

Efisiensi Rute Truk Pengangkutan Sampah Sistem *Stationary Container* di Kota Padang dengan Menggunakan Algoritma *Nearest Neighbour*

Uci Mardiani^{1,*}, Yossyafra²⁾, Hendra Gunawan³⁾
^{1,2,3)}Jurusan Teknik Sipil, Universitas Andalas Padang
Kampus Limau Manis, Padang 25163, Indonesia
*E-mail: uchi.mrd@gmail.com

ABSTRAK

Efisiensi rute truk pengangkutan sampah pada penelitian ini ditentukan berdasarkan rute terpendek sehingga dapat mengefisienkan jarak, biaya dan waktu. Algoritma *Nearest Neighbour* merupakan salah satu penyelesaian *Vehicle Routing Problem (VRP)* yang dapat digunakan dalam optimasi rute truk pengangkutan sampah model operasi Sistem *Stationary Container* di Kota Padang. Kota Padang dengan jumlah penduduk 854.336 jiwa, berdasarkan data Dinas Kebersihan dan Pertamanan (DKP) tahun 2013, terdapat ± 660 ton timbulan sampah per-hari. Dari jumlah tersebut, hanya sekitar 450 ton yang mampu diangkut dari Tempat Penampungan Sementara (TPS) ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Khusus untuk pengangkutan sampah Sistem *Stationary Container* di Kota Padang pada waktu operasional pagi, terdapat 91 daerah pelayanan dengan total timbulan sampah 202,384 m³ dan dilayani oleh 14 unit truk pengangkut sampah yang terdiri dari 3 unit Truk bak kayu dengan kapasitas 17 m³ dan 11 unit Dump truck dengan kapasitas 12,5 m³, 13 m³ dan 23 m³. Pada kondisi eksisting, total jarak tempuh pengangkutan sampah dengan rute truk yang telah ditetapkan DKP Kota Padang adalah 649,257 km. Dari kondisi eksisting terdapat ketidakmerataan jumlah timbulan sampah yang diangkut pada masing-masing rute truk yaitu antara 65%-122% dari kapasitas truk yang melayani. Pada penentuan rute rencana truk pengangkutan sampah dengan menggunakan Algoritma *Nearest Neighbour*, masing-masing rute mengangkut jumlah timbulan sampah antara 98%-100% dari kapasitas truk. Hasil efisiensi pada Rute Rencana 1, didapatkan total jarak tempuh sebesar 608,321 km dengan total penghematan Bahan Bakar Minyak (BBM) terhadap rute eksisting sebesar Rp. 32.373.353,-/tahun. Sedangkan untuk Rute Rencana 2 dengan mengubah lokasi SPBU ke *By Pass* (± 200 m dari Pool), didapatkan total jarak tempuh sebesar 591,905 km dengan total penghematan BBM terhadap rute eksisting sebesar Rp. 45.355.837,-/tahun. Untuk total waktu ritasi, rute truk pengangkutan sampah eksisting membutuhkan total waktu ritasi 14 truk sebesar 78,64 jam, Rute Rencana 1 sebesar 76,96 jam dan Rute Rencana 2 sebesar 76,31 jam. Sehingga didapatkan bahwa Rute Rencana 2 memberikan solusi yang paling efisien dari segi jarak, biaya dan waktu.

Kata kunci: Efisiensi Rute Truk, Sistem *Stationary Container*, VRP, Algoritma *Nearest Neighbour*, Daerah Pelayanan

1. PENDAHULUAN

Tingginya aktivitas masyarakat kota salah satunya berdampak pada terdapatnya timbulan sampah sebagai sisa kegiatan. Menurut data Dinas Kebersihan dan Pertamanan (DKP) tahun 2013, terdapat ± 660 ton timbulan sampah per-hari di Kota Padang yang merupakan ibukota Propinsi Sumatera Barat dengan jumlah penduduk 854.336 jiwa. Hanya sekitar 450 ton per-hari dari jumlah tersebut yang mampu diangkut dari Tempat Penampungan Sementara (TPS) ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) menghasilkan sampah. Salah satu masalah yang muncul dalam pengangkutan sampah adalah masalah penentuan rute truk pengangkutan sampah khususnya untuk Sistem *Stationary Container* yang menggunakan Truk bak kayu dan *Dump truck* dalam

operasionalnya. Rute yang ditentukan haruslah merupakan rute terpendek sehingga dapat mengefisienkan jarak, biaya dan waktu. Dari kondisi tersebut, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengefisienkan rute truk pengangkutan sampah di Kota Padang. Selain itu juga perlu dilakukan pengkategorian daerah pelayanan pengangkutan sampah berdasarkan jumlah timbulan sampah per-panjang daerah pelayanan dan menghitung prediksi jumlah timbulan sampah berdasarkan pertumbuhan penduduk per-kecamatan di Kota Padang. Sedangkan untuk sarana pengangkutan sampah, perlu dilakukan penentuan umur truk pengangkut sampah dan jumlah truk yang direkomendasikan untuk diganti sesuai umur ekonomis/umur layak operasional dan kapasitas angkut truk.

2. SISTEM TRANSPORTASI DAN PEMILIHAN RUTE PENGANGKUTAN SAMPAH

Secara umum transportasi adalah pemindahan barang dan manusia dari tempat asal ke tempat tujuan. Kebutuhan akan pelayanan transportasi menurut Tamin (2008), sangat bersifat kualitatif serta mempunyai ciri berbeda-beda yang merupakan fungsi dari waktu, tujuan perjalanan, frekuensi, jenis kargo yang diangkut, dan lain-lain. Dalam pemilihan transportasi baik orang ataupun barang terdapat beberapa faktor yang menjadi pertimbangan, yaitu: waktu, jarak, efisiensi, biaya, keamanan, dan kenyamanan. Menurut Khisty and Lall (2005), terdapat empat elemen dasar penyusun bentuk fisik dari sistem transportasi, yaitu: sarana penghubung (*link*), kendaraan, terminal, serta manajemen dan tenaga kerja. Sementara dalam pemilihan rute, terdapat beberapa faktor penentu utama, yaitu: waktu tempuh, nilai waktu, biaya perjalanan, dan biaya operasi kendaraan.

Kegiatan pengangkutan sampah menurut Badan Standardisasi Nasional (2002), merupakan kegiatan membawa sampah dari lokasi pemindahan atau langsung dari sumber sampah menuju ke tempat pembuangan akhir, yang sebelumnya diawali dengan kegiatan pewadahan, pengumpulan dan pemindahan sampah. Damanhuri dan Padmi (2010), menjelaskan bahwa kegiatan pengangkutan sampah merupakan salah satu komponen penting dan membutuhkan perhitungan yang cukup teliti dimana sasarannya adalah untuk mengoptimalkan waktu angkut yang diperlukan dalam sistem tersebut, khususnya jika terdapat kondisi dimana sarana pemindahan sampah dalam skala cukup besar yang harus menangani sampah, lokasi titik tujuan sampah relatif jauh, sarana pemindahan merupakan titik pertemuan masuknya sampah dari berbagai area, ritasi perlu diperhitungkan secara teliti, serta masalah lalu lintas jalur menuju titik sasaran tujuan sampah.

Agar sistem pengangkutan sampah lebih efisien dan efektif terdapat beberapa prosedur operasional pengangkutan sampah yang dapat digunakan, yaitu:

- Menggunakan rute pengangkutan sependek mungkin dengan hambatan sekecil mungkin;
- Menggunakan kendaraan angkut dengan kapasitas/daya dukung semaksimal mungkin;
- Menggunakan kendaraan angkut hemat bahan bakar dan memanfaatkan waktu kerja semaksimal mungkin dengan meningkatkan jumlah beban kerja/ritasi pengangkutan.

Persyaratan untuk kendaraan pengangkut sampah, yang perlu diperhatikan antara lain: kendaraan harus dilengkapi dengan penutup sampah minimal

dengan jaring, tinggi bak kendaraan maksimum 1,6 m, sebaiknya ada alat ungkit, kapasitas kendaraan disesuaikan dengan kelas jalan yang akan dilalui, bak truk/dasar kontainer sebaiknya dilengkapi pengaman air sampah. Jenis kendaraan pengangkut sampah antara lain: Truk bak kayu, *Dump truck*, *Armroll truck* dan *Compactor truck*.

Kategori sistem transportasi pengangkutan sampah yang diklasifikasikan berdasarkan cara operasi (Tchobanoglous *et al.*, 1993), terdiri dari: *Hauled Container System* (HCS) dan *Stationary Container System* (SCS). HCS adalah sistem pengumpulan sampah dengan wadah pengumpulan yang dapat dipindah dan dibawa ke tempat pembuangan akhir. Sedangkan SCS adalah sistem pengumpul sampah dengan wadah pengumpul yang tidak dapat dibawa dan berpindah (tetap) dan merupakan sistem wadah tinggal yang ditujukan untuk melayani daerah pemukiman. Kendaraan pengangkut yang biasa digunakan untuk HCS adalah *Amroll truck* dan untuk SCS adalah Truk bak kayu dan *Dump truck*.

2.1 Vehicle Routing Problem (VRP)

Menurut Toth and Vigo (2002), secara umum bentuk dasar *Vehicle Routing Problem* (VRP) berkaitan dengan masalah penentuan suatu himpunan rute kendaraan (*vehicle*) yang melayani satu himpunan konsumen yang diasosiasikan dengan *vertex* dan *demand* (permintaan) yang diketahui dan rute yang menghubungkan depot dengan konsumen dan satu konsumen dengan konsumen yang lain yang dinamakan dengan *arc*. VRP sering disebut sebagai *Multi Traveling Salesman Problem* (mTSP) dimana VRP merupakan *problem* kombinatorial dari dua *problem*, yaitu *Traveling Salesman Problem* (TSP) dan *Bin Packing Problem* (BPP).

Secara matematis VRP dapat dinyatakan sebagai suatu graf $G = (V, A)$ dengan $V = \{0, 1, \dots, n\}$ menyatakan himpunan *vertex* yang menunjukkan lokasi konsumen dan $A = \{(i, j) | i, j \in V, i \neq j\}$ yaitu himpunan sisi berarah yang menyatakan jalan penghubung antar lokasi konsumen. *Vertex* 0 menunjukkan depot, yaitu tempat menyimpan kendaraan yang digunakan untuk distribusi dan merupakan tempat dimulainya suatu rute kendaraan. Banyaknya kendaraan yang tersedia di depot adalah K dengan kapasitas kendaraan ke- k adalah v_k . Setiap konsumen i memiliki permintaan sebanyak q_i . Jarak/biaya perjalanan dari konsumen i ke konsumen j adalah c_{ij} .

Fungsi tujuan dari permasalahan efisiensi rute truk pengangkutan sampah adalah meminimumkan total jarak tempuh/total biaya/total waktu dari rute pengangkutan.

Minimumkan: $z = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} \sum_{k=1}^K x_{ijk}$ (1)

$\sum_{i=0}^V x_{ijk} = y_{jk}; \sum_{j=1}^V x_{ijk} = y_{ik}$ (5)

Dengan variabel keputusan:

$i = 0, 1, 2, \dots, 91; j = 1, \dots, 91; k = 1, 2, \dots, 14$

$y_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{jika daerah pelayanan } i \text{ dilayani kendaraan ke- } k \\ 0, & \text{jika selainnya} \end{cases}$

$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{jika kendaraan ke- } k \text{ dari daerah pelayanan } i \text{ langsung ke } j \\ 0, & \text{jika selainnya} \end{cases}$

2.2 Algoritma Nearest Neighbour

Algoritma *Nearest Neighbour* merupakan heuristik paling sederhana yang dapat digunakan untuk menyelesaikan berbagai variasi masalah VRP. Aturan pada algoritma ini hanya selalu pergi ke konsumen (*vertex*) terdekat yang belum dikunjungi dengan mengikuti beberapa batasan berikut: mulai dari depot, setiap *vertex* dikunjungi hanya satu kali dan jumlah dari semua batasan dalam tur tidak melebihi kapasitas kendaraan. Apabila jumlah batasan dalam tur sementara melebihi kapasitas kendaraan, maka kita mulai lagi dari depot dan mengunjungi *vertex* terdekat selanjutnya yang belum dikunjungi. Setelah semua *vertex* dikunjungi, maka algoritma berakhir. Dalam sebuah tur, setiap *vertex* dikunjungi tepat satu kali dan terbentuklah urutan *vertex* untuk masing-masing tur yang merupakan hasil akhir dari algoritma (Pop *et al*, 2011).

Bagan alir Algoritma *Nearest Neighbour* untuk penyelesaian rute rencana truk pengangkutan sampah di Kota Padang adalah pada Gambar 1.

Batasan tujuan:

1. Total jumlah timbulan sampah dalam satu rute pengangkutan tidak melebihi kapasitas truk yang melayani rute tersebut.

$\sum_{i=0}^V q_{ik} y_{ik} \leq v_k \quad k = 1, 2, \dots, 14$ (2)

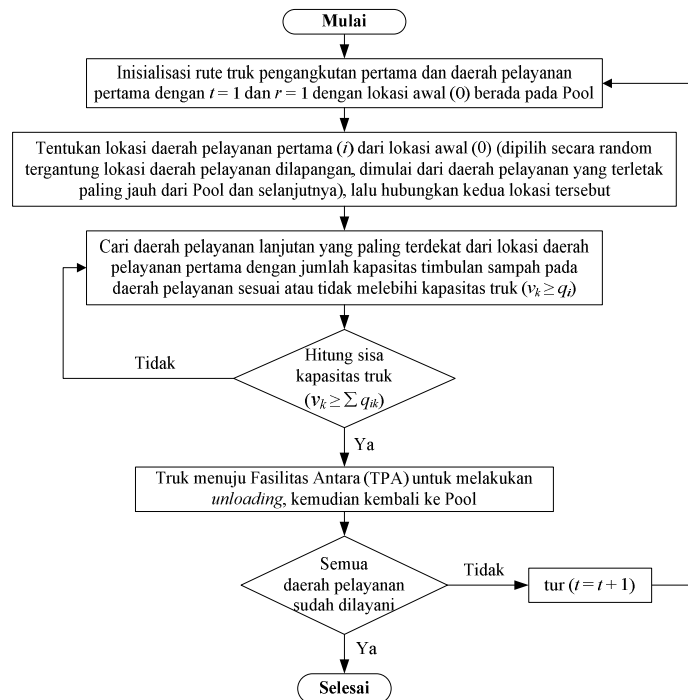
2. Setiap daerah pelayanan hanya dapat dilayani tepat satu kali oleh satu truk.

$\sum_{k=1}^K y_{ik} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, 91$ (3)

3. Setiap rute pengangkutan truk berawal dan berakhir di Pool.

$\sum_{k=1}^K y_{ik} = K \quad i = 0$ (4)

4. Setiap daerah pelayanan dilayani oleh truk yang sudah ditentukan untuk daerah pelayanan tersebut.



Gambar 1. Bagan Alir Algoritma *Nearest Neighbour*

3. DATA, ANALISIS DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini data yang dikumpulkan terdiri dari Data Primer dan Data Sekunder. Data primer yang dikumpulkan antara lain: rute truk pengangkutan sampah sistem *Stationary Container* pada waktu operasional pagi untuk 1 ritasi beserta lokasi daerah pelayanannya; kapasitas truk; dan jumlah timbulan sampah pada masing-masing daerah pelayanan. Sedangkan data sekunder yang dikumpulkan antara lain: jumlah dan jenis truk pengangkut sampah; jenis sarana pewardahan sampah; waktu operasional pengangkutan sampah; lokasi daerah pelayanan eksisting sistem *Stationary Container* pada waktu operasional pagi; data truk (jenis, nomor polisi, dan tahun keluaran); data kecepatan rata-rata truk (*travel speed*), waktu *loading* dan *unloading* sampah; peta jaringan jalan;

dan jumlah penduduk per-kecamatan di Kota Padang.

Hasil survey data primer adalah sebagai berikut:

1. Jumlah rute pengangkutan sistem *Stationary Container* pada waktu operasional pagi untuk 1 ritasi adalah 14 rute dengan 91 daerah pelayanan.
2. Kendaraan pengangkut berjumlah 14 unit yang terdiri dari:
 - a) 1 unit *Dump truck* kapasitas 23,5 m³;
 - b) 3 unit Truk bak kayu kapasitas 17 m³;
 - c) 8 unit *Dump truck* kapasitas 13 m³; dan
 - d) 2 unit *Dump truck* kapasitas 12,5 m³.
3. Total timbulan sampah pada 91 daerah pelayanan adalah 202, 384 m³.

Hasil perhitungan total jarak (1 ritasi) dan total timbulan sampah pada masing-masing Rute Eksisting truk pengangkutan sampah di Kota Padang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rute Eksisting Truk Pengangkutan Sampah di Kota Padang

No Truk	Kapasitas Truk (m ³)	Rute Eksisting Truk Pengangkutan Sampah	Total Jarak (km)	Total Timbulan Sampah (m ³)
1	23,5	0→XA→41→56→57→58→59→60→61→40→39→3a→Y→0	47,058	21,568
2	17	0→XA→78→76→70→34→30→13→14→10→20→22→17→Y→0	54,622	17,070
3	17	0→XA→81a→62→63→Y→0	39,547	20,752
4	17	0→XA→88→86→87→90→Y→0	31,069	14,049
5	13	0→XA→36→31→12→15→19→16→18→Y→0	47,898	13,490
6	13	0→XA→79→77→82→83→81b→89→91→Y→0	47,088	15,018
7	13	0→XA→33→32→11→2→3b→1→Y→0	50,467	13,244
8	13	0→XA→85→75→84→Y→0	43,147	13,034
9	13	0→XA→55→69→71→24→25→67→Y→0	49,666	8,447
10	13	0→XA→65→64→66→68→Y→0	44,262	8,593
11	13	0→XA→35→43→48→72→74→73→Y→0	47,281	13,608
12	13	0→XA→54→49→50→51→52→53→80→Y→0	46,205	15,397
13	12,5	0→XA→42→21→9→8→7→6→5→4→Y→0	47,873	13,408
14	12,5	0→XA→38→47→46→45→44→37→28→27→26→23→29→Y→0	53,074	14,708
Total			649,257	202,384

Keterangan: 0 = Pool; XA = SPBU Gunung Pangilun; Y = TPA

Pada rute eksisting jumlah timbulan sampah yang diangkut pada masing-masing rute truk tidak merata, dimana perbandingan jumlah timbulan sampah terhadap kapasitas truk yang melayani adalah antara 65%-122%. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat daerah pelayanan yang timbulan sampahnya masih tersisa karena kondisi truk yang telah penuh sehingga harus dilayani kembali pada shift selanjutnya (shift tambahan siang) dan juga terdapat truk yang kapasitasnya masih tersisa karena jumlah timbulan sampah yang diangkut kurang dari kapasitas maksimal truk. Dari kondisi ini maka perlu dilakukan analisis kembali terhadap rute pengangkutan sampah agar lebih efisien.

3.2 Analisis Rute Rencana Truk Pengangkutan Sampah

Hasil analisis rute rencana truk pengangkutan sampah untuk 1 ritasi dengan menggunakan Algoritma *Nearest Neighbour* terdiri dari Rute Rencana 1 dan Rute Rencana 2. Jumlah timbulan sampah yang diangkut pada masing-masing rute rencana ditentukan antara 89%-100% dari kapasitas truk.

Selanjutnya untuk penentuan urutan didalam rute, untuk Rute Rencana 1, urutan rute dimulai dari Pool menuju SPBU Gunung Pangilun yang merupakan lokasi SPBU eksisting dan kemudian menuju daerah pelayanan masing-masing.

Sedangkan pada Rute Rencana 2, lokasi daerah pelayanan sama dengan Rute Rencana 1, namun lokasi SPBU dirubah ke SPBU By Pass (± 200 m dari Pool) sehingga urutan rute dimulai dari Pool menuju SPBU By Pass dan kemudian daerah

pelayanan masing-masing. Setelah daerah pelayanan selesai dilayani, semua truk menuju TPA untuk melakukan *unloading* sampah dan kembali ke Pool. Hasil penentuan rute rencana terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Penentuan Rute Rencana Truk Pengangkutan Sampah

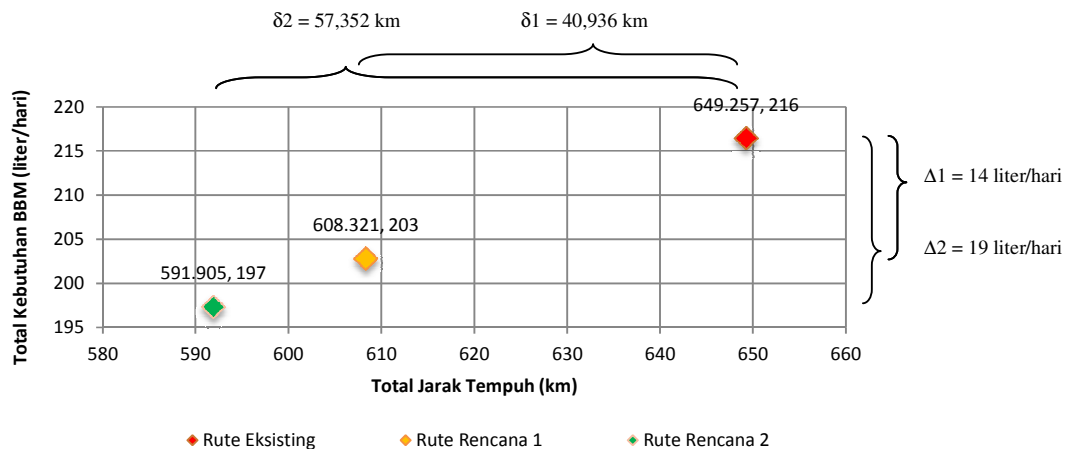
No Truk	Kapasitas Truk (m ³)	Rute Rencana Truk Pengangkutan Sampah	Total Jarak Rute Rencana 1 (km)	Total Jarak Rute Rencana 2 (km)	Total Timbulan Sampah (m ³)
1	23,5	0→XA/XB→78→65→57→58→59→60→61→40→Y→0	43,816	43,024	23,588
2	17	0→XA/XB→55→41→33→11→31→34→30→12→16→17→19→10→Y→0	47,936	47,144	17,075
3	17	0→XA/XB→62→63→Y→0	39,545	35,596	16,647
4	17	0→XA/XB→54→49→46→45→43→42→51→52→53→Y→0	47,374	45,629	17,074
5	13	0→XA/XB→39→3→1→Y→0	48,711	46,679	12,982
6	13	0→XA/XB→32→2→4→5→6→7→8→9→Y→0	46,669	44,924	13,064
7	13	0→XA/XB→38→36→35→37→44→71→Y→0	45,251	43,219	13,033
8	13	0→XA/XB→67→69→48→50→70→Y→0	42,682	41,890	13,050
9	13	0→XB→91→XA→81→79→68→66→64→56→Y→0	41,617	41,617	12,698
10	13	0→XA/XB→80→77→76→72→47→73→74→Y→0	43,367	42,575	12,958
11	13	0→XA/XB→89→82→83→88→Y→0	40,021	40,021	13,053
12	13	0→XA/XB→85→75→84→Y→0	40,300	40,300	13,034
13	12,5	0→XA/XB→13→14→15→18→24→25→22→28→27→26→23→29→21→20→Y→0	50,617	48,872	12,556
14	12,5	0→XA/XB→86→87→90→Y→0	30,415	30,415	11,574
Total			608,321	591,905	202,384

Keterangan: 0 = Pool; XA = SPBU Gunung Pangilun; XB = SPBU By Pass; Y = TPA

3.3 Perbandingan Hasil Rute Truk Pengangkutan Sampah

Berdasarkan hasil analisis terhadap rute truk pengangkutan sampah, selanjutnya ditentukan perbandingan antara Rute Eksisting terhadap Rute

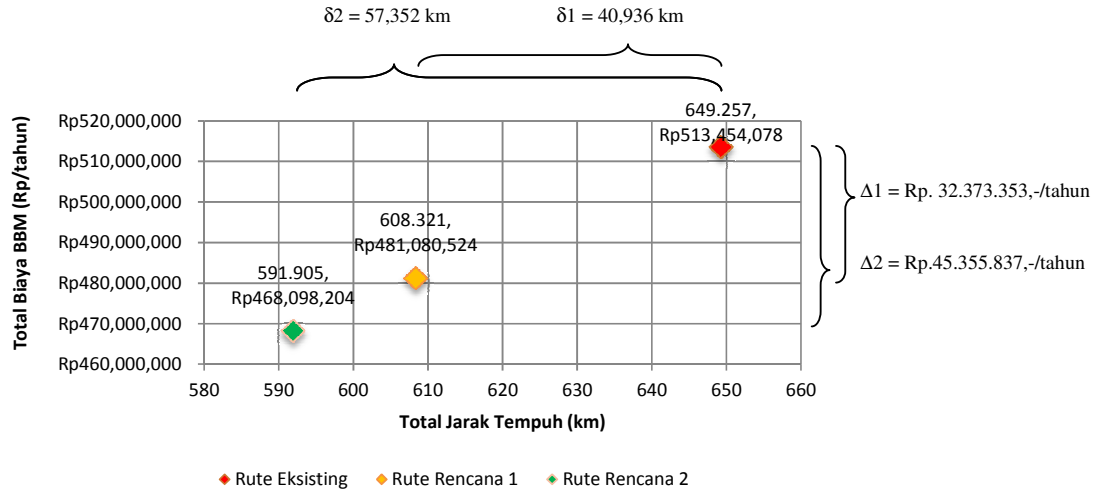
Rencana 1 dan Rute Rencana 2. Hasil perbandingan total jarak tempuh masing-masing rute truk pengangkutan sampah terhadap total kebutuhan Bahan Bakar Minyak (BBM) per-hari dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Total Jarak Tempuh Terhadap Total Kebutuhan BBM per-hari

Dari grafik didapatkan selisih total jarak tempuh dan total kebutuhan BBM per-hari antara Rute Eksisting dengan Rute Rencana 1 adalah sebesar 40,936 km dan 14 liter/hari. Sedangkan dengan Rute Rencana 2 adalah sebesar 57,352 km dan 19 liter/hari.

Selanjutnya hasil perbandingan total jarak tempuh masing-masing rute truk pengangkutan sampah terhadap total biaya BBM per-tahun dapat dilihat pada Gambar 5.



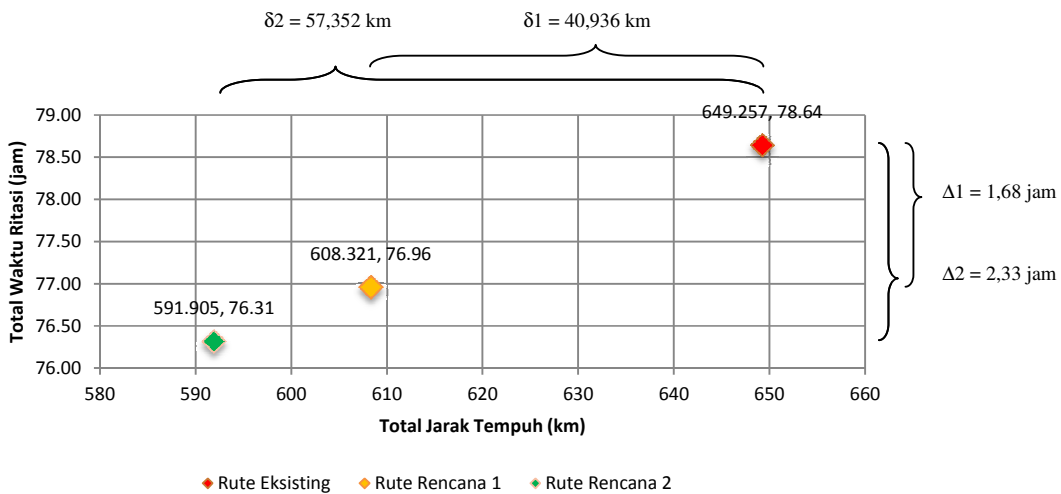
Gambar 5. Grafik Perbandingan Total Jarak Tempuh Terhadap Total Biaya BBM per-tahun

Dari grafik didapatkan selisih total biaya BBM antara Rute Eksisting dengan Rute Rencana 1 adalah sebesar Rp. 32.373.353,-/tahun. Sedangkan terhadap Rute Rencana 2 adalah sebesar Rp. 45.355.837,-/tahun.

sampah di daerah pelayanan dan waktu *unloading* sampah di TPA. Kecepatan rata-rata truk (*travel speed*) adalah 0,43 km/menit, waktu *loading* sampah rata-rata adalah 15 menit/m³, waktu *unloading* sampah rata-rata (Truk bak kayu) adalah 5 menit/m³, dan waktu *unloading* sampah rata-rata (*Dump truck*) adalah 0,06 menit/m³. Hasil perbandingan waktu ritasi masing-masing rute truk pengangkutan sampah dapat dilihat pada Gambar 6.

3.4 Penentuan Waktu Ritasi Rute Truk Pengangkutan Sampah

Waktu ritasi pengangkutan sampah terdiri dari waktu perjalanan (*travel time*), waktu *loading*



Gambar 6. Grafik Perbandingan Total Waktu Ritasi Rute Truk Pengangkutan Sampah

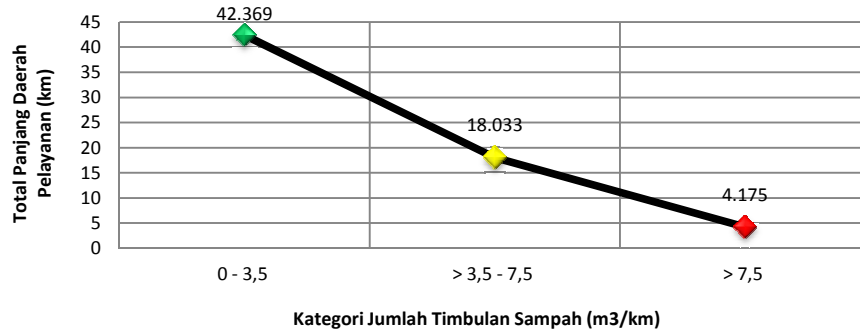
Dari grafik didapatkan selisih total waktu ritasi antara Rute Eksisting terhadap Rute Rencana 1 adalah sebesar 1,68 jam dan terhadap rute rencana truk Skenario 2 adalah sebesar 2,33 jam.

3.5 Pengkategorian Daerah Pelayanan Pengangkutan Sampah di Kota Padang

Hasil pengkategorian berdasarkan jumlah timbulan sampah per-panjang daerah pelayanan, dari 91 daerah pelayanan, terdapat 54 daerah pelayanan dengan kategori jumlah timbulan sampah

0-3,5 m³/km, 26 daerah pelayanan dengan kategori jumlah timbulan sampah >3,5-7,5 m³/km dan 11 daerah pelayanan dengan kategori jumlah timbulan sampah >7,5 m³/km.

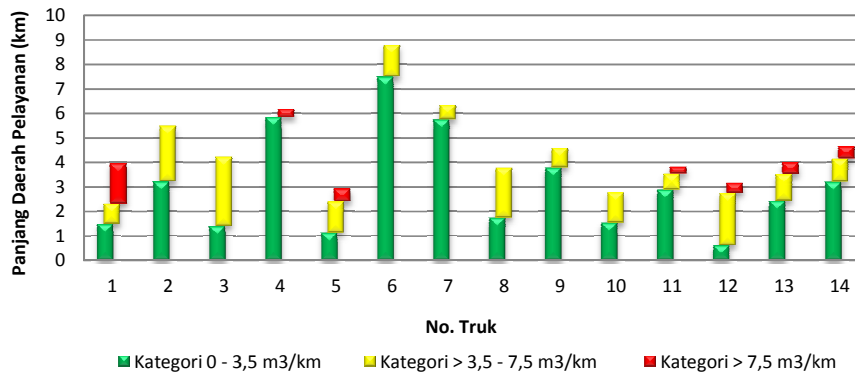
Total panjang daerah pelayanan pengangkutan sampah berdasarkan masing-masing kategori dapat dilihat pada Gambar 7.



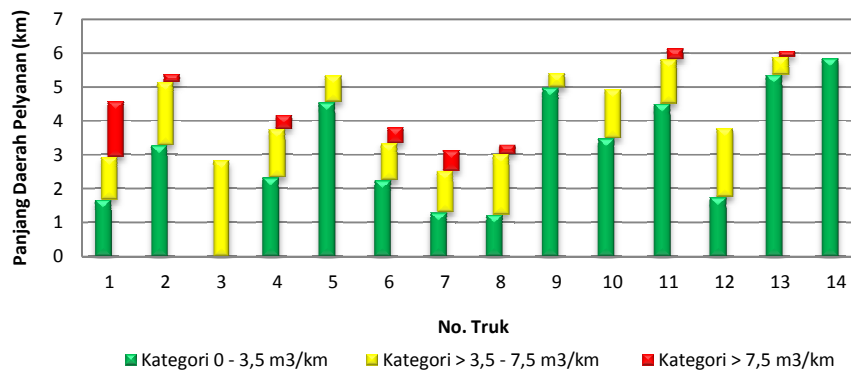
Gambar 7. Grafik Total Panjang Daerah Pelayanan Berdasarkan Kategori Jumlah Timbulan Sampah

Dari grafik didapatkan total panjang daerah pelayanan dengan kategori jumlah timbulan sampah 0-3,5 m³/km adalah 42,369 km (66%), kategori jumlah timbulan sampah >3,5-7,5 m³/km adalah 18,033 km (28%) dan kategori jumlah timbulan sampah >7,5 m³/km adalah 4,175 km (6%).

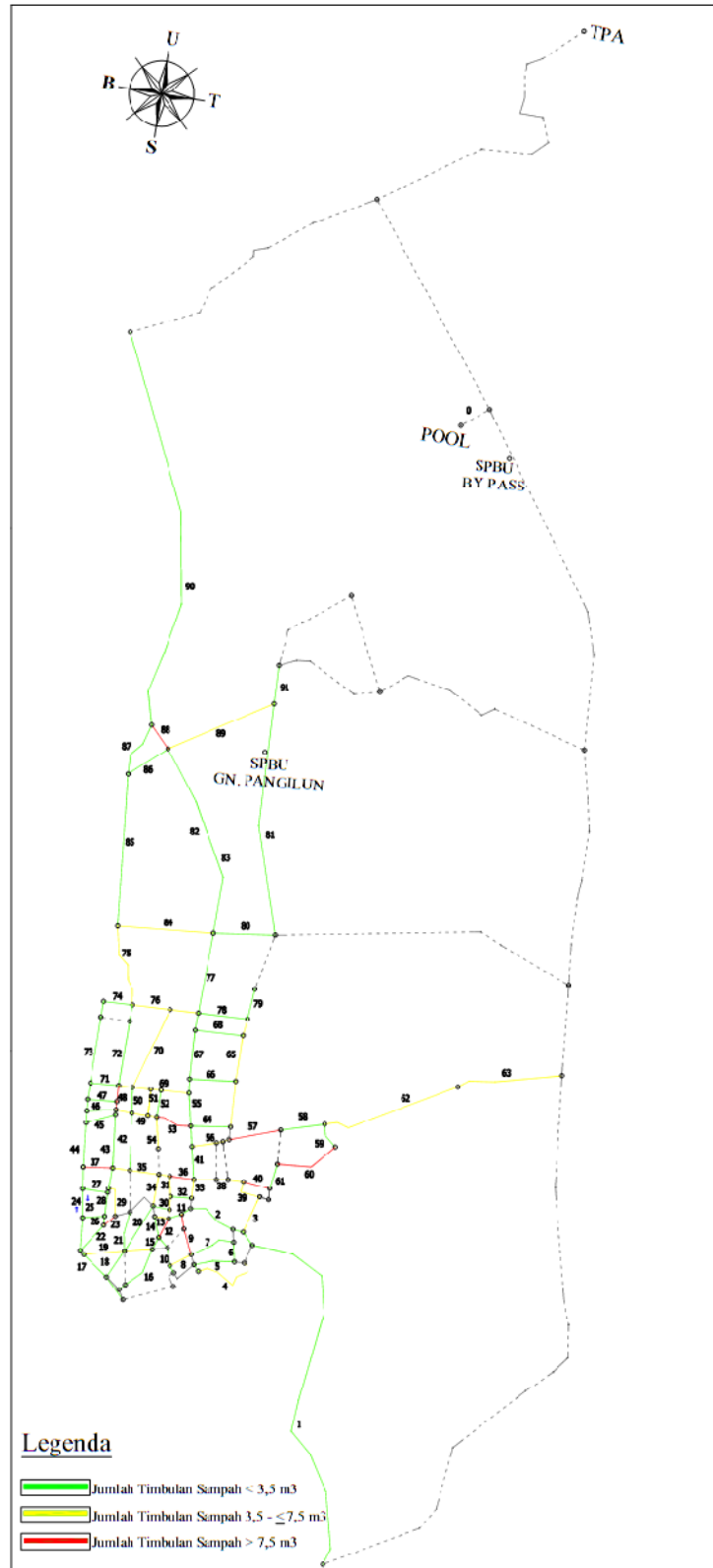
Total panjang daerah layanan berdasarkan kategori yang dilayani oleh masing-masing rute truk pengangkutan sampah, untuk rute eksisting dapat dilihat pada Gambar 8 dan untuk rute rencana dapat dilihat pada Gambar 9. Peta daerah pelayanan berdasarkan kategori dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 8. Grafik Total Panjang Daerah Pelayanan Berdasarkan Kategori pada Rute Eksisting



Gambar 9. Grafik Total Panjang Daerah Pelayanan Berdasarkan Kategori pada Rute Rencana



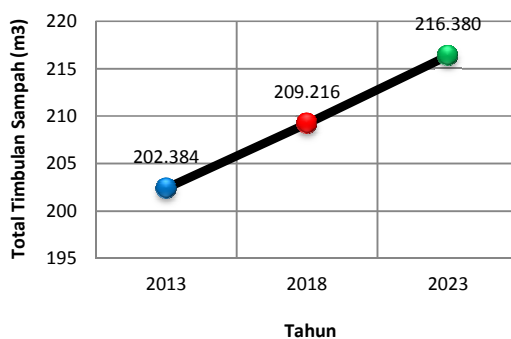
Gambar 10. Peta Daerah Pelayanan Berdasarkan Kategori Jumlah Timbulan Sampah

Dari Gambar 8 dan 9 terlihat bahwa rute dengan total panjang daerah pelayanan terpanjang lebih dipengaruhi oleh daerah pelayanan dengan kategori jumlah timbulan sampah 0-3,5 m³/km. Hal ini disebabkan karena daerah pelayanan dengan kategori ini cenderung memiliki jumlah timbulan sampah yang lebih sedikit namun daerah pelayanannya lebih panjang. Pada Gambar 10 juga dapat dilihat bahwa daerah pelayanan truk pengangkutan sampah Sistem *Stationary Container* di Kota Padang lebih banyak melayani daerah dengan kategori jumlah timbulan sampah 0-3,5 m³/km.

3.6 Prediksi Jumlah Timbulan Sampah di Kota Padang

Peningkatan jumlah timbulan sampah dapat dipicu oleh pertumbuhan jumlah penduduk pada suatu daerah karena sampah merupakan sisa dari kegiatan. Untuk memprediksi jumlah timbulan sampah pada suatu daerah dapat dilakukan dengan menggunakan nilai pertumbuhan rata-rata penduduk pada daerah tersebut.

Lokasi 91 daerah pelayanan truk pengangkut sampah Sistem *Stationary Container* pada waktu operasional pagi terletak di 6 kecamatan di Kota Padang, yaitu: Kecamatan Padang Selatan, Kecamatan Padang Timur, Kecamatan Padang Barat, Kecamatan Padang Utara, Kecamatan Nanggalo dan Kecamatan Koto Tangah. Hasil perhitungan berdasarkan nilai pertumbuhan rata-rata penduduk pada kecamatan tersebut, maka didapatkan perbandingan total timbulan sampah pada tahun 2013 dengan tahun 2018 dan tahun 2023 yang dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Perbandingan Total Timbulan Sampah Tahun 2013, 2018 dan 2023

Dari hasil prediksi jumlah timbulan sampah didapatkan bahwa untuk kurun waktu 5 sampai 10 tahun kedepan (tahun 2018 dan 2023) terdapat beberapa rute rencana truk pengangkutan sampah yang telah memiliki sisa timbulan sampah pada

daerah pelayanannya namun ada juga yang tidak. Untuk daerah pelayanan pada rute rencana truk pengangkutan sampah yang memiliki sisa timbulan sampah, maka sisa timbulan sampah tersebut dapat diangkat oleh kendaraan pengangkut lainnya yang lebih kecil atau dilakukan penanganan lain dalam pengelolaan sampah. Namun secara umum daerah pelayanan pada rute rencana truk pengangkutan sampah masih mampu dilayani dalam kurun waktu 5 sampai 10 tahun.

3.7 Umur Kendaraan Pengangkut Sampah

Umur ekonomis/umur layak operasional untuk truk pengangkut sampah adalah 10 tahun. Dari 14 unit truk pengangkut sampah Sistem *Stationary Container* milik DKP Kota Padang yang beroperasi pada waktu operasional pagi, terdapat 6 unit truk yang berumur lebih dari 10 tahun (1984, 1989, 1993 dan 1994) dan 2 unit truk yang berumur 10 tahun (2003). Sementara truk yang berusia dibawah 10 tahun terdapat 6 unit (2007 dan 2012). Dari segi kapasitas angkut, truk dengan kapasitas besar (23,5 dan 17 m³) umumnya telah berusia diatas 10 tahun. Untuk truk keluaran terbaru memiliki kapasitas angkut 13 m³. Maka penggantian truk baru dapat dilakukan dengan mengganti 8 unit truk yang telah berumur 10 tahun dengan 10 unit truk baru dengan kapasitas 13 m³ atau dengan kapasitas truk yang lebih besar agar jumlah kendaraan dapat dikurangi.

4. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

1. Hasil efisiensi dengan menggunakan Algoritma *Nearest Neighbour* didapatkan bahwa Rute Rencana 2 memberikan solusi yang paling efisien dari segi jarak, biaya dan waktu dimana pengurangan yang terjadi terhadap Rute Eksisting untuk jarak adalah 57,352 km/hari, biaya adalah Rp. 45.355.837,-/tahun dan waktu adalah 2,33 jam/hari.
2. Dari 91 daerah pelayanan didapatkan total panjang daerah pelayanan dengan kategori jumlah timbulan sampah 0-3,5 m³/km adalah 42,369 km (66%), kategori jumlah timbulan sampah >3,5-7,5 m³/km adalah 18,033 km (28%) dan kategori jumlah timbulan sampah >7,5 m³/km adalah 4,175 km (6%). Untuk prediksi jumlah timbulan sampah dari nilai pertumbuhan rata-rata penduduk per-kecamatan, rute rencana masih tetap dapat dilayani sampai 10 tahun yang akan datang.
3. Untuk truk pengangkut sampah, terdapat 8 unit truk yang telah berumur 10 tahun atau lebih. Penggantian terhadap truk dapat dilakukan

- dengan truk yang memiliki kapasitas lebih besar agar lebih efisien.
4. Direkomendasikan kepada DKP Kota Padang untuk merubah rute truk dan lokasi pengisian BBM ke SPBU di By Pass (± 200 m dari Pool) sesuai dengan hasil penentuan Rute Rencana 2.
 5. Untuk pengelolaan daerah pelayanan dengan kategori jumlah timbulan sampah 0-3,5 m³/km, diupayakan agar pengelolaannya dibantu oleh pihak kecamatan ataupun kelurahan. Pengelolaan oleh DKP Kota Padang tetap dapat dilakukan namun dengan menambah jumlah Transfer Depo sehingga pihak kecamatan ataupun kelurahan dapat menempatkan sampah yang telah dikumpulkan ke Transfer Depo kemudian pengangkutan sampah dari Transfer Depo ke TPA dikelola oleh DKP Kota Padang. Cara ini dapat mengefisiensikan jarak angkut yang hanya dari Transfer Depo ke TPA tanpa harus melayani daerah pelayanan.
 6. Penelitian lanjutan untuk mendapatkan perbandingan hasil, dapat dilakukan dengan berbagai metoda efisiensi lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arinalhaq, F., Imran, A., dan Fitria, L., (2013). *Penentuan Rute Kendaraan Pengangkutan Sampah dengan Menggunakan Metode Nearest Neighbour (Studi Kasus PD. Kebersihan Kota Bandung)*, Reka Integra. Jurnal Online Teknologi Nasional, Vol. 1, No. 1, Juni 2013. pp. 32-42. ISSN: 2338-5081, Bandung.
- [2] Badan Standardisasi Nasional, (2002). *Tata Cara Teknik Operasi Pengelolaan Sampah Perkotaan*. SNI 19-2454-2002, Jakarta.
- [3] Badan Pusat Statistik Kota Padang, (2013). *Padang Dalam Angka 2013*, Padang.
- [4] Damanhuri, E. dan Padi, T., (2010). *Pengelolaan Sampah*, Diktat Kuliah TL-3104, Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [5] Iskandar, (2010). *Model Optimasi Vehicle Routing Problem dan Implementasinya*, Tesis, Program Studi Matematika Terapan Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [6] Khisty, C. J. dan Lall, B. K., (2003). *Dasar-dasar Rekayasa Transportasi Jilid 1*, terjemahan oleh Fidel Miro (2005), Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [7] Pop, P. C., Sitar, C. P., Zelina, I., Lupse, V., and Chira, C., (2011). *Heuristic Algorithms for Solving the Generalized Vehicle Routing Problem*, Int. J. of Computers, Communication & Control, Vol. VI, No. 1, March 2011, pp. 158-165. ISSN: 1841-9836, E-ISSN: 1841-9844, Romania.
- [8] Rahmadhani, F., (2007). *Analisis Sistem Transportasi Sampah Kota Padang*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas, Padang.
- [9] Tamin, O.Z., (2008). *Perencanaan, Pemodelan, & Rekayasa Transportasi: Teori, Contoh Soal, dan Aplikasi*, Penerbit ITB, Bandung.
- [10] Tchobanoglous, G., Theisen, H., and Vigil, S. A., (1993). *Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues*, McGraw-Hill, Inc, Singapore.
- [11] Toth, P. and Vigo, D., (ed), (2002). *The Vehicle Routing Problem*, SIAM, Philadelphia.