriyanto dan Alm Indrarini. Penulis menempuh pendidikan dasar di SD Muhammadiyah Sokonandi lalu melanjutkan pendidikan menengah dan atas di SMPN 9 Yogyakarta dan SMK-SMTI Yogyakarta. Penulis kemudian mendapatkan gelar sarjana dari Teknik Industri Universitas Ahmad Dahlan pada tahun 2018. Setelah lulus penulis sempat menjadi tentor di salah satu bimbingan belajar di Kota

Pada tahun 2019, penulis melanjutkan studi di Departemen Teknik Sistem dan Industri dengan memilih konsentrasi Manajemen Logistik dan Rantai Pasok sesuai dengan minat yang ditempuh penulis selama 4 semester. Untuk mendapatkan informasi lanjutan mengenai penelitian ini dapat menghubungi penulis melalui e-mail annisaacahaya@gmail.com.