

OPTIMALISASI RUTE PENGUMPULAN SAMPAH DI KAWASAN PERUMAHAN PESONA KHAYANGAN DENGAN MODEL PENYELESAIAN *TRAVELLING SALESMAN PROBLEM*

Yuliana Sukarmawati
Program Sarjana
Teknik Lingkungan
Universitas Indonesia
y.sukarmawati@ui.ac.id

Nahry
Teknik Sipil
Universitas Indonesia
nahry@eng.ui.ac.id

Djoko M. Hartono
Teknik Lingkungan
Universitas Indonesia
djokomh@eng.ui.ac.id

Abstract

The population in Depok is growing in line with the growth of garbage produced. This issue should be balanced with the availability of proper waste management facility, such as providing waste collection vehicles. Pesona Khayangan residence is one of the area in Depok which has waste collection door-to-door service. The limited number of waste collection vehicles make it inefficient to reduce the mounting garbage. This research is aimed to determine the optimal route of waste collection in term of time and cost. The Travelling Salesman Problem is used to model the optimization problem. The solution shows that there is time and distance efficiency on the proposed route and it has successfully saved 50.2 minutes and 0.9 km per service operation.

Keywords: waste collection, routing, travelling salesman problem

Abstrak

Populasi di Depok tumbuh sejalan dengan pertumbuhan sampah yang dihasilkan. Masalah ini harus iimbangi dengan ketersediaan fasilitas pengelolaan limbah yang tepat, seperti menyediakan kendaraan pengumpul sampah. Pesona Khayangan residence adalah suatu daerah di Depok yang mempunyai layanan pengumpulan sampah *door-to-door*. Terbatasnya jumlah kendaraan pengumpul sampah pengumpulan sampah tidak efisien. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan rute optimal pengumpulan sampah dalam hal waktu dan biaya. *The Travelling Salesman Problem* digunakan untuk memodelkan masalah optimasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa terjadi efisiensi pada waktu dan jarak pada rute yang diusulkan sehingga menghemat 50,2 menit dan 0,9 km untuk setiap operasi layanan.

Kata-kata Kunci: pengumpulan sampah, routing, *travelling salesman problem*

PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk yang terus meningkat menyebabkan bertambahnya jumlah timbulan sampah. Timbulan sampah yang terus meningkat ini memicu munculnya berbagai masalah persampahan. Kawasan perumahan Pesona Khayangan merupakan suatu kawasan pemukiman yang terletak di Kecamatan Sukmajaya, Kota Depok, yang belum terlepas dari permasalahan persampahan. Permasalahan yang terkait dengan sistem pengumpulan sampah di perumahan Pesona Khayangan adalah jumlah armada pengumpul sampah yang tidak seimbang dengan jumlah timbulan sampah yang ada dan rute pengumpulan sampah

yang belum optimal serta membutuhkan biaya yang jumlahnya masih mendominasi total pembiayaan pengelolaan sampah. Kawasan Pesona Khayangan, yang terdiri dari 3 *cluster* tersebut, hanya tersedia 3 truk sampah jenis *dump truck* berkapasitas 8-10 m³, yang masing-masing hanya beroperasi 2 hingga 3 kali dalam seminggu. Hal ini menyebabkan terjadinya penumpukan sampah pada hari-hari lain ketika truk sampah tidak beroperasi.

Dari permasalahan tersebut dapat diketahui bahwa saat ini diperlukan solusi pengelolaan sampah yang tepat, terutama dari segi teknik operasional pengumpulan sampah karena pengumpulan sampah adalah aspek penting yang mendominasi pembiayaan dalam sistem pengelolaan sampah. Evaluasi terhadap sistem pengumpulan sampah eksisting dan analisis untuk mendapatkan pola pengumpulan sampah yang efisien dapat mengurangi biaya operasional pengelolaan sampah. Selain itu analisis dan perhitungan kebutuhan kendaraan pengumpul sampah, yang disesuaikan dengan jumlah timbulan sampah, dibutuhkan untuk menjamin bahwa sampah dapat terangkut secara keseluruhan tanpa menyebabkan penumpukan.

Tujuan penelitian ini adalah menghitung timbulan sampah yang terdapat di kawasan Perumahan Pesona Khayangan, Depok, serta menganalisis kondisi eksisting rute dan penjadwalan pengumpulan sampahnya. Selanjutnya, dilakukan optimasi terhadap rute pengumpulan dengan memperhatikan faktor biaya dan waktu kerja. Walaupun dalam penelitian ini seluruh *cluster* yang ada di perumahan Pesona Khayangan menjadi bagian penelitian ini, dalam makalah ini hanya dilakukan analisis untuk *cluster* Pesona Mungil 1.

Beberapa penelitian telah dilakukan terkait dengan sistem pengumpulan dan pengangkutan sampah serta aplikasi pemodelan TSP (*Travelling Salesman Problem*) dan VRP (*Vehicle Routing Problem*) dalam pencarian rute pengumpulan dan pengangkutan sampah. Tung dan Pinnoi (2000) melakukan kajian tentang pencarian rute dan penjadwalan pengumpulan sampah di Hanoi dengan karakterisasi masalah sebagai VRSP (*Vehicle Routing-Scheduling Problem*), yang dapat dikategorikan menjadi *loading VRSP* dan *unloading VRSP*. Suryanto dan Widjadjakusuma (2005) melakukan kajian tentang pencarian rute pengangkutan sampah di wilayah Kota Depok dengan analisis Sistem Informasi Geografis menggunakan perangkat lunak *GIS Arcview*. Kim *et al* (2006) membuat model rute pengumpulan sampah dengan pemodelan VRPTW (*Vehicle Routing Problem with Time Windows*). Selanjutnya, Arifin (2007) melakukan kajian tentang pencarian rute pengangkutan sampah di wilayah DKI Jakarta dengan analisis *V-C Ratio*. Li *et al* (2008) melakukan kajian pencarian rute kendaraan pengumpul sampah dengan pemodelan SDVSP (*Single-Depot Vehicle Scheduling Problem*) serta Tavares dan Zsigraivoa (2009) melakukan pencarian rute kendaraan pengumpul sampah di Kota Praia, Santiago, dengan jarak 3D terpendek dan kebutuhan bahan bakar minimum.

Travelling Salesman Problem (TSP) dinyatakan sebagai permasalahan dalam mencari jarak minimal suatu tour tertutup terhadap sejumlah n kota dengan kota-kota yang ada hanya dikunjungi sekali dengan kota awal yang juga merupakan tujuan akhir

(Leksono, 2009). Menurut Garfinkel dan Nemhauser (1972), secara matematis TSP dapat dinyatakan sebagai suatu graf berarah $G = (V, A)$ dengan $V = \{0, 1, \dots, n\}$ menyatakan himpunan titik (*node*) yang menunjukkan lokasi kota dan $A = \{(i, j) \mid i, j \in V, i \neq j\}$ merupakan ruas berarah (*directed link*) yang menyatakan jalan penghubung tiap kota. Titik 0 menyatakan kota asal/depo yang menjadi tempat salesman memulai perjalanan. Misalkan c_{ij} adalah jarak tempuh (biaya perjalanan) dari kota i ke kota j dan jika variabel keputusannya adalah:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jika ruas } (i, j) \in A \text{ dilalui rute perjalanan} \\ 0, & \text{jika lainnya} \end{cases}$$

maka TSP dapat diformulasikan secara matematis sebagai berikut:

$$\text{Min } z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ij} = 1, \quad j = 0, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ij} = 1, \quad i = 0, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{i \in Q} \sum_{j \in Q} x_{ij} \geq 1, \forall Q \subset V, Q \neq \emptyset \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, i, j = 0, \dots, n \quad (5)$$

Persamaan (1) merupakan fungsi tujuan permasalahan TSP, yaitu meminimasi biaya seluruh ruas yang digunakan dalam sistem jaringan. Persamaan (2) dan persamaan (3) menggambarkan bahwa salesman mendatangi dan meninggalkan setiap kota tepat satu kali. Persamaan (4) memastikan bahwa tidak terdapat subrute sedangkan persamaan (5) menjamin bahwa x_{ij} merupakan bilangan bulat biner.

Berbeda dengan TSP, Schrijver dan Alexander (2007) mendefinisikan *Vehicle Routing Problem* (VRP) sebagai suatu cakupan masalah dengan sejumlah rute dan sejumlah kendaraan yang berada pada satu atau beberapa depot yang harus ditentukan rute perjalanannya agar dapat melayani semua konsumen yang tersebar di beberapa kota.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pemodelan matematis dalam permasalahan TSP (*Travelling Salesman Problem*). Tahapan pengukuran timbulan sampah merupakan tahap dasar semua perencanaan pengelolaan sampah. Terkait dengan perencanaan rute, data timbulan digunakan untuk menentukan kebutuhan kendaraan agar terjamin bahwa sampah dapat terangkut secara keseluruhan. Data lain yang menjadi dasar pembuatan model adalah jaringan jalan. Literatur yang digunakan sebagai dasar pembuatan jaringan jalan adalah Peta Tata Ruang dan Perencanaan Kawasan Perumahan Pesona Khayangan yang dikeluarkan oleh Dinas Tata Ruang dan Pemukiman Kota Depok pada tahun 2011. Penggambaran jaringan dilakukan secara detail mengikuti kondisi jalan yang ada. Ruas jalan yang ada di lapangan digambarkan sebagai suatu garis lurus yang

menghubungkan titik-titik tertentu. Titik-titik yang menjadi pertemuan beberapa garis ini pada kenyataan yang sebenarnya merupakan persimpangan jalan.

Jaringan (*network*) merupakan model grafis yang menjadi dasar untuk melakukan perhitungan *Shortest Path* dan *Travelling Salesman Problem*. Jaringan terdiri dari titik dan ruas. Ruas di jaringan digambarkan sebagai jalan dua arah mengikuti kondisi yang ada di lapangan, sedangkan titik pada jaringan adalah notasi pertemuan berbagai ruas jalan di persimpangan. Setelah jaringan diperoleh, tahapan berikutnya adalah tahapan penentuan *shortest path*. Tahap ini merupakan tahap pencarian rute terpendek antara satu titik dengan titik-titik lainnya yang memungkinkan dalam suatu jaringan. Untuk menyelesaikan tahapan ini digunakan alat bantu berupa program aplikasi *shortest path* (Nahry, 2010). Data yang dijadikan sebagai masukan adalah ruas jalan beserta titik-titik yang dihubungkan serta waktu tempuh kendaraan pengumpul sampah untuk berjalan dalam ruas tersebut. Masukan yang dimasukkan ke dalam program aplikasi *shortest path* meliputi data ruas dalam jaringan, yaitu nomor titik-titik yang dihubungkan oleh suatu ruas dan waktu tempuh. Luaran dari tahap penentuan *shortest path* menjadi masukan dalam tahap penyelesaian model TSP. Model ini diselesaikan dengan alat bantu berupa program aplikasi TSP LINGO. Pada tahapan ini variabel-variabel yang berpengaruh dibentuk menjadi model matematis permasalahan TSP. Model matematis tersebut selanjutnya diterjemahkan ke dalam bahasa LINGO. Penyelesaian model dilakukan dengan cara menjalankan model komputasi pada LINGO.

Hasil akhir yang berupa *solution report* dijadikan dasar untuk membuat rute usulan pengumpulan sampah. Pada *solution report* ini terdapat variabel *1-0* yang dapat disebut sebagai variabel keputusan. Ruas yang bernilai 0 berarti bahwa ruas tersebut tidak dilewati sedangkan ruas yang bernilai 1 disebut ruas terlewati. Penggambaran rute usulan dilakukan dengan cara memberi tanda dilewati untuk ruas yang bernilai 1 dan tidak dilewati untuk ruas yang bernilai 0. Hasil pemberian tanda untuk tiap-tiap ruas selanjutnya dihubungkan sedemikian rupa sehingga menghasilkan satu kesatuan rute perjalanan yang utuh.

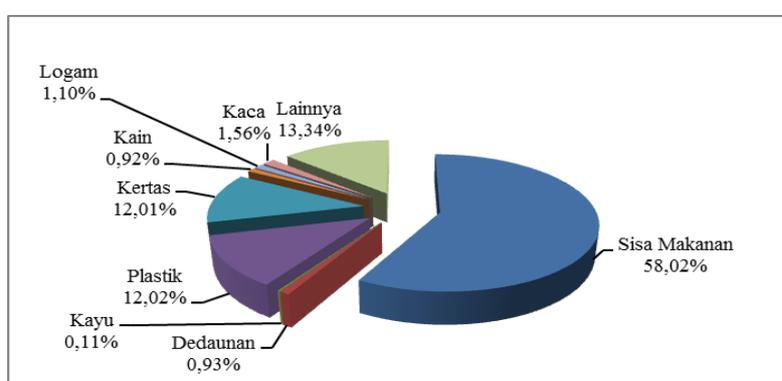
Informasi rute pengumpulan sampah eksisting yang diperoleh dari pengamatan langsung di lapangan dijadikan dasar analisis dan perbandingan terhadap rute usulan. Perhitungan total waktu dan jarak tempuh dilakukan dengan cara menjumlahkan waktu tempuh atau jarak tempuh pada tiap-tiap ruas yang dilewati oleh rute yang ada saat ini.

HASIL DAN ANALISIS

Pengukuran timbulan sampah dilakukan sesuai dengan prosedur yang terdapat dalam SNI 19-3694-1994, tentang Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan (Badan Standardisasi Nasional, 1994). Hasil pengukuran timbulan sampah diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Volume dan Berat Sampah

Hari ke-	Volume Sampah (liter/orang/hari)	Berat Sampah (kg/orang/hari)	Berat Jenis (kg/m ³)
1	2,6	0,27	102
2	2,8	0,39	140
3	3,7	0,33	88
4	2,5	0,27	109
5	2,3	0,18	79
6	3,1	0,35	114
7	3,0	0,39	130
8	3,1	0,26	84
Rata-Rata	2,9	0,31	105

**Gambar 1** Komposisi Sampah

Sampah dibedakan menjadi 9 jenis, yang meliputi sisa makanan, dedaunan, kayu, plastik, kertas, kain, logam, kaca, dan sampah jenis lainnya. Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan, komposisi sampah di perumahan Pesona Khayangan ditampilkan pada Gambar 1. Data komposisi sampah ini digunakan sebagai dasar untuk merencanakan rute pengumpulan dengan kondisi adanya pemilahan sampah. Namun pada penelitian ini hanya direncanakan rute tanpa pemilahan.

Hasil pengukuran timbulan sampah digunakan sebagai dasar untuk menentukan kebutuhan kendaraan pengumpul sampah. Kebutuhan truk dihitung melalui perbandingan kapasitas truk dengan volume sampah yang ada. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada *cluster* Pesona Mungil 1, Kawasan Perumahan Pesona Khayangan, dibutuhkan 1 buah kendaraan dengan frekuensi pengumpulan sampah 2 kali seminggu. Dengan dasar tersebut dikembangkan model TSP untuk memperoleh rute pengumpulan sampah yang optimal dari segi waktu dan jarak. Bentuk jaringan yang digunakan dalam model ini dikembangkan dengan dasar kondisi fisik jaringan jalan. Model diselesaikan dengan bantuan perangkat lunak berupa program aplikasi *shortest path* (Nahry, 2010) dan TSP LINGO. Luaran program tersebut dituangkan dalam model grafis seperti yang terdapat

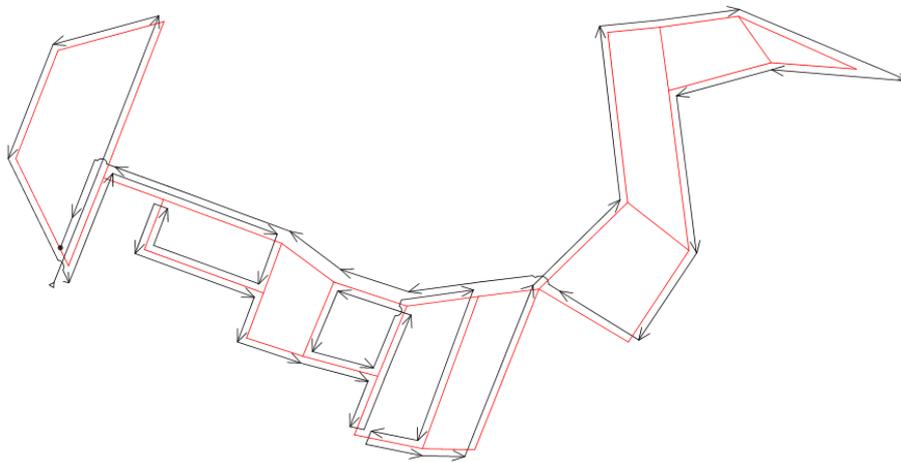
pada Gambar 3. Dengan melakukan perbandingan terhadap kondisi eksisting seperti pada Gambar 2 diperoleh hasil sebagaimana ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Perbandingan Total Waktu dan Jarak Tempuh Kendaraan Pengumpul Sampah

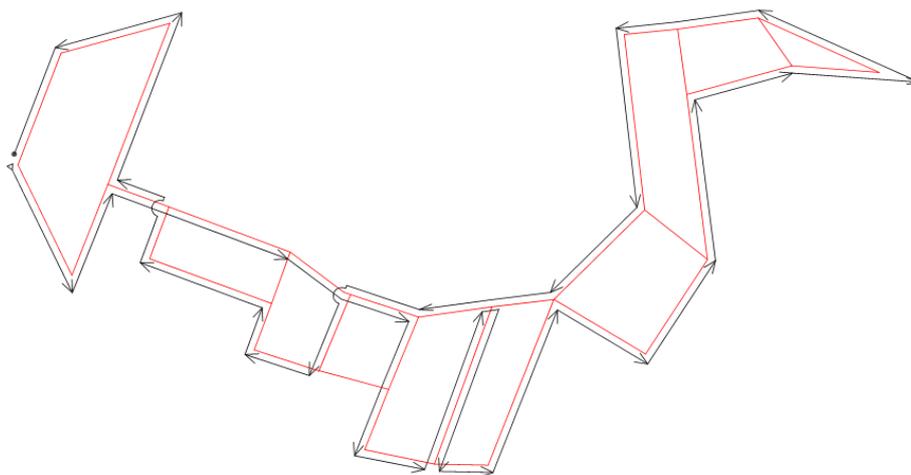
Rute Eksisting		Rute Usulan		Selisih	
Waktu	Jarak	Waktu	Jarak	Waktu	Jarak
3,6 jam	3,3 km	2,8 jam	2,4 km	50,2 menit	0,9 km

Tabel 3 Selisih Rute Eksisting dengan Rute Usulan

Selisih		Penghematan			
Waktu	Jarak	Waktu	Jarak	Bahan Bakar	Biaya
50,2 menit	0,9 km	23 %	27 %	0,15 liter	Rp 825,00



Gambar 2 Rute Pengumpulan Sampah Eksisting



Gambar 3 Rute Pengumpulan Sampah Usulan

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari kajian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Timbulan sampah di kawasan perumahan Pesona Khayangan adalah 2,9 liter/orang/hari atau 0,31 kg/orang/hari dengan berat jenis sebesar 105 kg/m³. Komposisi sampah terbesar adalah sisa makanan sebesar 58,02 %, disusul plastik 12,02% dan kertas 12,01%.
2. Rute pengumpulan sampah eksisting yang diterapkan di *cluster* Pesona Mungil 1 kawasan perumahan Pesona Khayangan saat ini menempuh jarak sejauh 3,3 km dan membutuhkan waktu selama 3,6 jam.
3. Rute pengumpulan sampah usulan yang dihasilkan dari model penyelesaian *Travelling Salesman Problem* membutuhkan waktu tempuh selama 2,8 jam dengan jarak sejauh 2,4 km.

Saran-saran yang dapat diberikan dari kajian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mendukung keberhasilan penerapan alternatif rute pengumpulan sampah diperlukan penyesuaian terhadap praktek pengumpulan sampah yang ada di lapangan saat ini.
2. Untuk pengembangan penelitian ini lebih lanjut diperlukan kajian yang lebih mendalam tentang perencanaan rute pengumpulan sampah dengan kondisi adanya pemilahan sampah.
3. Terkait dengan penggunaan program aplikasi, diperlukan penelitian untuk mengembangkan program aplikasi *Travelling Salesman Problem* dan *Vehicle Routing Problem* yang dapat menyelesaikan model dengan ukuran jaringan yang besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Z. 2007. *Optimalisasi Rute Angkutan Sampah DKI Jakarta*, (Online), <http://research.mercubuana.ac.id/proceeding/OPTIMALISASI-RUTE-ANGKUTAN-SAMPAH-DKI-JAKARTA.pdf>, (diakses pada 9 Januari 2012).
- Badan Standardisasi Nasional. 1994. *Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan*. SNI 19-3694-1994. Jakarta.
- Iskandar. 2010. *Model Optimasi Vehicle Routing Problem dan Implementasinya*. Tesis tidak diterbitkan. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Kim, B. I., Kim, S., dan Sahoo, S. 2006. *Waste Collection Vehicle Routing Problem with Time Windows*. *Journal of Computers and Operations Research*, 33: 3624-3642.
- Leksono, A. 2009. *Algoritma Ant Colony Optimization (ACO) untuk Menyelesaikan Travelling Salesman Problem (TSP)*. Skripsi. Semarang: Program Studi Matematika,

- Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Diponegoro.
- Li, J. Q., Borenstein, D. dan Mirchandani, P. B. 2008. *Truck Scheduling for Solid Waste Collection in The City of Porto Alegre, Brazil*. *Journal of Management Science*, 36 (6): 1133-1149.
- Nahry. 2010. *Pengembangan Model Optimasi Sistem Distribusi Komoditas untuk Meningkatkan Efisiensi Sistem Distribusi BUMN-PSO*. Disertasi (tidak diterbitkan). Depok: Program Pascasarjana, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Suryanto, D. A. dan Widjadjakusuma, J. 2005. *Kajian Sistem Pengangkutan Sampah Kota Depok*, (Online), http://research.mercubuana.ac.id/proceeding/Kommit2004_sipil_005.pdf. (diakses pada 9 Januari 2012).
- Tavares, G., Zsigraivova, Z., Semiao, V., and Carvalho, M. G. 2009. *Optimisation of Municipal Solid Waste Collection Routes for Minimum Fuel Consumption Using 3D GIS Modelling*. *Journal of Waste Management*, 29: 1176-1185.
- Tung, D. V. dan Pinnoi, A. 2000. *Vehicle Routing–Scheduling for Waste Collection in Hanoi*. *European Journal of Operational Research*, 125 (3): 449-468.
- Yusnar. 2008. *Linearisasi Kompak untuk Menyelesaikan Masalah Rute Kendaraan*, (Online), (<http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/6045/1/Tesis%20Yusnar%20S2%20Math.PDF>). Tesis (tidak diterbitkan). Medan: Program Pascasarjana Universitas Sumatera Utara (diakses pada 13 Januari 2012).