

ANALISIS RUTE PENGANGKUTAN SAMPAH KOTA MANADO DENGAN PENDEKATAN *VEHICLE ROUTING PROBLEM (VRP)*

Andre Ch. Lasut¹, Friska M. Makalew¹, Prudensy F. Opit*¹

¹Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik

¹Universitas Katolik De La Salle Manado, Kombos - Kairagi I Manado

e-mail: ¹andrechristianacl@gmail.com, ²friskamakalew25@gmail.com, ^{3*}popit@unikadelasalle.ac.id

Abstract—Waste collection and transportation is a problem that currently being faced by cities in Indonesia, especially in the city of Manado. Manado is one of the major cities that produces 2,064 m³ of waste per day. In 2018, Manado was given a title as one of the dirtiest major cities in Indonesia by the Ministry of Environment and Forestry (KLHK) in the assessment of Adipura. This is due to the over capacity of the final disposal site (TPA) and the incapability of each TPA to implement the sanitary landfill system. The purpose of this research is to determine the efficiency of waste transportation in the city of Manado, especially in the watershed area (DAS). This research focuses on the transport points of the watershed area, namely: Bailang Bridge, Megawati Bridge, Kalimas, Tugu Lilin, Yellow Bridge, God Bless Park, Freshmart Bahu, Shoulder Bridge and Regional Police Complex. The model used to solve the problem in this research is the Vehicle Routing Problem (VRP). The result of the total minimum of vehicle mileage is 81.4 km. Sensitivity analysis by adding three scenarios is completed in order to analyze the shortest distance using different routes. Based on the final results, we found that scenario 2 generates the minimum vehicle mileage of 73.8 km.

Keywords—Garbage collection, Transportation, Vehicle Routing Problem (VRP).

I. PENDAHULUAN

Sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan proses alam yang berbentuk padat. Setiap individu pasti menghasilkan sampah dalam jumlah yang variatif setiap harinya. Jumlah timbunan sampah semakin meningkat seiring dengan peningkatan pertumbuhan penduduk kota. Peningkatan kualitas pengolahan sampah adalah jalan untuk menghindari adanya dampak negatif yang mungkin ditimbulkan dari keberadaan sampah [1]. Transportasi sampah adalah suatu bagian dari sistem persampahan yaitu pengangkutan sampah dari tempat pembuangan sementara ke tempat pembuangan akhir (TPA). Masalah yang berkaitan dengan pendistribusian sampah diantaranya adalah pengambilan keputusan mengenai rute pengangkutan sampah.

Di tahun 2018 yang lalu, Manado dinobatkan sebagai salah satu kota besar terkotor di Indonesia oleh Kementerian Hidup dan Kehutanan (KLHK) dalam penilaian Adipura. Penyebabnya antara lain adalah penuhnya TPA serta kondisi TPA itu sendiri yang tidak bisa menerapkan sistem *sanitary landfill*. Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan oleh penulis, didapati bahwa pendistribusian sampah Daerah Aliran Sungai (DAS) di kota Manado khususnya pada titik Jembatan Bailang, Jembatan Megawati, Kalimas, Tugu Lilin,

Komplek Polda, Taman God Bless, Jembatan Kuning, Jembatan Bahu, dan Freshmart Bahu masih kurang efektif.

Berdasarkan data dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Manado pada tahun 2018, tercatat dari total perkiraan 2.064 m³ sampah yang dihasilkan per hari hanya sekitar 1.680 m³ yang terangkut ke TPA, sedangkan sisanya sebesar 384,5 m³ tidak dapat diangkut ke TPA. Hal ini mengakibatkan kawasan disekitar menjadi kotor dan tercium bau busuk yang tentunya mengganggu aktifitas warga sekitar.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk memberikan rekomendasi pada Dinas Lingkungan Hidup Kota Manado dalam penentuan rute pengangkutan sampah yang dapat meminimumkan jarak tempuh kendaraan (truk) sehingga waktu pengangkutan sampah dan pengosongan TPA khususnya pada titik Jembatan Bailang, Jembatan Megawati, Kalimas, Tugu Lilin, Komplek Polda, Taman God Bless, Jembatan Kuning, Jembatan Bahu, dan Freshmart Bahu menjadi lebih cepat.

Pada penelitian ini, formulasi model matematika yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dibangun dengan menggunakan konsep *Vehicle Routing Problem (VRP)* dengan memperhatikan karakteristik permasalahan penentuan rute pengangkutan sampah, yaitu: 1) terdapatnya depot dimana kendaraan berangkat dan pulang, 2) tiap konsumen tepat dilayani satu kali dalam sebuah rute dan 3) kapasitas yang diangkut dalam setiap rute tidak lebih dari kapasitas maksimal kendaraan pengangkut [2].

II. TINJAUAN PUSTAKA

Vehicle Routing Problem (VRP) adalah salah satu bentuk permasalahan transportasi yang melibatkan pendistribusian barang maupun orang kepada pelanggan dengan menggunakan kendaraan dan bertujuan untuk meminimasi beberapa tujuan distribusi [3]. VRP juga merupakan masalah optimasi kombinatorial yang telah dipelajari dalam ilmu matematika terapan dan komputer selama beberapa dekade [4].

VRP menerapkan perumusan dari Traveling Salesman Problem (TSP) atau disebut juga m-TSP dengan m menunjukkan banyaknya pengangkut yang mengunjungi sejumlah titik (pemberhentian). Tujuan VRP adalah untuk memenuhi kebutuhan setiap pelanggan dengan biaya yang paling minimal. Biaya sebanding dengan total jarak yang ditempuh oleh semua kendaraan sehingga VRP bertujuan untuk menentukan jarak terpendek.

Berikut ini adalah beberapa kendala atau batasan yang harus dipenuhi dalam VRP [5]:

- Rute kendaraan dimulai dari depot dan berakhir di depot.
- Setiap pelanggan harus dikunjungi sekali dengan satu kendaraan
- Kendaraan yang digunakan homogen dengan kapasitas tertentu sehingga permintaan konsumen pada setiap rute yang dilalui tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan.
- Jika kapasitas kendaraan telah mencapai batas, maka konsumen selanjutnya akan dilayani oleh shift berikutnya.

Sedangkan tujuan umum VRP, yaitu [5]:

- Meminimalkan jarak dan biaya yang terkait dengan penggunaan kendaraan.
- Meminimalkan jumlah kendaraan yang dibutuhkan untuk melayani permintaan konsumen.
- Menyeimbangkan rute dalam hal waktu perjalanan dan beban kendaraan.
- Meminimalkan layanan yang kurang memuaskan bagi konsumen, seperti keterlambatan pengiriman.

VRP umumnya dimodelkan menggunakan dua formulasi yang berbeda. Tipe pertama dikenal dengan formulasi *Vehicle Flow* (VF), yang didasarkan pada variabel biner dari busur pada permasalahan suatu jaringan. Tipe model yang kedua adalah formulasi *Set Partitioning* (SP). Jumlah pembatas pada formulasi ini lebih kecil dibanding jumlah pembatas pada formulasi VP, namun model SP ini memiliki jumlah variabel yang besar [6]. Dalam penelitian ini, model yang digunakan adalah tipe pertama, yaitu formulasi VF.

Dalam jurnalnya, Triwibowo dan Halimatussadiyah mengaplikasikan model optimasi untuk meningkatkan efisiensi pengangkutan sampah di kota Cilegon [7]. Berdasarkan kemiripan persoalan yang dihadapi, penulis mengadaptasi model tersebut kedalam penelitian ini.

Perbedaannya, pada penelitian ini penulis hanya berfokus pada penentuan jarak tempuh kendaraan minimum dan tidak membahas biaya hasil optimasi rute dengan model VRP. Penulis juga menambahkan sensitivitas analisis yaitu tiga skenario baru dengan rute pengangkutan sampah yang berbeda.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan melakukan pengamatan pendahuluan di lapangan yang berlangsung pada tahun 2018 yang lalu. Melalui pengamatan pendahuluan ini, penulis mengidentifikasi masalah berupa pendistribusian sampah Daerah Aliran Sungai (DAS) di kota Manado yang belum efektif, khususnya pada titik Jembatan Bailang, Jembatan Megawati, Kalimas, Tugu Lilin, Komplek Polda, Taman God Bless, Jembatan Kuning, Jembatan Bahu, dan Freshmart Bahu.

Setelah menetapkan tujuan penelitian dan melakukan studi literatur, penulis mengumpulkan data-data yang diperlukan melalui Dinas Lingkungan Hidup Kota Manado. Data-data yang telah dikumpulkan tersebut digunakan sebagai input dalam formulasi model matematika dengan pendekatan VRP.

Pengolahan data dijalankan dengan bantuan *software* Lingo versi 8.0. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap hasil pengolahan data dengan menambahkan analisis sensitivitas berupa penggabungan titik-titik Tempat Pembuangan Sampah (TPS) yang berdekatan. Tahap paling akhir adalah membuat kesimpulan penelitian dan saran. Gambar 1 menunjukkan diagram alir penelitian secara umum.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Konstruksi Data

Penelitian ini berfokus pada pengangkutan sampah Daerah Aliran Sungai (DAS) di sembilan titik Tempat Pembuangan Sementara (TPS) di kota Manado, yaitu Jembatan Bailang, Jembatan Megawati, Kalimas, Tugu Lilin, Komplek Polda, Taman God Bless, Jembatan Kuning, Jembatan Bahu dan Freshmart Bahu. Data-data yang dibutuhkan berupa lokasi TPS, jumlah truk dan kapasitas truk. Pada penelitian ini, perhitungan timbulan sampah disetiap TPS dibuat berdasarkan estimasi menurut SNI 19-3964-1994 [8] tentang spesifikasi timbulan sampah kota besar, yaitu 0,4 kg-0,5

kg/jiwa/hari. Data penduduk dan estimasi jumlah timbulan sampah dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan data yang didapatkan pada tahun 2018, Dinas Lingkungan Hidup Kota Manado memiliki 5 truk yang beroperasi dengan kapasitas masing-masing truk yaitu 5 ton. Data jarak tempuh dalam penelitian diambil menggunakan bantuan *Google Maps*.

Tabel 1. Estimasi Jumlah Sampah di setiap TPS

TPS	Jumlah Sampah (kg)	Pembulatan jumlah Sampah (ton)
Jembatan Bailang	2174	2
Jembatan Megawati	2680	3
Kalimas	2681	3
Tugu Lilin	1501	2
Jembatan Kuning	1747	2
Taman God Bless	1747	2
Freshmart Bahu	3184	3
Jembatan Bahu	3184	3
Komplek Polda	1747	2

4.2 Formulasi Model Matematika dengan Pendekatan VRP.

Indeks:

$i; j; k$: indeks *node*, merupakan indeks dari TPA dan TPS, dengan indeks TPA adalah 1 dan indeks TPS lebih besar dari 1;

Parameter :

- JARAK : jarak antar *node* (km), yaitu jarak antara TPA ke TPS maupun jarak antar TPS;
- A_i : jumlah timbulan sampah di *node i* (ton);
- B_i : akumulasi jumlah sampah di *node i* (ton), merupakan jumlah akumulasi sampah yang ada di dump truck ketika berada di suatu TPS i ;
- KKAP : kapasitas kendaraan (ton), merupakan kapasitas maksimal setiap dump truck dalam mengangkut sampah dari TPS ke TPA;
- x : aktivitas perjalanan dari TPA ke TPS atau antar TPS.

Variabel Keputusan :

$$x = \begin{cases} 1, & \text{jika kendaraan dari } i \text{ langsung ke } j \\ 0, & \text{jika lainnya} \end{cases}$$

Fungsi Tujuan :

Minimasi jarak tempuh kendaraan.

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^9 \text{JARAK } x \dots\dots\dots(1)$$

Fungsi kendala :

Untuk setiap *node* $k > 1$,

a. Tidak ada perjalanan ke *node* itu sendiri:
 $x_{kk} = 0, \dots\dots\dots(2)$

b. Setiap kendaraan harus masuk ke *node* (k):
 $\sum_{i=1}^9 x_{ik} = 1, \text{ dengan } A_i + A_k \leq \text{KKAP} \dots\dots\dots(3)$

c. Setiap kendaraan harus meninggalkan *node* (k) setelah mengambil sampah:

$$\sum_{i \neq k}^9 x_{kj} = 1, \text{ dengan } A_j + A_k \leq \text{KKAP} \dots\dots\dots(4)$$

untuk setiap *node* $i \neq k$ dan $i \neq 1$.

d. B_k adalah jumlah minimal sampah di *node* k , tapi tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan(KKAP).

$$A_k \leq B_k \leq \text{KKAP} \dots\dots\dots(5)$$

e. Jika dari i ke k , maka :

$$B_k \geq B_i + A_k - \text{KKAP} + \text{KKAP} \cdot (x_{ki} + x_{ik}) - (A_k + A_i) x_{ki} \dots\dots\dots(6)$$

f. Jika *node* k adalah pemberhentian pertama, maka $B_k = A_k$: $B_k \leq \text{KKAP} - (\text{KKAP} - A_k) x_{1k}$

$$\dots\dots\dots(7)$$

g. Jika *node* k bukan pemberhentian pertama:

$$B_k \geq A_k + \sum_{i>1}^9 A_i x_{ik} \dots\dots\dots(8)$$

h. Kendala biner:

$$x = (0,1) \dots\dots\dots(9)$$

i. Jumlah kendaraan minimum yang diperlukan:

$$\text{KENDARAAN} = \sum_{i>1}^9 \frac{A_i}{\text{KKAP}} \dots\dots\dots(10)$$

4.3 Pengolahan Data dan Hasil Perhitungan

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan aplikasi Lingo versi 8.0 yang dijalankan pada PC dengan *processor* Intel(R) Core(TM) i3-3240 CPU @ 3.40GHz dengan RAM 2 GB dan *system type* 32-bit *operating system*. Perhitungan dijalankan dengan waktu kurang dari 1 menit.

Hasil pengolahan data yang didapat berupa rute perjalanan setiap truk dari TPA ke masing-masing titik atau TPS. Rute yang diperoleh (dengan total sebanyak 5 truk tersedia) adalah: truk 1 melalui rute TPA – Jembatan Bailang – TPA, truk 2 melalui rute TPA – Jembatan Megawati – Polda – TPA, truk 3 melalui rute TPA – Kalimas – Tugu Lilin – TPA, Truk 4 melalui rute TPA – Jembatan Kuning – Jembatan Bahu – TPA dan truk 5 melalui rute TPA – Taman God Bless – Freshmart Bahu – TPA.

Untuk lebih jelasnya, ilustrasi rute yang dilewati oleh setiap truk dapat dilihat pada gambar 1,2,3,4 dan 5. Total jarak minimum dari kelima rute yang dilalui oleh kelima truk tersebut adalah 81,4 km.

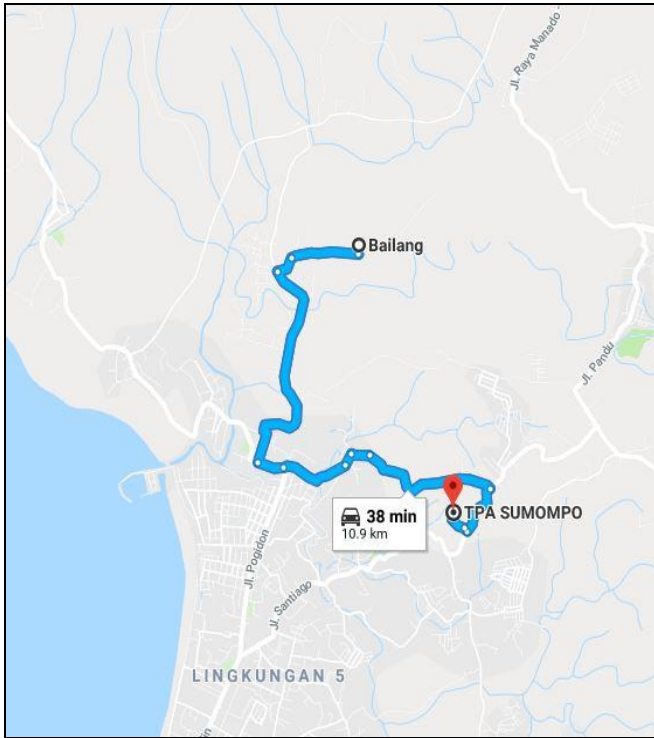
Dari gambar 1 dapat dilihat rute yang akan dilalui Truk 1 yaitu dari TPA menuju Bailang kemudian kembali lagi ke TPA dengan total perkiraan jarak didapat melalui aplikasi *google maps* didapat 5,4 km dengan muatan sampah seberat 2 ton.

Pada gambar 2 menunjukkan rute pengangkutan yang akan dilalui truk 2 yaitu dari TPA, menuju Jembatan Megawati selanjutnya ke kantor Polda dan kembali ke TPA. Dengan total jarak untuk truk 2 adalah 19 km, dengan muatan seberat 5 ton sampah.

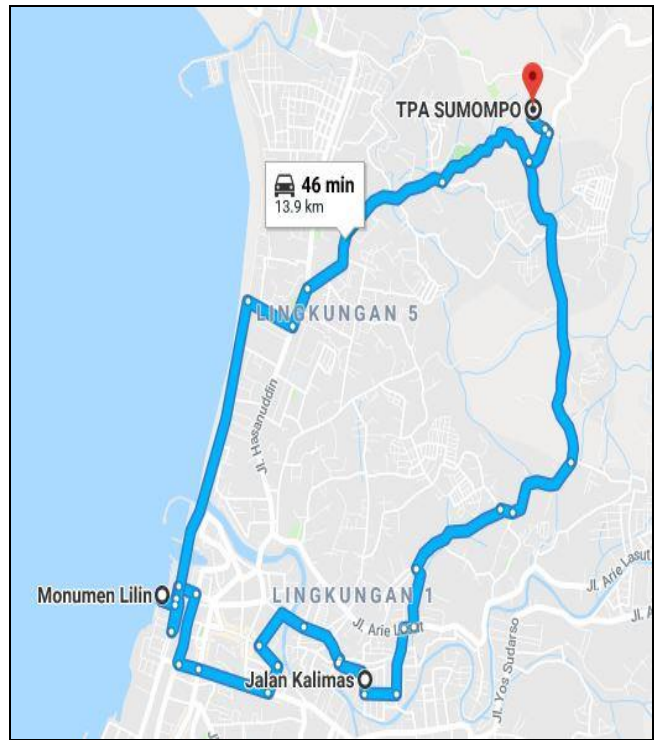
Pada gambar 3 dapat dilihat rute pengangkutan sampah yang akan dilalui truk 3 yaitu dari TPA Sumompo kemudian

menuju Kalimas selanjutnya ke Tugu Lilin sebelum kembali ke TPA. Total jarak yang dilalui yaitu 13,9 km, dengan jumlah muatan truk sebesar 5 ton.

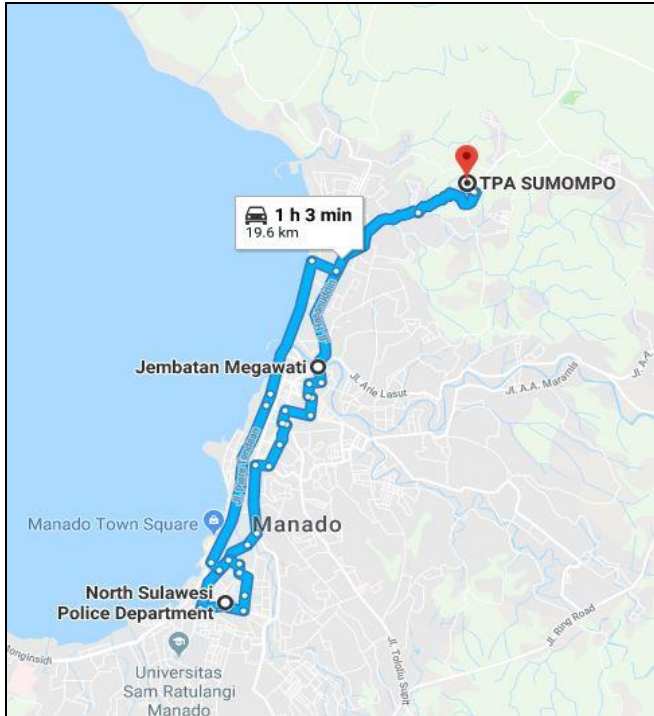
total jarak yang didapat yaitu sebesar 23,5 km, dan jumlah muatan sebesar 5 ton.



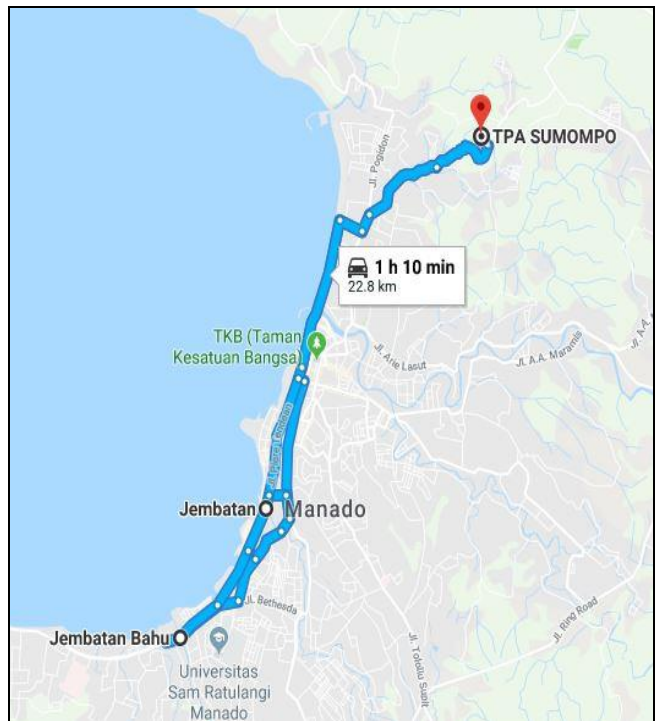
Gambar 1. Rute Pengangkutan Sampah Truk 1



Gambar 3. Rute Pengangkutan Sampah Truk 3



Gambar 2. Rute Pengangkutan Sampah Truk 2

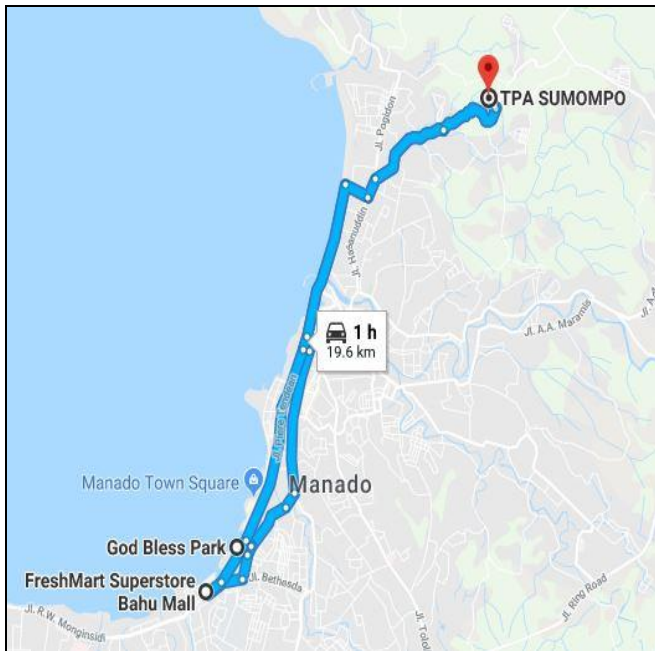


Gambar 4. Rute Pengangkutan Sampah Truk 4

Pada gambar 4 didapati jalur pengangkutan truk 4 dengan rute sebagai berikut: TPA Sumompo, menuju ke Jembatan kuning, lalu ke Jembatan Bahu dan kembali ke TPA. Dengan

Selanjutnya untuk rute truk 5 dapat dilihat pada gambar 5. Pada gambar tersebut dapat dilihat rute yang akan dilalui truk 5 yaitu dari TPA Sumompo menuju Taman god bless, kemudian menuju Freshmart Bahu dan kembali ke TPA

Sumompo. Total jarak yang didapat sebesar 19,6 km, dengan jumlah muatan truk seberat 5 ton.



Gambar 5. Rute Pengangkutan Sampah Truk 5

4.4 Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas dilakukan dengan menambahkan 3 skenario baru berupa penggabungan titik-titik TPS yang berdekatan.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Skenario 1, 2, dan 3

Skenario	Rute (per kendaraan)	Kapasitas (ton)	Jarak (km)
1	TPA – J. Megawati – TPA	3	9
	TPA – Kalimas – Tugu Lilin – TPA	5	12.5
	TPA – J. Kuning – TPA	4	11.4
	TPA – J. Bahu – J. Bailang – TPA	5	27.4
	TPA – Komplek Polda – Freshmart Bahu – TPA	5	22.3
2	TPA – J. Bailang – TPA	2	10.8
	TPA – Kalimas – TPA	5	10.2
	TPA – Tugu Lilin – J. Bahu – TPA	5	21.6
	TPA – J. Kuning – Komplek Polda – TPA	4	18.2
	TPA – Taman Godbless – Freshmart Bahu – TPA	5	13
3	TPA – J. Bailang – TPA	2	10.8
	TPA – Kalimas – TPA	5	10.2
	TPA – Tugu Lilin – Freshmart Bahu – TPA	5	20.8
	TPA – J. Kuning – TPA	4	11.4
	TPA – Komplek Polda – J. Bahu – TPA	5	21.7

Berikut adalah detail setiap skenario:

- a. Skenario 1 : Menggabungkan titik Taman Godbless ke Jembatan Kuning
- b. Skenario 2 : Menggabungkan titik Jembatan Megawati ke Kalimas
- c. Skenario 3 : Gabungan dari skenario 1 dan 2

Dari penggabungan titik-titik tersebut, maka didapatkan hasil dari ketiga skenario yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan tabel 2, didapat total jarak tempuh kendaraan untuk setiap skenario, yaitu: skenario 1 sebesar 82,6 km, skenario 2 sebesar 73,8 km, dan skenario 3 sebesar 74,9 km. Dari ketiga skenario ini total jarak terpendek didapatkan pada skenario 2, yaitu sebesar 73,8 km dengan rute setiap truk dapat dilihat pada tabel 2. Hasil dari skenario 2 ini lebih optimum jika dibandingkan dengan jarak tempuh rute awal yang mencapai 81,4 km.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil perhitungan awal, didapatkan rute pengangkutan sampah dengan jarak yang optimum pada sembilan titik (TPS) di kota Manado dengan menggunakan 5 truk yang berkapasitas 5 ton/truk adalah sebesar 81,4 km. Analisis sensitivitas melalui penambahan 3 skenario rute yang baru selanjutnya diterapkan untuk memperoleh jarak tempuh kendaraan minimum.

Dari hasil analisis sensitivitas, didapatkan bahwa penerapan skenario 2 yang berupa penggabungan antara titik Jembatan Megawati dan Kalimas dapat menghasilkan total jarak paling minimum untuk jalur pengangkutan sampah yang baru. Rute ini meliputi TPA – Jembatan Bailang – TPA (rute truk 1), TPA – Kalimas – TPA (rute truk 2), TPA – Tugu Lilin – Jembatan Bahu – TPA (rute truk 3), TPA – Jembatan Kuning – Komplek Polda – TPA (rute truk 4), dan TPA – Taman Godbless – Freshmart Bahu – TPA (rute truk 5), dengan total jarak tempuh kendaraan sebesar 73,8 km.

Rute baru selanjutnya ini dapat dijadikan acuan bagi Dinas Lingkungan Hidup Kota Manado untuk menentukan rute atau jalur pengangkutan sampah yang baru.

Pada penelitian ini, solusi yang diberikan hanya berupa rute pengangkutan sampah dan jarak tempuh pada sembilan titik pengangkutan di kota Manado. Karenanya, diharapkan pada penelitian di masa yang akan datang dapat dilakukan analisis terhadap waktu operasional truk untuk mengangkut sampah, biaya pengangkutan sampah, serta adanya penambahan TPS yang diteliti. Akan jauh lebih baik apabila penelitian selanjutnya dapat mencakup seluruh TPS pengangkutan sampah yang ada di kota Manado.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Kristian (2009), "Analisis Awal Implementasi Tempat Pengolahan Sampah Terpadu," Tugas Akhir, Prodi Tek. Lingkungan, Fak. Tek. Sipil dan Lingkungan, ITB, Bandung, 2009.
- [2] L. Fitria dan Suprayogi, "Penentuan Rute Pengambilan dan Pengangkutan Sampah di Bandung," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 11, no. 1, Juni 2009, pp. 50-61 [Online]. Tersedia: <http://jurnalindustri.petra.ac.id/index.php/ind/article/view/17101> [Diakses: 25 Maret 2018].
- [3] L. Kallehauge dan O. Marsen, "Lagrangian Duality Applied on Vehicle Routing with Time Windows," Technical University of Denmark: Denmark, IMM-TR-2001-9, 2001.
- [4] M. Nazari, A. Oroojlooy, M. Takac dan L.V. Snyder, "Reinforcement Learning for Solving the Vehicle Routing Problem," Cornell University, Mei 2018 [Online]. Tersedia: <https://arxiv.org/abs/1802.04240> [Diakses: 28 Agustus 2018].
- [5] C.D. Purnamasari dan A. Santoso, "Vehicle Routing Problem (VRP) for Courier Service: A Review," *MATEC Web Conf.*, vol. 204, no. 07007, Sept. 2018 [Online]. Tersedia: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2018/63/mateconf_imiec2018_07007/mateconf_imiec2018_07007.html [Diakses: 15 November 2018].
- [6] P. Munari, T. Dollevoet dan R. Spliet, "A Generalized Formulation for Vehicle Routing Problems," *Working Paper*, Sept. 2017. [Online]. Tersedia: <https://arxiv.org/abs/1606.01935> [Diakses: 25 Maret 2018]
- [7] D. Triwibowo dan A. Halimatussadiah. "Aplikasi Model Optimasi untuk Meningkatkan Efisiensi Pengangkutan Sampah di Kota Cilegon," *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Indonesia*, vol. 16, no. 1, Juli 2015. [Online]. Tersedia: <https://jepi.fe.ui.ac.id/index.php/JEPI/article/view/669> [Diakses: 27 Maret 2018].
- [8] BSN, "Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan," BSN: Indonesia, SNI 19-3964-1994, 1994.