

MODEL VEHICLE ROUTING PROBLEM DALAM MENENTUKAN BANYAKNYA RUTE DAN ARMADA PENGANGKUTAN SAMPAH DI KOTA BOGOR

Maya Widyastiti^{1*}, Isti Kamila²

¹Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Pakuan

*Email: maya.widyastiti@unpak.ac.id

diterima: 16 Januari 2019; direvisi:29 Januari 2019; disetujui:24 Februari 2019

ABSTRAK

Masalah sampah adalah masalah yang umum terjadi di perkotaan, termasuk Kota Bogor. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan banyaknya rute dan armada pengangkutan sampah di Kota Bogor. Metode yang digunakan adalah metode Branch and Bound dengan menggunakan model *Vehicle Routing Problem*. Hasil yang diperoleh berupa rute pengangkutan sampah sebanyak 69 rute dan armada pengangkut sampah yang dibutuhkan sebanyak 36 armada pengangkut, dengan rincian Bogor Tengah sebanyak 7 rute dan armada pengangkut sampah sebanyak 4 unit, Bogor Utara sebanyak 13 rute dan armada pengangkut sebanyak 4 unit, Bogor Timur sebanyak 6 rute dan armada pengangkut sebanyak 3 unit, Bogor Barat sebanyak 14 rute dan armada pengangkut sebanyak 7 unit, Bogor Selatan sebanyak 16 rute dan armada pengangkut sebanyak 8 unit, dan Tanah Sareal sebanyak 12 rute dan armada pengangkut sampah sebanyak 6 unit.

Kata Kunci : armada pengangkut, rute, sampah, vehicle routing problem

VEHICLE ROUTING PROBLEM TO DETERMINE THE NUMBER OF ROUTES AND FLEET OF GARBAGE TRANSPORTATION IN BOGOR

ABSTRACT

Garbage problem is a common problem in urban areas, including in Bogor. This study aims to determine the number of routes and fleet of garbage transportation in Bogor. The method used is the Branch and Bound method by using the Vehicle Routing Problem model. The results obtained in the form of 69 garbage transportation routes and 36 garbage transport fleets are needed, with details of Central Bogor as many as 7 routes and 4 garbage transport fleets, North Bogor as many as 13 routes and 4 transport fleet units, East Bogor as much as 6 units 3 units of transport routes and fleets, 14 units of West Bogor and 7 units of transport fleet, 16 units of Bogor Selatan and 8 units of transport fleet, and 12 units of Tanah Sareal and 6 units of garbage transport fleet.

Keywords: garbage, route, transport fleet, vehicle routing problem

PENDAHULUAN

Masalah sampah adalah merupakan salah satu tantangan yang sering dihadapi di setiap daerah, termasuk di Kota Bogor. Dari tahun ke tahun, volume sampah di Kota Bogor kian meningkat. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya jumlah penduduk di Kota Bogor. Data yang diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Bogor menyebutkan bahwa volume sampah di Kota Bogor mencapai 2900 meter kubik dan hanya 2100 meter kubik yang dapat terangkut ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Galuga. Proses pengangkutan sampah di Kota Bogor dilakukan setiap harinya dengan 2 kali perjalanan. Akan tetapi, DLH Kota Bogor memiliki keterbatasan dalam proses pengangkutan sampah, seperti keterbatasannya armada pengangkut sampah. Saat ini armada pengangkut sampah di setiap kecamatan berbeda. Volume sampah di setiap kecamatan pun berbeda. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menentukan banyaknya armada pengangkut sampah agar sampah dapat terangkut dengan baik dari setiap Tempat Pembuangan Sementara (TPS) di setiap kecamatan ke TPA Galuga.

Apriyanti *et al* (2018) telah melakukan penelitian menggunakan Sistem Informasi Geografis dalam proses pengangkutan sampah. Hasil yang diperoleh berupa rute perjalanan sebanyak 88 rute. Pada penelitian ini, masalah pengangkutan sampah akan diformulasikan ke dalam model *Vehicle Routing Problem* dan diselesaikan dengan metode *Branch and Bound*.

Menurut Toth dan Vigo (2002), *Vehicle Routing Problem* (VRP) merupakan masalah penentuan rute armada pengangkut dalam mengantarkan suatu produk dari depot (tempat produksi) ke pelanggan (konsumen) dengan tujuan meminimumkan jarak tempuh atau biaya perjalanan atau waktu tempuh. Pada kasus pengangkutan sampah, beberapa batasan yang harus dipenuhi, antara lain:

1. setiap armada harus memulai perjalanan dari TPA
2. Setiap TPS hanya akan dikunjungi sebanyak satu kali oleh satu armada

3. Setiap TPS mempunyai volume sampah yang harus diangkut
4. Setiap armada memiliki keterbatasan kapasitas
5. Tidak terdapat *subroute* untuk setiap armada.

Masalah VRP telah banyak dikembangkan, antara lain oleh Crevier (2007) untuk VRP banyak depot, Kim (2006) menyelesaikan dengan *Vehicle Routing Problem with time windows*.

BAHAN DAN METODE

Data

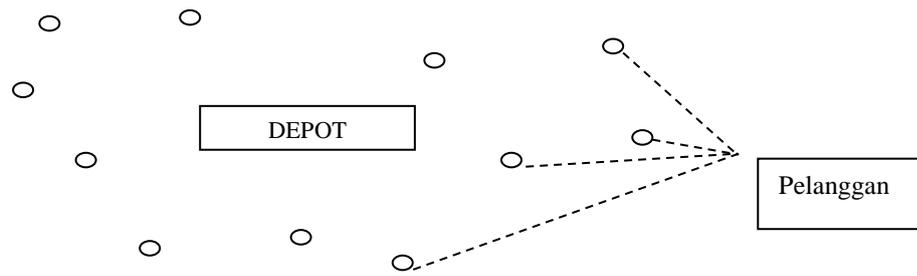
Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data volume sampah di Kota Bogor yang diperoleh dari DLH Kota Bogor, berupa data TPS kontainer, volume sampah dan banyaknya armada (truk *container*) yang tersedia secara tidak merata di setiap kecamatan. Adapun banyaknya TPS dan armada di setiap kecamatan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Banyaknya TPS dan armada pengangkut sampah di setiap kecamatan

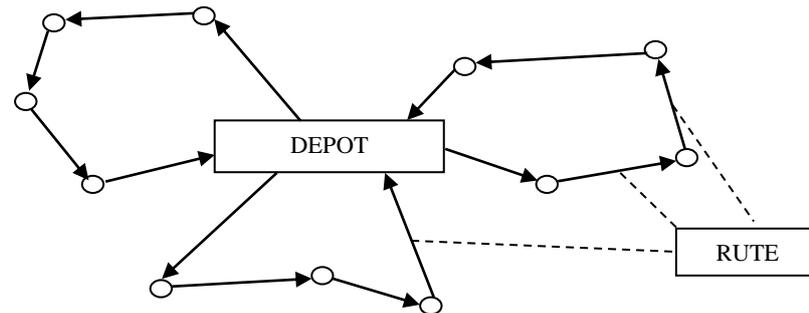
Kecamatan	Banyaknya TPS	Banyaknya armada
Bogor Tengah	17	7
Bogor Utara	13	5
Bogor Timur	14	5
Bogor Barat	12	4
Bogor Selatan	16	4
Tanah Sareal	17	6

Vehicle Routing Problem

Menurut Toth dan Vigo (2002), *Vehicle Routing Problem* (VRP) pertama kali diperkenalkan oleh Dantzig dan Ramser pada tahun 1959. Masalah ini berorientasi pada masalah optimasi kombinatorial, yaitu optimasi yang melibatkan banyak variabel. VRP dapat dinyatakan sebagai suatu digraf $G = (V, A)$, dengan $V = \{0, 1, \dots, n\}$ adalah himpunan simpul yang menunjukkan lokasi pelanggan dan $A = \{(i, j) | i, j \in V, i \neq j\}$ yaitu himpunan sisi berarah yang menyatakan jalan penghubung antarlokasi pelanggan. Gambaran mengenai VRP dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Input dari sebuah VRP.



Gambar 2. Salah satu solusi yang mungkin terjadi dari Gambar 1

Metode Branch and Bound

Prinsip dasar dari metode Branch and Bound adalah memecah daerah fisibel suatu masalah LP-relaksasi dengan membuat subproblem-subproblem. Ada dua konsep dasar dalam metode *branch and bound*, yaitu *branching* dan *bounding*.

1. *Branching*

Branching adalah proses membagi-bagi permasalahan menjadi subproblem-subproblem yang mungkin mengarah ke solusi.

2. *Bounding*

Bounding adalah suatu proses untuk mencari/menghitung batas atas (dalam masalah minimisasi) dan batas bawah (dalam masalah maksimisasi) untuk solusi optimal pada subproblem yang mengarah ke solusi.

Berikut ini adalah langkah-langkah penyelesaian suatu masalah maksimisasi dengan metode *branch and bound*.

1. Langkah 0

Didefinisikan z sebagai batas bawah dari nilai fungsi objektif (solusi) ILP yang optimum. Pada awalnya ditetapkan $z = -\infty$ dan $i = 0$.

2. Langkah 1

Subproblem $LP_{(i)}$ dipilih sebagai masalah berikutnya untuk dipecahkan. Subproblem $LP_{(i)}$ diselesaikan dan diukur dengan kondisi yang sesuai.

a). Jika $LP_{(i)}$ terukur dan solusi LP yang ditemukan lebih baik maka batas bawah z diperbarui. Jika tidak, bagian masalah (subproblem) baru i dipilih dan langkah 1 diulangi. Jika semua subproblem telah dipecahkan, maka proses dihentikan.

b). Jika $LP_{(i)}$ tidak terukur, proses dilanjutkan ke langkah 2 untuk melakukan pencabangan $LP_{(i)}$.

3. Langkah 2

Dipilih salah satu variabel x_j yang nilai optimumnya adalah x_j^* yang tidak memenuhi batasan *integer* dalam solusi $LP_{(i)}$. Bidang $[x_j^*] \leq x_j \leq [x_j^*] + 1$ disingkirkan dengan membuat dua subproblem LP, yaitu $x_j \leq [x_j^*]$ dan $x_j \geq [x_j^*] + 1$, sehingga diperoleh kendala subproblem baru sebagai berikut:

- Subproblem baru 1 : kendala subproblem lama + kendala $x_j \leq [x_j^*]$
- Subproblem baru 2 : kendala subproblem lama + kendala $x_j \geq [x_j^*] + 1$ dengan $[x_j^*]$ didefinisikan sebagai *integer* terbesar yang kurang dari atau sama dengan

x_j^* . Selanjutnya kembali ke langkah 1. (Taha 1996)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Himpunan dan Indeks

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

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

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

Parameter

a_k = kapasitas angkut maksimal dari armada 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

Variabel Keputusan

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

$$z_k = \begin{cases} 1, & \text{jika rute untuk armada } k \text{ dilalui} \\ 0, & \text{jika selainnya} \end{cases}$$

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan pada penelitian ini adalah meminimumkan banyaknya rute yang akan dilalui oleh armada ke- k .

$$\text{Minimumkan } y := \sum_k z_k$$

Kendala

Kendala yang harus dipenuhi antara lain.

1. Tidak semua armada keluar dari TPA

$$\sum_{j \in A} x_{k1j} \leq 1, \forall k \in K$$

2. Tidak ada agen yang dilayani oleh kendaraan yang tidak dijalankan,

$$x_{ijk} \leq z_k, \\ \forall i, j \in A; i \neq j; \forall k \in K.$$

3. Setiap TPS akan dikunjungi hanya satu kali oleh satu armada

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

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

4. Setiap truk akan meninggalkan TPS suatu TPS untuk mengunjungi TPS lainnya

$$\sum_{\substack{i \in A \\ i \neq l}} x_{kil} - \sum_{\substack{j \in A \\ j \neq l}} x_{klj} = 0,$$

$$\forall l \in A, \forall k \in K$$

5. Setiap truk hanya mampu mengangkut sampah sesuai dengan kapasitas dari truk tersebut.

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

6. Tidak terjadinya subroute untuk setiap truk

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

7. Variabel keputusan x_{ijk} merupakan variabel keputusan yang bernilai 0 atau 1, $x_{ijk} \in \{0, 1\}$,

$$\forall i, j \in S; i \neq j; \forall k \in K$$

8. Variabel keputusan z_k merupakan variabel keputusan yang bernilai 0 atau 1, $z_k \in \{0, 1\}, \forall k \in K$

Pembahasan

Berdasarkan formulasi matematika yang telah dibentuk, kemudian dicari solusi berupa banyaknya rute dan banyaknya armada dengan menggunakan perangkat lunak LINGO 11.0. Hasil yang diperoleh

berupa banyaknya rute pengangkutan sebanyak 69 rute dan banyaknya armada yang dibutuhkan sebanyak 36 unit. Rincian dari hasil yang diperoleh untuk setiap kecamatan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil yang diperoleh

Kecamatan	Banyaknya	Banyaknya
	Rute	Armada
Bogor Tengah	7	4
Bogor Utara	13	7
Bogor Timur	6	3
Bogor Barat	14	7
Bogor Selatan	16	8
Tanah Sareal	13	7
Total	69	36

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2, dapat dilihat bahwa banyaknya armada di di Bogor Barat, Bogor Selatan dan Tanah Sareal mengalami kekurangan armada berturut-turut sebanyak 3 unit, 4 unit dan 1 unit. Hal ini menunjukkan bahwa di 3 kecamatan tersebut memiliki peluang penumpukan sampah karena kurangnya ketersediaan armada. Sedangkan untuk Bogor Tengah, Bogor Utara dan Bogor Timur mengalami kelebihan armada masing-masing sebanyak 3 unit, 2 unit dan 2 unit. Hal ini dapat menunjukkan bahwa DLH Kota Bogor dapat meningkatkan kinerjanya dalam mengangkut sampah karena di 3 kecamatan ini ketersediaan armada telah tercukupi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan : Banyaknya rute yang dihasilkan adalah sebanyak 69 rute, dengan rincian Bogor Tengah sebanyak 7 rute, Bogor Utara sebanyak 13 rute, Bogor Timur sebanyak 6 rute, Bogor Barat sebanyak 14 rute, Bogor Selatan sebanyak 16 rute, dan Tanah Sareal sebanyak 13 rute. Banyaknya armada yang dibutuhkan adalah 36 armada dengan rincian

Bogor Tengah sebanyak 4 armada, Bogor Utara sebanyak 7 armada, Bogor Timur sebanyak 3 armada, Bogor Barat sebanyak 7 armada, Bogor Selatan sebanyak 8 armada, dan Tanah Sareal sebanyak 7 armada. Terjadi kekurangan armada untuk kecamatan Bogor Barat sebanyak 3 unit, Bogor Selatan sebanyak 4 unit dan Tanah Sareal sebanyak 1 unit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh dana Yayasan Pakuan Siliwangi Nomor 20/LPPM-KPDP/XI/2018. Ucapan terima kasih ini juga ditujukan kepada semua pihak yang 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 Armada Pengangkutan Sampah Di Kota Bogor. *Proceeding National Seminar of Geomatics Geospatial Information Agency*. Bogor, Indonesia.
- Crevier B, Cordeau JF, Laporte G. (2007). The multi-depot vehicle routing problem with inter-depot routes. *European Journal of Operational Research*. 176(2): 756-773.
- Kim BI, Kim S, Sahoo S. (2006). Waste collection vehicle routing problem with time windows. *Computer & Operations Research*. 33(12): 3624-3642.
- Taha HA. (1996). *Pengantar Riset Operasi*. Daniel Wirajaya, penerjemah. Jakarta: Binarupa Aksara. Terjemahan dari: *Operations Research*.
- 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.
- Winston WL. (2004). *Operations Research Applications and Algorithms*. Ed ke-4. New York: Duxbury.