

Penentuan Rute Optimal pada Pengangkutan Sampah di Kota Bogor Menggunakan *Vehicle Routing Problem*

Maya Widyastiti^{a,*}, Isti Kamila^a

^a Universitas Pakuan, Jl. Pakuan PO Box 452, Bogor 16143, Indonesia

* Alamat Surel: maya.widyastiti@unpak.ac.id

Abstrak

Masalah pengelolaan sampah sering menjadi tantangan di setiap daerah, termasuk di Kota Bogor. Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk, volume sampah yang ada pun semakin meningkat. Berdasarkan catatan dari sanitasi Kota Bogor, laju timbunan sampah pemukiman mencapai 0,3 kg/orang/hari. Hal ini dapat menyebabkan penumpukan sampah di Tempat Pembuangan Sementara (TPS). Akan tetapi, dalam proses pengangkutan sampah, Dinas Lingkungan Hidup Kota Bogor memiliki beberapa keterbatasan, seperti terbatasnya tenaga pengangkut sampah, truk pengangkut sampah, dan biaya operasional. Pada penelitian ini, masalah pengangkutan sampah diformulasikan menggunakan model *Vehicle Routing Problem*, sedangkan untuk mencari solusi optimal digunakan perangkat lunak LINGO 11.0. Hasil pengangkutan sampah dengan biaya minimal untuk 2 kali pengangkutan adalah sebesar Rp. 10.825.907, dengan rincian Tanah Sareal sebesar Rp. 1.544.078, Bogor Timur sebesar Rp. 1.349.410, Bogor Tengah Rp. 1.814.790, Bogor Utara sebesar Rp. 2.174.047, Bogor Barat sebesar Rp. 1.490.580, dan Bogor Selatan sebesar Rp. 2.453.002.

Kata kunci:

Pengangkutan sampah, rute optimal, *Vehicle Routing Problem*.

© 2020 Dipublikasikan oleh Jurusan Matematika, Universitas Negeri Semarang

1. Pendahuluan

Masalah pengelolaan sampah sering menjadi tantangan di setiap daerah, termasuk di Kota Bogor. Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk, volume sampah yang ada pun semakin meningkat. Peningkatan volume sampah Kota Bogor mencapai 2 persen setiap tahunnya (Nugroho, 2018). Menurut Kepala bidang Persampahan Dinas Lingkungan Hidup Kota Bogor, tercatat sebanyak 2900 meter kubik atau setara dengan 600 ton per hari sampah di Kota Bogor. Namun hanya 2100 meter kubik sampah yang terangkut ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Galuga (Nugroho, 2018). Berdasarkan catatan dari sanitasi Kota Bogor, laju timbunan sampah pemukiman mencapai 0,3 kg/orang/hari. Hal ini dapat menyebabkan timbunan sampah di Tempat Pembuangan Sementara (TPS). Oleh karena itu diperlukan upaya dalam mengatasi masalah pengangkutan sampah sehingga tidak ada lagi timbunan sampah di Kota Bogor.

Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Bogor berharap agar semua sampah dari TPS dapat terangkut. Saat ini, proses pengangkutan sampah sudah dilakukan rutin setiap hari dengan dua kali perjalanan dalam sehari. Akan tetapi, dalam proses pengangkutan sampah, DLH Kota Bogor memiliki beberapa keterbatasan, seperti terbatasnya tenaga pengangkut sampah, truk pengangkut sampah, dan biaya operasional. Masalah penentuan rute optimal ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan bagi DLH Kota Bogor untuk menentukan rute dengan biaya operasional yang minimum dalam proses pengangkutan sampah sehingga semua sampah di Kota Bogor dapat terangkut dengan baik. Model yang digunakan untuk pengoptimalan rute pengangkutan sampah tersebut adalah *Vehicle Routing Problem* (VRP).

VRP adalah masalah penentuan rute truk dalam mendistribusikan barang dari tempat produksi yang dinamakan depot ke pelanggan dengan tujuan meminimumkan total jarak tempuh truk, dengan beberapa batasan yaitu setiap truk harus memulai rute perjalanan dari tempat produksi, setiap pelanggan hanya dilayani satu kali oleh satu truk, setiap pelanggan mempunyai permintaan yang harus dipenuhi, setiap truk memiliki batasan kapasitas tertentu, dan tidak terdapat subrute untuk setiap truk. (Toth & Vigo, 2002).

To cite this article:

Widyastiti, M., & Kamila I. (2019). Penentuan Rute Optimal pada Pengangkutan Sampah di Kota Bogor Menggunakan *Vehicle Routing Problem*. *PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika* 2, 122-130

Analisis rute truk pengangkutan sampah di Kota Bogor sudah pernah dilakukan sebelumnya menggunakan Sistem Informasi Geografis (Apriyanti et al, 2018) diperoleh 88 rute perjalanan dengan total biaya sebesar Rp. 5.834.000 atau sekitar 1.131,822 liter solar untuk satu kali perjalanan. Selain itu, optimasi pengelolaan sampah dengan studi kasus di Kota Jakarta juga pernah dilakukan (Supriyo et al (2017). Model *Vehicle Routing Problem* telah banyak dikembangkan dengan beberapa metode, antara lain *Vehicle Routing Problem* menggunakan algoritme genetika (Baker & Ayechev, 2003) dan *Vehicle Routing Problem* yang diselesaikan dengan algoritme semut (Yu et al, 2009). *Vehicle Routing Problem* juga memiliki banyak variasi, antara lain *Open Vehicle Routing Problem with cross-docking* (Vincent et al, 2016), *multiple-trip Vehicle Routing Problem* (Grangier et al, 2016), serta *heterogeneous Vehicle Routing Problem with Simultaneous pickup and delivery* (Avci & Topaloglu, 2016).

2. Metode

2.1 Data

Data pengangkutan sampah yang diperlukan dalam penelitian ini diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Bogor berupa data banyaknya TPS di setiap kecamatan dan banyaknya truk bertipe *arm roll* berkapasitas 6 ton. Selain itu, data juga diambil dari Badan Pusat Statistik Kota Bogor berupa data penduduk Kota Bogor. Data jarak dari TPA ke antar TPS didapatkan dengan menggunakan bantuan google maps. Banyaknya TPS yang ada di setiap kecamatan diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Banyaknya TPS yang ada di setiap kecamatan

Kecamatan	TPS
Bogor Timur	14
Tanah Sareal	17
Bogor Tengah	17
Bogor Barat	12
Bogor Selatan	16
Bogor Utara	13

2.2 Formulasi Matematika

Formulasi matematika dalam masalah penentuan rute optimal pada pengangkutan sampah di Kota Bogor menggunakan *Vehicle Routing Problem* dapat dimodelkan sebagai berikut.

2.2.1 Himpunan dan Indeks

Himpunan dan indeks yang digunakan dalam penentuan rute optimal pada pengangkutan sampah di Kota Bogor menggunakan *Vehicle Routing Problem* adalah sebagai berikut.

$K = \{1, 2, \dots, r\}$ = himpunan truk, dengan indeks k

$S = \{2, 3, \dots, n\}$ = himpunan TPS, dengan indeks i, j, l

$AS = \{1, 2, \dots, n\}$ = himpunan TPA dan TPS, dengan node 1 menyatakan TPA dan dengan indeks i, j, l

2.2.2 Parameter

Parameter yang digunakan dalam penentuan rute optimal pada pengangkutan sampah di Kota Bogor menggunakan *Vehicle Routing Problem* adalah sebagai berikut.

a_k = kapasitas angkut maksimal dari truk ke- k

q_i = banyaknya volume sampah yang ada di TPS ke- i

r_i = banyaknya volume sampah yang diangkut di TPS ke- i

d_{ij} = jarak TPS ke- i dan TPS ke- j

M = konstanta positif

u_{ki} = variabel tambahan yang menyatakan truk k mengunjungi TPS i agar menghindari terjadinya *subroute*.

N = banyaknya truk yang tersedia

2.2.3 Variabel keputusan

Variabel keputusan yang digunakan dalam penentuan rute optimal pada pengangkutan sampah di Kota Bogor menggunakan *Vehicle Routing Problem* adalah sebagai berikut.

$$x_{kij} = \begin{cases} 1, & \text{jika truk } k \text{ mengunjungi TPS } i \text{ sebelum ke TPS } j \\ 0, & \text{jika selainnya} \end{cases} \quad (1)$$

$$z_k = \begin{cases} 1, & \text{jika truk } k \text{ digunakan} \\ 0, & \text{jika selainnya} \end{cases} \quad (2)$$

2.2.4 Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan dari penentuan rute optimal pada pengangkutan sampah di Kota Bogor menggunakan *Vehicle Routing Problem* adalah meminimumkan biaya, dimana diawali dengan menghitung jarak tempuh truk dan kemudian hasil akhir dikalikan 0,53 dan Rp.5150. Formulasi fungsi tujuan dapat ditulis sebagai berikut.

$$\text{Minimumkan} \left(\sum_{i \in AS} \sum_{j \in AS} \sum_{k \in T} d_{ij} x_{kij} \right) \times 0.53 \times 5150$$

2.2.5 Kendala

Kendala yang dibutuhkan dalam masalah penentuan rute optimal pada pengangkutan sampah di Kota Bogor menggunakan *Vehicle Routing Problem*, adalah sebagai berikut.

1. Setiap truk yang akan digunakan harus keluar dari TPA, namun tidak semua truk akan digunakan

$$\sum_{j \in AS} x_{k1j} \leq 1, \forall k \in T$$

$$x_{kij} \leq z_k, \forall k \in T, \forall i, j \in AS, i \neq j$$

2. Setiap TPS akan dikunjungi hanya satu kali oleh satu truk

$$\sum_{k \in T} \sum_{\substack{i \in N \\ i \neq j}} x_{kij} = 1, \forall j \in AS$$

$$\sum_{k \in T} \sum_{\substack{j \in AS \\ i \neq j}} x_{kij} = 1, \forall i \in AS$$

3. Setelah mengambil sampah dari suatu TPS, setiap truk akan meninggalkan TPS tersebut untuk mengunjungi TPS lainnya

$$\sum_{\substack{i \in AS \\ i \neq l}} x_{kil} - \sum_{\substack{j \in AS \\ j \neq l}} x_{klj} = 0, \forall l \in AS, \forall k \in T$$

4. Setiap truk hanya mampu mengangkut sampah sesuai dengan kapasitas dari truk tersebut. Karena truk melakukan 2 kali perjalanan, maka sampah yang ada di TPS akan dibagi dua.

$$r_i = \frac{d_i}{2}, \forall i \in S$$

$$\sum_{i \in AS} \sum_{\substack{j \in AS \\ i \neq j}} r_i x_{kij} \leq a_k, \forall k \in T$$

5. Tidak terjadinya subroute untuk setiap truk

$$u_{ki} - u_{kj} + N x_{kij} \leq N - 1, \forall k \in T, \forall i, j \in S, i \neq j$$

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan formulasi masalah tersebut, solusi kemudian dicari dengan menggunakan perangkat lunak LINGO 11.0. Akan tetapi, pada proses ini waktu eksekusi yang dibutuhkan cukup lama. Dari enam kecamatan, tiga kecamatan diperoleh solusi optimal, sedangkan tiga kecamatan lainnya harus interupsi setelah proses *running* selama lebih dari 48 jam. Kecamatan yang memperoleh solusi optimal adalah kecamatan Bogor Utara, Kecamatan Bogor Barat, dan Kecamatan Tanah Sareal. Kecamatan Bogor Timur, Kecamatan Bogor Tengah, dan kecamatan Bogor Selatan hanya mendapatkan solusi *feasible* yang mendekati solusi optimal.

Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Apriyanti et al (2018) dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis, diperoleh hasil 88 rute perjalanan dengan total biaya sebesar Rp. 5.834.00 atau sekitar 1131,822 liter solar untuk satu kali perjalanan. Hasil pengangkutan sampah dengan menggunakan *Vehicle Routing Problem* diperoleh solusi yang lebih baik dari penelitian tersebut. Rute yang digunakan sebanyak 79 rute, dengan 38 rute dilakukan sebanyak dua kali perjalanan dan 3 rute hanya melakukan satu perjalanan untuk di Kecamatan Bogor Utara. Hasil yang diperoleh berupa total jarak tempuh sejauh 3966,26 km atau membutuhkan bahan bakar (solar) sekitar 2102,118 liter. Pada saat ini, harga solar sebesar Rp. 5.150 maka besarnya biaya yang dibutuhkan pada pengangkutan sebesar Rp. 10.825.907. Hasil pengangkutan sampah berupa jarak tempuh, bahan bakar dan biaya untuk dua kali perjalanan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengangkutan Sampah Untuk Dua Kali Perjalanan

Kecamatan	Jarak Tempuh (km)	Bahan Bakar (liter)	Biaya (Rupiah)
Bogor Timur	494,38	262,0214	1.349.410
Tanah Sareal	565,7	299,821	1.544.078
Bogor Tengah	664,88	352,3864	1.814.790
Bogor Barat	546,1	289,433	1.490.580
Bogor Selatan	796,5	422,145	2.174.047
Bogor Utara	898,7	476,311	2.453.002

Di kecamatan Bogor Timur, banyak truk digunakan untuk mengangkut sampah adalah sebanyak 4 truk, dengan rute truk 1 dari TPA Galuga ke Suka Mulya, lalu ke BMC, kemudian ke SKI, dilanjutkan ke PDAM dan kembali lagi ke TPA Galuga. Truk kedua dimulai dari TPA Galuga ke Taman Pajajaran 2, dilanjutkan ke Taman Pajajaran, lalu ke Parung Banteng, kemudian ke MBR dan kembali lagi ke TPA Galuga. Truk ketiga dari TPA Galuga berangkat ke Bakongsi (Sindang Rasa), lalu ke Lorena, dan kembali ke TPA Galuga. Truk keempat dari TPA Galuga menuju X-One Sukasari lalu ke Binamarga, dilanjutkan ke terminal baranangsiang, dan ke Perum Riau, dan terakhir ke TPA Galuga. Total jarak tempuh untuk rute Kecamatan Bogor Timur untuk satu kali perjalanan sebesar 247,19 km atau sekitar 131,0107 liter solar atau Rp. 674.705. Proses pengangkutan sampah dilakukan 2 kali perjalanan sehingga

total jarak tempuhnya yaitu 494,38 km atau 262,0214 liter solar, atau Rp. 1.349.410. Rincian jarak, bahan bakar, dan biaya yang dibutuhkan untuk kecamatan Bogor Timur dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengangkutan Sampah di Kecamatan Bogor Timur

Truk	Jarak Tempuh (km)	Bahan Bakar (liter)	Biaya (Rupiah)
1	65,1	34,503	177.690,5
2	63,44	33,6232	173.159,5
3	60,85	32,2505	166.090,1
4	57,8	30,634	157.765,1
1 kali perjalanan	247,19	131,0107	674.705
2 kali perjalanan	494,38	262,0214	1.349.410

Untuk di kecamatan Tanah Sareal sebanyak 6 truk digunakan untuk mengangkut sampah, dengan rute kendaraan 1 dari TPA Galuga ke Jogja Plaza kemudian ke Saung Kuring, dilanjut ke Kedung Badak I dan kedung badak II, dan kembali ke TPA Galuga. Kendaraan kedua dimulai dari TPA Galuga ke Pasar Jambu dua dan kembali lagi ke TPA Galuga. Kendaraan ketiga dari TPA Galuga berangkat ke Sukaresmi, dan kembali ke TPA Galuga. Kendaraan keempat dari TPA Galuga menuju Bukit Cimanggu II, lalu ke Bukit Cimanggu I, dilanjutkan ke SMP 16, ke Taman Sari Persada, dan Lotte Mart, kemudian berakhir di TPA Galuga. Kendaraan kelima dari TPA Galuga menuju Sinbad dan kembali lagi ke TPA Galuga, sedangkan kendaraan keenam dari TPA Galuga ke Blender, kemudian ke Pondok Rumput, kemudian ke Good Year, dan ke Haur Jaya, dan kembali ke TPA Galuga. Total jarak tempuh untuk rute Kecamatan Tanah Sareal untuk satu kali perjalanan sebesar 282,85 km atau sekitar 149,9105 liter solar atau Rp. 772039,1. Proses pengangkutan sampah dilakukan 2 kali perjalanan sehingga total jarak tempuhnya yaitu 565,7 km atau 299,821 liter solar, atau Rp. 1.544.078. Rincian jarak, bahan bakar, dan biaya yang dibutuhkan untuk kecamatan Tanah Sareal dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengangkutan Sampah di Kecamatan Tanah Sareal

Truk	Jarak Tempuh (km)	Bahan Bakar (liter)	Biaya (Rupiah)
1	49,3	26,129	134.564,4
2	48	25,44	131.016
3	46	24,38	125.557
4	47,25	25,0425	128.968,9
5	42	22,26	114.639
6	50,3	26,659	137.293,9
1 kali perjalanan	282,85	149,9105	772.039,1
2 kali perjalanan	565,7	299,821	1.544.078

Di Kecamatan Bogor Tengah, banyaknya truk yang digunakan untuk proses pengangkutan sampah adalah sebanyak 7 truk, dengan rute truk 1 dari TPA Galuga ke Sempur kemudian ke Cilibende, dilanjutkan ke Pusdikzi dan Sekolah Regina Pacis, dan kembali ke TPA Galuga. Truk kedua dimulai dari TPA Galuga ke Jalan Salmun dan kembali lagi ke TPA Galuga. Truk ketiga dari TPA Galuga berangkat ke RS PMI, UNPAK., IPB (Tegal lega), Jalan Roda, Jalan Gedong Sawah, Propindo, dan kembali ke TPA Galuga. Truk keempat dari TPA Galuga menuju Depris dan kemudian berakhir di TPA Galuga. Truk kelima dari TPA Galuga menuju Kantor Batu, menuju Bogor Plaza, kemudian ke Paledang (SMPN 7), dan kembali lagi ke TPA Galuga. Truk keenam dari TPA Galuga ke Mayor Oking, dan kembali ke TPA Galuga. Truk ketujuh dari TPA Galuga ke Superindo dan kembali ke TPA Galuga. Total jarak tempuh untuk rute Kecamatan Bogor Tengah untuk satu kali perjalanan sebesar 332,44 km atau sekitar 176,1932 liter solar atau Rp. 907.395. Proses pengangkutan sampah dilakukan 2 kali perjalanan sehingga total jarak tempuhnya yaitu 664,88 km atau 352,3864 liter solar, atau Rp. 1.814.790. Rincian jarak, bahan bakar, dan biaya yang dibutuhkan untuk kecamatan Bogor Tengah dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengangkutan Sampah di Kecamatan Bogor Tengah

Truk	Jarak Tempuh (km)	Bahan Bakar (liter)	Biaya (Rupiah)
1	52,7	27,931	143.844,7
2	46	24,38	125.557
3	54,89	29,0917	149.822,3
4	42	22,26	114.639
5	48,85	25,8905	133.336,1
6	44	23,32	120.098
7	44	23,32	120.098
1 kali perjalanan	332,44	176,1932	907.395
2 kali perjalanan	664,88	352,3864	1.814.790

Banyaknya truk yang dibutuhkan untuk mengangkut sampah di kecamatan Bogor Barat adalah sebanyak 7 truk, dengan rute truk 1 dari TPA Galuga ke terminal Bubulak dan kembali ke TPA Galuga. Truk kedua dimulai dari TPA Galuga ke Pasir Kuda dan kembali lagi ke TPA Galuga. Truk ketiga dari TPA Galuga berangkat ke Yasmin Sektor 6 kemudian ke Giant Yasmin, dan kembali ke TPA Galuga. Truk keempat dari TPA Galuga menuju Kapuk Loji dan kemudian berakhir di TPA Galuga. Truk kelima dari TPA Galuga menuju Gang Kelor, menuju Jalan Manunggal, kemudian ke RS Marzuki Mahdi, dan ke Pusdik Intel, kemudian kembali lagi ke TPA Galuga. Truk keenam dari TPA Galuga ke Curug Induk, dan kembali ke TPA Galuga. Truk ketujuh dari TPA Galuga ke Pasar Gunung Batu dan ke Gang Bengkong, dan kembali ke TPA Galuga. Total jarak tempuh untuk rute Kecamatan Bogor Barat untuk satu kali perjalanan sebesar 273,05 km atau sekitar 144,7165 liter solar atau Rp. 745.290. Proses pengangkutan sampah dilakukan 2 kali perjalanan sehingga total jarak tempuhnya yaitu 546,1 km atau 289,433 liter solar, atau Rp. 1.490.580. Rincian jarak, bahan bakar, dan biaya yang dibutuhkan untuk kecamatan Bogor Barat dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengangkutan Sampah di Kecamatan Bogor Barat

Truk	Jarak Tempuh (km)	Bahan Bakar (liter)	Biaya (Rupiah)
1	32	16,96	87.344
2	44	23,32	120.098
3	37,1	19,663	101.264
4	38	20,14	103.721
5	42,35	22,4455	115.594
6	36	19,08	98.262
7	43,6	23,108	119.006
1 kali perjalanan	273,05	144,7165	745.290
2 kali perjalanan	546,1	289,433	1.490.580

Proses pengangkutan sampah di kecamatan Bogor Selatan membutuhkan truk sebanyak 8 truk. Rute untuk truk 1 yaitu dari TPA Galuga ke Perumahan Pakuan, Paspampres, dan Warung Bandrek, dan kembali ke TPA Galuga. Truk kedua dimulai dari TPA Galuga ke Pamoyanan Sari dan kembali lagi ke TPA Galuga. Truk ketiga dari TPA Galuga berangkat ke Dekeng, dan kembali ke TPA Galuga. Truk keempat dari TPA Galuga menuju Ciawi, Rolita, Nutrifood, dan kemudian berakhir di TPA Galuga. Truk kelima dari TPA Galuga menuju BNR dan kemudian kembali lagi ke TPA Galuga. Truk keenam dari TPA Galuga ke Villa kebun Raya, Batutulis, Perumda, dan kembali ke TPA Galuga. Truk ketujuh dari TPA Galuga ke Jalan Pahlawan, dan kembali ke TPA Galuga. Truk kedelapan dari TPA Galuga ke Warban, kemudian ke Bondongan, RS Melania, dan kembali ke TPA Galuga. Total jarak tempuh untuk rute Kecamatan Bogor Selatan untuk satu kali perjalanan sebesar 449,35 km atau sekitar 238,155 liter solar atau Rp. 1.226.500,825. Proses pengangkutan sampah dilakukan 2 kali perjalanan sehingga total jarak tempuhnya yaitu 898,7 km atau 476,311 liter solar, atau Rp. 2.453.002. Rincian jarak, bahan bakar, dan biaya yang dibutuhkan untuk kecamatan Bogor Selatan dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengangkutan Sampah di Kecamatan Bogor Selatan

Truk	Jarak Tempuh (km)	Bahan Bakar (liter)	Biaya (Rupiah)
1	56,5	29,945	154.216,75
2	56	29,68	152.852
3	60	31,8	163.770
4	66	34,98	180.147
5	54	28,62	147.393
6	58,9	31,217	160.767,55
7	48	25,44	131.016
8	49,95	26,4735	136.338,525

1 kali perjalanan	449,35	238,155	1.226.500,825
2 kali perjalanan	898,7	476,311	2.453.002

Untuk di Kecamatan Bogor Utara sebanyak 9 truk digunakan untuk proses pengangkutan sampah, meliputi 6 kendaraan berangkat 2 kali perjalanan dan 3 truk hanya 1 kali perjalanan. Rute truk 1 dari TPA Galuga ke Pasar Tanah Baru dan Botanica, dan kembali ke TPA Galuga. Truk kedua dimulai dari TPA Galuga ke Indraprasta dan kembali lagi ke TPA Galuga. Truk ketiga dari TPA Galuga berangkat ke Ciparigi, dan kembali ke TPA Galuga. Truk keempat dari TPA Galuga menuju Pandu Raya, perumahan pabaton indah, dan Plaza jambu dua, dan kemudian berakhir di TPA Galuga. Truk kelima dari TPA Galuga menuju Brimob dan Ciparigi, kemudian kembali lagi ke TPA Galuga. Truk keenam dari TPA Galuga ke Bantar jati Atas, IPB III, Rumah sakit Azra, Rumah sakit Mulia, dan kembali ke TPA Galuga. Truk ketujuh dari TPA Galuga ke Ciparigi, dan kembali ke TPA Galuga. Truk kedelapan dari TPA Galuga ke Pandu Raya, kemudian kembali ke TPA Galuga. Truk kesepuluh dari TPA Galuga ke IPB II dan kembali lagi ke TPA Galuga. Total jarak tempuh untuk rute Kecamatan Bogor Utara untuk satu kali perjalanan sebesar 477,25 km atau sekitar 252,943 liter solar atau Rp. 1.302.654. Proses pengangkutan sampah dilakukan 2 kali perjalanan sehingga total jarak tempuhnya yaitu 796,5 km atau 422,145 liter solar, atau Rp. 2.174.047. Rincian jarak, bahan bakar, dan biaya yang dibutuhkan untuk kecamatan Bogor Utara dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengangkutan Sampah di Kecamatan Bogor Utara

Truk	Jarak Tempuh (km)	Bahan Bakar (liter)	Biaya (Rupiah)
1	55,7	29,521	152.033,2
2	48	25,44	131.016
3	48	25,44	131.016
4	55,7	29,521	152.033,2
5	53,4	28,302	145.755,3
6	58,45	30,9785	159.539,3
7	50	26,5	136.475
8	52	27,56	141.934
9	56	29,68	152.852
1 kali perjalanan	477,25	252,9425	1.302.654
2 kali perjalanan	796,5	422,145	2.174.047

4. Simpulan

Masalah penentuan rute optimal pada pengangkutan sampah di Kota Bogor menggunakan *Vehicle Routing Problem* diperoleh hasil total jarak minimum yang ditempuh sebesar 3.966,26 km atau membutuhkan bahan bakar (solar) sekitar 2.102,118 liter dan total biaya pengangkutan sampah sebesar Rp. 10.825.907, dengan rincian Bogor Timur sebesar Rp. 1.349.419, Tanah Sareal sebesar Rp. 1.544.078, Bogor Tengah sebesar Rp. 1.814.790, Bogor Barat sebesar Rp. 1.490.580, Bogor Selatan sebesar Rp. 2.174.047, dan Bogor Utara sebesar Rp. 2.453.002. Hasil yang diperoleh ini menunjukkan adanya

pengurangan rute dan penghematan biaya jika dibandingkan dengan rute pengangkutan yang telah dilakukan penelitian sebelumnya.

5. Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh dana Kemenristekdikti dengan Surat Keputusan Nomor 110/SP2H/LT/DRPM/2019 dan Perjanjian/ Kontrak Nomor 2654/L4/PP/2019 dan Nomor 34/LPPM-UP/KP-PDP/III/2019. Ucapan terima kasih ini juga ditujukan kepada semua pihak terkait sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

Daftar Pustaka

- Apriyanti, D., Kresnawati, D. K. & Diniyah, W. F. (2018). Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis Untuk Analisis Rute Truk Pengangkutan Sampah Di Kota Bogor. *Proceeding National Seminar of Geomatics Geospatial Information Agency*. Bogor, Indonesia.
- Avcı, M. & Topaloglu, S., (2016). A Hybrid Metaheuristic Algorithm For Heterogeneous Vehicle Routing Problem With Simultaneous Pickup And Delivery. *Expert Systems with Applications* 53, 160-171.
- Baker, B. M. & Ayechew, M. A. (2003). A Genetic Algorithm For The Vehicle Routing Problem. *Computers & Operation Research*, 30(5), 787-800.
- Grangier, P., Gendreau, M., Lehuède, F. & Rousseau, L. M. (2016). An Adaptive Large Neighborhood Search For The Two-Echelon Multiple-Trip Vehicle Routing Problem With Satellite Synchronization. *European journal of operational research* 254(1), 80-91.
- Nugroho, L. A. 2018. Volume Sampah Kota Bogor Naik 2 Persen, Kebanyakan dari Rumah Tangga. (Online). (<http://bogor.tribunnews.com/2018/04/10/volume-sampah-kota-bogor-naik-2-persen-kebanyakan-dari-rumah-tangga>, diakses 4 April 2019).
- Supriyo, P. T., Aman, A., Bakhtiar, T. & Hanum, F. (2017). Model Optimasi Pengelolaan Sampah Perkotaan: Penentuan Lokasi Pembuangan Sampah. *Proceeding National Seminar of Mathematics X Universitas Negeri Semarang*. Semarang.
- Toth P, Vigo D. 2002. An overview of vehicle routing problems. Di dalam Toth P, et al., editor. *The Vehicle Routing Problem*. Philadelphia: Siam; hlm. 1-26.
- Vincent, F. Y., Jewpanya P. & Redi, A. A. N. P. (2016). Open Vehicle Routing Problem With Cross-Docking. *Computers & Industrial Engineering* 94, 6-17.
- Yu, B., Yang, Z. Z. & Yao, B. (2009). An Improved Ant Colony Optimization For Vehicle Routing Problem. *European journal of operational research*, 196(1), 171-175.