

PENENTUAN RUTE TRUK PENGUMPULAN DAN PENGANGKUTAN SAMPAH DI BANDUNG

Lisye Fitria¹, Susy Susanty², Suprayogi³

^{1,2}Fakultas Teknik Industri, Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Nasional Bandung
Jl. PHH. Mustapa No 23, Bandung 40124

Email: lisye@itenas.ac.id, susy@itenas.ac.id

³Fakultas Teknologi Industri, Program Studi Teknik Industri, Institut Teknologi Bandung
Email: yogi@mail.ti.itb.ac.id

ABSTRAK

Proses pengumpulan sampah merupakan kontributor terbesar dalam biaya pengelolaan sampah. Rute pengumpulan sampah adalah faktor penentu biaya pengelolaan sampah. Rute pengumpulan sampah dapat dibuat dengan memperhatikan keterbatasan yang ada seperti: jumlah kendaraan, waktu angkut dan sistem pengangkutan yang dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan rute pengumpulan dan pengangkutan sampah. Kondisi pengumpulan sampah dapat dianalogikan dengan model *Vehicle Routing Problem* dengan menambahkan *intermediate facility* pada akhir rute, yakni tempat pembuangan sampah akhir. Model ini disebut *Vehicle Routing Problem with Multiple Trips and Intermediate Facility* (VRPMTIF). Penentuan rute pengumpulan sampah VRPMTIF diselesaikan dengan menggunakan algoritma *sequential insertion*. Algoritma tersebut diterapkan pada penentuan rute pengumpulan sampah di Kota Bandung dengan hasil sebagai berikut: 28 tur untuk Bandung Barat, 41 tur untuk Bandung Tengah, dan 68 tur untuk Bandung Timur dengan waktu penyelesaian yang berbeda untuk setiap skenario.

Kata kunci: *Vehicle Routing Problem, multiple trips, intermediate facility, algoritma sequential insertion*

ABSTRACT

The garbage collection constitutes the main contributor in terms of the garbage cost management. Garbage collection scheduling model is a variable that determine cost center. Regarding to the existing condition, scheduling model could be designed concerning to the constraints, such as: amount of vehicles, transportation time, and transport system. This research develops a Vehicle Routing Problem (VRP) model for determining the optimal route in garbage gathering collection. The VRP model utilizes intermediate facility. This model is called the Vehicle Routing Problem with Multiple Trips and Intermediate Facility (VRPMTIF). The VRPMTIF is solved by using a Sequential Insertion Algorithm. The algorithm applied to the determine garbage collections routes in Bandung with result as follows: 28 vehicles for West Bandung, 41 vehicles for Central Bandung, and 68 vehicles for East Bandung where there are different accomplishment time for each scenario.

Keywords: *Vehicle Routing Problem, Multiple Trips, Intermediate Facility, Sequential Insertion Algorithm*

1. PENDAHULUAN

Proses pengambilan sampah di Bandung saat ini dilakukan dengan menggunakan cara pengambilan bak rute dan *container*. Cara pertama dikenal dengan nama pengumpulan sampah bak, dimana truk mendatangi beberapa tempat pembuangan sampah (TPS) untuk dilakukan pemuatan sampah kedalam truk. Setelah penuh truk menuju tempat pembuangan akhir (TPA)

untuk melakukan proses *unloading*. Selanjutnya jika waktu masih mencukupi truk kembali lagi ke TPS untuk melakukan proses *loading*. Cara kedua atau pengumpulan sampah dengan sistem kontainer besar dikenal dengan *direct shipping*. Truk dengan kontainer kosong menuju lokasi untuk menurunkan kontainer yang kosong dan mengambil kontainer yang sudah penuh untuk dibawa ke TPA. Jika waktu masih cukup truk kembali ke TPS lainnya untuk melakukan hal yang sama sampai waktunya selesai.

Permasalahan yang terjadi pada proses pengumpulan sampah adalah adanya TPA yakni *intermediate facility* yang harus dilewati oleh setiap rute sebelum kembali ke depo. *Intermediate facility* mempengaruhi proses pengumpulan sampah sehingga perlu model khusus. Sistem pengangkutan sampah ini dapat dimodelkan sebagai suatu varian dari masalah penentuan rute kendaraan (*vehicle routing problem*) dengan adanya rute majemuk (*multiple route*) dan fasilitas antara (*intermediate facility*).

Permasalahan distribusi melibatkan beberapa pertimbangan utama, sebagaimana disebutkan oleh Bodin *et al.* (1983). Pertimbangan tersebut meliputi rute kendaraan, armada kendaraan, sampai pada penjadwalan kendaraan. Permasalahan ini kemudian menjadi permasalahan *Vehicle Routing Problem* (VRP). VRP mempunyai beberapa jenis tujuan yang terkait dengan minimasi ongkos distribusi. Fungsi tujuan tersebut antara lain minimasi jumlah kendaraan, waktu tempuh kendaraan, jarak tempuh kendaraan, dan tujuan lainnya sesuai dengan karakteristik permasalahan.

Braysy (2001) menyatakan bahwa permasalahan VRP dapat didefinisikan sebagai permasalahan mencari rute dengan ongkos minimal dari suatu depo ke pelanggan yang letaknya tersebar dengan jumlah permintaan yang berbeda-beda. Rute dibuat sedemikian rupa sehingga setiap pelanggan dikunjungi hanya satu kali oleh satu kendaraan. Seluruh rute berawal dan berakhir di depo, dan jumlah permintaan dalam satu rute tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan. Bentuk dasar dari VRP mengasumsikan bahwa kendaraan adalah homogen (memiliki kapasitas yang sama), hanya dilayani oleh satu rute, dan permintaan total dari seluruh pelanggan dalam satu rute tidak melebihi kapasitas kendaraan yang melayani rute tersebut.

Salah satu varian VRP adalah *Vehicle Routing Problem with Multiple Trips and Time Windows* (VRPMTTW). Permasalahan VRPMTTW ini telah dibahas oleh banyak peneliti seperti Brandao dan Mercer (1997), Tung dan Pinnoi (2000), Suprayogi (2003), Suprayogi *et al.* (2007), dan Hajri-Gabouj dan Darmoul (2003). VRPMTTW merupakan kombinasi dari dua varian VRP, yaitu *Vehicle Routing Problem with Multiple Trips* (VRPMT) dan *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW). *Time windows* membatasi bahwa setiap pelanggan atau depo memiliki keterbatasan waktu untuk menerima layanan kendaraan. *Multiple trips* berarti bahwa setiap kendaraan dapat keluar dan masuk depo lebih dari satu kali selama periode perencanaan.

Angelelli (2002) menyatakan *intermediate facility* merupakan fasilitas tambahan yang digunakan dalam pembentukan rute. *Intermediate facility* dapat pula diartikan sebagai tempat atau fasilitas untuk mengangkut atau membongkar muatan. Dalam permasalahan pengangkutan *intermediate facility* menunjukkan tempat dimana kendaraan dapat membongkar muatannya (*unloading*). Untuk kasus pengangkutan sampah, kendaraan yang masih belum bermuatan meninggalkan depo dan mulai mengangkut barang dari sejumlah TPS. Ketika muatan dalam kendaraan telah mencapai batas dari kapasitas kendaraan, kendaraan akan menuju ke *intermediate facility* untuk melakukan operasi pembongkaran. Setelah muatan dibongkar kendaraan dapat memulai pengangkutan kembali dan kembali lagi ke depo ketika jam kerja telah selesai. Masalah pengangkutan ini berbeda dengan pengiriman sehingga memerlukan model khusus sebagai teknik pemecahan.

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan model *Vehicle Routing Problem with Multiple Trips and Intermediate Facility* (VRPMTIF) untuk selanjutnya diterapkan pada pembuatan rute pengumpulan sampah. Pembuatan rute pengumpulan sampah dibuat dengan pendekatan algoritma *sequential insertion*.

2. METODOLOGI

Metoda pengumpulan sampah di kota Bandung dilakukan dengan dua cara yaitu bak (rute) dan *container (direct shipping)*. Hubungan antara sistem pengangkutan sampah dan model penentuan rute yang dibahas dalam studi ini diperlihatkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hubungan antara sistem dan model

Sistem pengangkutan sampah	Model
Lokasi pol truk sampah	Depo
Tempat pembuangan sampah sementara (TPS)	Pelanggan
Tempat pembuangan sampah akhir (TPA)	Fasilitas antara
Truk sampah	Kendaraan
Jam kerja	Horison perencanaan

2.1 Karakteristik Model Untuk Masalah Penentuan Rute Kendaraan

Depo merupakan lokasi titik keberangkatan dan kembalinya kendaraan setelah mengakhiri seluruh pelayanan sepanjang horison perencanaan. Dalam sistem yang dibahas, jumlah depo dianggap tunggal. Sistem yang dibahas terdiri atas sejumlah TPS (*customer*) dengan tiap TPS merupakan lokasi pemuatan. Waktu pemuatan pada masing-masing TPS tergantung pada jumlah muatan. Waktu pemuatan per unit dinyatakan dengan s . Jumlah muatan pada tiap TPS i , dinotasikan dengan q_i , dan diasumsikan tidak melebihi kapasitas kendaraan, Q . Fasilitas antara merupakan titik lokasi pembongkaran muatan. Lama waktu pembongkaran muatan, dinotasikan dengan h , tergantung pada jumlah muatan yang dibongkar. Dalam kasus ini, jumlah fasilitas antara dianggap tunggal. Jumlah kendaraan diasumsikan tak terbatas dan kapasitas kendaraan Q dianggap homogen dan kecepatan kendaraan v dianggap sama dan tetap.

Waktu antar lokasi menunjukkan waktu tempuh kendaraan antar dua titik lokasi, yang mencakup titik lokasi depo, TPS, dan fasilitas antara. Waktu antar lokasi ini bergantung pada jarak antar lokasi dan kecepatan kendaraan, yang dinyatakan dengan,

$$\tau[i, j] = \frac{d[i, j]}{v}; \quad i, j = 0, \dots, n + 1 \quad (1)$$

dengan

$\tau[i, j]$ waktu perjalanan antara lokasi i ke lokasi j ; $i, j = 0, \dots, n + 1$

$d[i, j]$ jarak antar lokasi i ke lokasi j ; $i, j = 0, \dots, n + 1$

v kecepatan kendaraan

Rute didefinisikan sebagai suatu urutan kunjungan kendaraan ke sejumlah TPS untuk memuat muatan yang dimulai dari depo dan berakhir di suatu fasilitas antara. Sedangkan tur didefinisikan sebagai urutan kunjungan dari suatu kendaraan yang berangkat dari depo ke sejumlah TPS dan kembali lagi ke depo. Suatu tur dapat terdiri dari satu atau lebih rute yang saling berurutan. Waktu penyelesaian tur tidak boleh melebihi panjang horison perencanaan yang telah ditetapkan. Horison perencanaan, dinotasikan dengan PH , mendefinisikan lama jam operasi kendaraan yang terdiri atas batas bawah dan batas atas.

2.2 Model Penentuan Rute Kendaraan

Berikut ini adalah notasi yang digunakan dalam model.

i	indeks lokasi ($i = 0$ adalah depo, $i = 1, \dots, n$ adalah TPS, $i = n + 1$ adalah fasilitas antara)
t	indeks tur
r	indeks rute
k	indeks posisi
NT	jumlah tur
$NR[t]$	jumlah rute dalam tur t
$NL[t, r]$	jumlah posisi dalam tur t rute r
$L[t, r, k]$	lokasi dalam tur t rute r posisi k
$\alpha[t, r, k]$	saat kedatangan pada lokasi yang terdapat dalam tur t rute r posisi k
$\delta[t, r, k]$	saat keberangkatan pada lokasi dalam tur t rute r posisi k
$w[t, r, k]$	jumlah muatan pada tur t rute r posisi k
$Q[L[t, r, k]]$	jumlah muatan yang diambil pada posisi k dalam tur t rute r
$\tau[L[t, r, k], L[t, r, m]]$	waktu perjalanan antara lokasi yang terdapat dalam tur t rute r posisi k dengan lokasi yang terdapat dalam tur t rute r posisi m
$CT[t, r]$	waktu penyelesaian tur t rute r
s	waktu pemuatan per unit muatan
h	waktu pembongkaran per unit muatan
q	jumlah muatan untuk setiap TPS
PH	panjang horison perencanaan
Q	kapasitas kendaraan
NV	jumlah kendaraan
TCT	total waktu penyelesaian
ω_{NV}	bobot kepentingan untuk meminimumkan jumlah kendaraan
ω_{TCT}	bobot kepentingan untuk meminimumkan total waktu penyelesaian

Model matematis yang dibuat untuk membangun algoritma didalam memecahkan masalah penentuan rute pengangkutan sampah adalah sebagai berikut;

$$\text{Meminimumkan } Z = \{\omega_{NV}NV, \omega_{TCT}TCT\} \quad (2)$$

dengan memperhatikan beberapa pembatas sebagai berikut:

$$L[t, r, 1] = 0; \quad t = 1, \dots, NT; r = 1; i = 0 \quad (3)$$

$$L[t, r, NL[t, r] - 1] = i; \quad t = 1, \dots, NT; r = 1, \dots, NR[t]; i = n + 1 \quad (4)$$

$$L[t, r - 1, NL[t, r - 1]] = i; \quad t = 1, \dots, NT; r = 2, \dots, NR[t]; i = n + 1 \quad (5)$$

$$L[t, r, 1] = i; \quad t = 1, \dots, NT; r = 2, \dots, NR[t]; i = n + 1 \quad (6)$$

$$L[t, r, NL[t, r]] = i; \quad t = 1, \dots, NT; r = 1, \dots, NR[t]; i = 0 \quad (7)$$

$$L[t, r, k] = i \text{ dengan } L[t, r, k] \neq L[t, r, m] \\ t = 1, \dots, NT; r = 1, \dots, NR[t]; k, m = 2, \dots, NL[t, r] - 2; i = 1, \dots, n \quad (8)$$

$$\delta[t, r, k] = 0; \quad t = 1, \dots, NT; r = 1; k = 1 \quad (9)$$

$$\delta[t, r, k] = \alpha[t, r, k] + sq[L[t, r, k]]; \quad t = 1, \dots, NT; r = 1, \dots, NR[t]; k = 2, \dots, NL[t, r] - 2 \quad (10)$$

$$\delta[t, r, k] = \alpha[t, r, k] + h \cdot w[t, r]; \quad t = 1, \dots, NT; r = 1, \dots, NR[t]; k = NL[t, r] - 1 \quad (11)$$

$$\alpha[t, r, k + 1] = \delta[t, r, k] + \tau[L[t, r, k], L[t, r, k + 1]]; \\ t = 1, \dots, NT; r = 1, \dots, NR[t]; k = 1, \dots, NL[t, r] - 1 \quad (12)$$

$$w[t, r] \leq Q \quad (13)$$

$$w[t, r] = \sum_{k=2}^{NL[t,r]-2} q[L[t, r, k]], \quad t = 1, \dots, NT; r = 1, \dots, NR[t] \quad (14)$$

$$CT[t] \leq PH \quad (15)$$

$$CT[t] = \sum_{r=1}^{NR[t]} \sum_{k=1}^{NL[t,r]-1} \tau[L[t, r, k], L[t, r, k+1]] + s \sum_{r=1}^{NR[t]} \sum_{k=2}^{NL[t,r]-2} q[L[t, r, k]] + h \sum_{r=1}^{NR[t]} w[t, r] \quad (16)$$

$$NV = NT \quad (17)$$

$$TCT = \sum_{t=1}^{NT} CT[t] \quad (18)$$

Persamaan (2) merupakan fungsi tujuan dari model penentuan rute kendaraan, yaitu meminimumkan jumlah kendaraan yang digunakan dan total waktu penyelesaian. Pada kasus ini, prioritas lebih tinggi diberikan pada pemenuhan fungsi tujuan pertama, yaitu $\omega_{NV} \gg \omega_{TCT}$ (Catatan: notasi “ \gg ” menunjukkan arti jauh lebih besar).

Persamaan (3) menjamin bahwa kendaraan berangkat dari depo untuk kali pertama dalam melayani pelanggan. Persamaan (4) menjamin bahwa kendaraan mengunjungi fasilitas antara untuk melakukan pembongkaran. Jika kendaraan melayani lebih dari satu rute, persamaan (5) menjamin bahwa kendaraan berangkat dari fasilitas antara untuk menjalani rute berikutnya. Persamaan (6) menjamin bahwa kendaraan mengakhiri suatu rute pada fasilitas antara. Persamaan (7) menjamin bahwa suatu tur akan berakhir pada lokasi depo. Persamaan (8) menjamin bahwa suatu pelanggan hanya dikunjungi sekali. Persamaan (9) menunjukkan asumsi bahwa keberangkatan dari suatu kendaraan untuk yang pertama kali dari depo adalah 0. Persamaan (10) menunjukkan bahwa saat keberangkatan kendaraan pada suatu lokasi merupakan saat kedatangannya ditambah dengan waktu pemuatan di lokasi tersebut dengan waktu pemuatan tergantung pada jumlah muatan pada masing-masing lokasi tersebut. Persamaan (11) berlaku hanya untuk lokasi fasilitas antara yang menunjukkan bahwa saat keberangkatan di lokasi ini adalah saat kedatangan ditambah waktu pembongkaran dengan waktu pembongkarannya tergantung pada muatan yang dibongkar. Persamaan (12) menunjukkan bahwa saat kedatangan kendaraan pada suatu lokasi adalah saat keberangkatan pada lokasi sebelumnya ditambah dengan waktu perjalanan dari lokasi sebelumnya. Pertidaksamaan (13) merupakan pembatas kapasitas kendaraan, yaitu jumlah muatan pada suatu rute dalam suatu tur tidak melebihi kapasitas kendaraan. Persamaan (14) merupakan persamaan untuk menentukan jumlah muatan. Pertidaksamaan (15) merupakan pembatas panjang horison perencanaan. Waktu penyelesaian suatu tur merupakan jumlah dari waktu perjalanan, waktu pemuatan dan waktu pembongkaran yang ditunjukkan dalam Persamaan (16). Persamaan (17) merupakan persamaan untuk menentukan jumlah kendaraan. Sementara Persamaan (18) merupakan persamaan untuk menentukan total waktu penyelesaian.

Model matematis diatas adalah dasar untuk membangun algoritma pembuatan rute pengangkutan sampah. Penyelesaian dilakukan dengan bantuan program dengan menggunakan algoritma *sequential insertion*. Banyaknya jumlah TPS tidak memungkinkan untuk menggunakan model optimasi. Langkah-langkah yang dilakukan dalam algoritma *sequential insertion* adalah:

Langkah 0:

Tetapkan bahwa semua TPS dalam status belum ditugaskan. Tetapkan jumlah tur $NT = 0$ dan waktu penyelesaian total $TCT = 0$. Himpunan TPS yang belum ditugaskan $N = \{1, 2, \dots, n\}$.

Langkah 1:

Mulai dengan tur pertama $t=1$ dan rute pertama $r=1$. Tetapkan $NT = NT + 1$, $NR[t] = 1$, $CT[t] = 0$.

Langkah 2:

Untuk setiap TPS yang belum ditugaskan, sisipkan pada posisi penyisipan antara depo dan fasilitas antara. Berdasarkan aturan yang telah ditentukan, pilih satu TPS yang memenuhi aturan terbaik. Bentuk urutan kunjungan TPS yang dimulai dari depo, TPS terpilih, fasilitas antara dan diakhiri dengan depo. Misalkan i^* adalah TPS yang terpilih, tetapkan $L[t, r, 1] = 0$, $L[t, r, 2] = i^*$, $L[t, r, 3] = n + 1$, $L[t, r, 4] = 0$, $NL[t, r] = 4$. Perbaharui jumlah muatan pada rute ini, yaitu $w[t, r] = w[t, r] + q[i^*]$ dan waktu penyelesaian tur, $CT[t]$. Perbarui himpunan TPS yang belum ditugaskan $N = N \setminus i^*$.

Langkah 3:

Jika semua TPS telah ditugaskan, maka berhenti. Jika tidak, lanjutkan ke Langkah 4.

Langkah 4:

Untuk tiap TPS yang belum ditugaskan, sisipkan tiap TPS $i \in N$ pada tiap lokasi penyisipan yang mungkin dari rute r saat ini, yaitu untuk semua busur (k, m) pada tur t dan rute r . Untuk $r=1$, busur penyisipan adalah lokasi antara dua titik berurutan yang dimulai dari depo hingga fasilitas antara. Untuk $r > 1$, busur penyisipan adalah busur antara dua titik berurutan yang dimulai dari fasilitas antara ke fasilitas antara berikutnya. Jika terdapat penyisipan yang layak terhadap kapasitas kendaraan dan panjang horison perencanaan, lanjutkan ke Langkah 5. Jika terdapat penyisipan layak terhadap panjang horison perencanaan tetapi tidak layak terhadap kapasitas kendaraan, lanjutkan ke Langkah 6. Jika tidak ada penyisipan yang layak baik terhadap kapasitas kendaraan maupun panjang horison perencanaan, lanjutkan ke Langkah 8.

Langkah 5:

Pilih satu TPS dan lokasi penyisipan pada rute saat ini yang memberikan total waktu penyelesaian terkecil. Misalkan i^* adalah TPS yang terpilih dan busur (k^*, m^*) adalah busur yang terpilih. Tetapkan $L[t, r, k^*] = i^*$. Perbarui urutan kunjungan kembali. Tetapkan $NL[t, r] = NL[t, r] + 1$. Perbarui jumlah muatan pada rute ini, yaitu $w[t, r] = w[t, r] + q[i^*]$ dan waktu penyelesaian tur, $CT[t]$. Perbarui himpunan TPS yang masih belum ditugaskan $N = N \setminus i^*$. Kembali ke Langkah 3.

Langkah 6:

Bentuk suatu rute tambahan baru pada tur saat ini, $r = r + 1$ dan tetapkan sementara $NR[t] = NR[t] + 1$, $w[t, r] = 0$ dan inisialiasi urutan kunjungan pada rute ini.

Langkah 7:

Pada setiap TPS yang belum ditugaskan $i \in N$, sisipkan TPS antara kedua fasilitas antara dan periksa kelayakan waktu penyelesaian turnya. Jika terdapat penyisipan yang layak, lanjutkan ke Langkah 8. Jika tidak ke Langkah 9.

Langkah 8:

Pilih TPS yang memberikan penyisipan dengan total waktu penyelesaian terkecil. Misalkan i^* adalah TPS yang terpilih, tetapkan $L[t, r, 1] = 0$, $L[t, r, 2] = i^*$, $L[t, r, 3] = n + 1$, $L[t, r, 4] = 0$, $NL[t, r] = 4$. Perbarui jumlah muatan pada rute ini, yaitu $w[t, r] = w[t, r] + q[i^*]$ dan waktu penyelesaian tur, $CT[t, r]$. Perbarui himpunan TPS yang masih belum ditugaskan $N = N \setminus i^*$. Kembali ke Langkah 3.

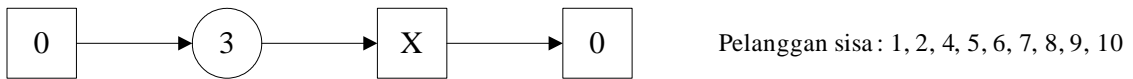
Langkah 9:

Batalkan pembentukan rute tambahan pada tur saat ini, dan kembalikan ke tur semula. Lanjutkan ke Langkah 10.

Langkah 10:

Tambahkan tur baru $t = t + 1$ dan rute pertama $r = 1$. Kembali ke Langkah 2. Pembentukan solusi dengan algoritma *sequential insertion* dapat dilihat pada contoh ilustrasi secara bertahap berikut ini. Pertama kali bentuk tur pertama dan rute pertama. Dalam ilustrasi ini TPS yang menempati posisi pertama pada tur pertama dan rute pertama adalah TPS yang memiliki waktu penyelesaian paling kecil. Misalkan TPS 3 memiliki waktu penyelesaian paling kecil dari 10 TPS yang ada. Dalam ilustrasi ini, 0 melambangkan depo dan X melambangkan TPA.

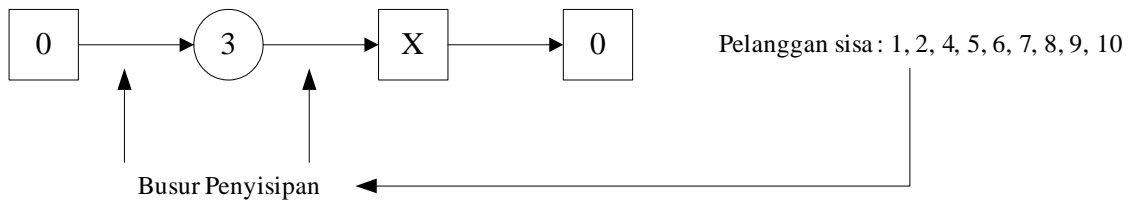
Tur 1 Rute 1



Gambar 1. Tur pertama dan rute pertama

Selanjutnya TPS sisa dicoba untuk disisipkan diantara busur pada rute dan tur saat ini. Kemudian pilih penyisipan yang memiliki waktu penyelesaian paling kecil.

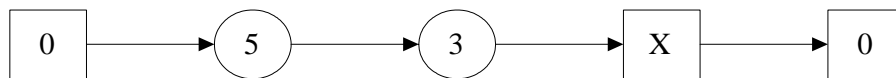
Tur 1 Rute 1



Gambar 2. Busur penyisipan yang ada

Dalam penyisipan terdapat beberapa kemungkinan yang ada. Gambar 3 merupakan contoh penyisipan TPS 5 yang terdiri dari 2 kemungkinan. Kemungkinan pertama adalah menyisipkan TPS 5 sebelum TPS 3, dan kemungkinan kedua adalah menyisipkan TPS 5 setelah TPS 3. Penyisipan dengan kemungkinan 1 ini adalah yang memberikan waktu penyelesaian paling kecil.

Kemungkinan 1

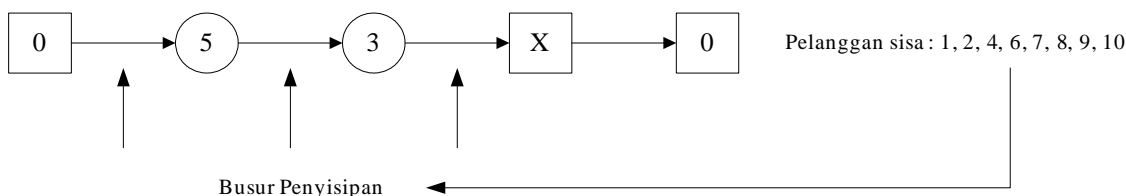


Kemungkinan 2



Gambar 3. Kemungkinan penyisipan yang ada

Jika batasan waktu pelayanan dan kapasitas kendaraan masih mencukupi untuk tur dan rute pertama, coba tambahkan penyisipan baru diantara busur penyisipan yang ada. Dalam penyisipan baru ini terdapat 3 kemungkinan, kemungkinan pertama adalah penyisipan sebelum TPS 5, kemungkinan kedua adalah penyisipan diantara TPS 5 dengan TPS 3, dan kemungkinan ketiga adalah penyisipan setelah TPS 3.



Gambar 4. Busur penyisipan pada tur pertama dan rute pertama

Jika kapasitas kendaraan sudah tidak mencukupi, cobalah untuk membuat rute baru. Seluruh TPS yang belum disisipkan akan dicoba sebagai TPS pertama untuk rute yang baru. Rute baru ini berada setelah *intermediate facility*. Misalkan TPS 10 merupakan TPS pertama untuk rute kedua, kemudian coba sisipkan lagi pelanggan sisa dalam busur penyisipan yang ada.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyusunan rute dilakukan dengan 4 aturan dalam penentuan TPS awal yaitu memilih TPS yang memiliki: waktu tempuh terdekat dari depo (*shortest travel time from depo*), waktu tempuh terjauh dari depo (*longest travel time from depo*), waktu penyelesaian rute terkecil (*shortest route completion time*) dan waktu penyelesaian rute terjauh (*longest route completion time*).

Penyelesaian permasalahan VRPMTIF dengan menggunakan algoritma *sequential insertion* diuji dengan menggunakan data jarak dan waktu pelayanan yang didapatkan dari Perusahaan Daerah Kebersihan Kota Bandung. Data yang digunakan pada saat proses pengumpulan sampah dilakukan pada 3 wilayah. Hasil yang didapatkan adalah gambaran rute untuk proses pengambilan dan pengumpulan sampah. Data diambil untuk setiap wilayah karena setiap wilayah mempunyai depo yang berbeda-beda. Sedangkan fasilitas antara (TPA) hanya satu buah dan digunakan untuk semua wilayah. Contoh rute yang terbentuk pada wilayah Bandung Utara untuk jenis bak pertama dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rute untuk Aturan 1 (*completion time* = 1353,53, jumlah truk 3 buah)

Tur	Rute
1	Depo – Mekar wangi – TPA – Arjuna – Setiabudhi SMP 15 - Setiabudhi Gumilang - Setiabudhi No 33 - Setiabudhi SMP 15 Melodi – TPA - Depo
2	Depo – Holis – Pal III – Bima – TPA – Paledang – Cirateun – TPA – Depo
3	Depo – Saptamarga – Budi – TPA – Maleber – Trinitas – TPA – Depo

Dengan cara yang sama dihasilkan rute untuk setiap wilayah dengan pengambilan sampah menggunakan rute (bak) dan cara *direct shipping* (kontainer). Jumlah tur yang terbentuk dapat

dianalogikan sebagai kebutuhan truk yang harus disiapkan oleh PD. Kebersihan Kota Bandung. Jumlah tur atau kebutuhan truk dan *Completion Time* untuk pengambilan sampah jenis bak dan *direct shipping* adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Aturan 1: Memilih TPS dengan waktu tempuh terdekat dari depo

Nama wilayah	Bak		Kontainer	
	Jumlah tur	CT	Jumlah tur	CT
Bandung Barat	3	1353,53	25	9227,2
Bandung Tengah	5	2319,31	36	15071,54
Bandung Timur	24	8947,16	44	17724,6

Tabel 4. Aturan 2: Memilih TPS dengan waktu tempuh terjauh dari depo

Nama wilayah	Bak		Kontainer	
	Jumlah tur	CT	Jumlah tur	CT
Bandung Barat	3	1359,23	25	9359,78
Bandung Tengah	5	2299,31	36	15146,66
Bandung Timur	24	8955,19	44	17724,6

Tabel 5. Aturan 3 : Memilih TPS dengan waktu penyelesaian rute terkecil

Nama Wilayah	Bak		Kontainer	
	Jumlah tur	CT	Jumlah tur	CT
Bandung Barat	4	1527,61	25	9293,72
Bandung Tengah	5	2289,26	36	15071,93
Bandung Timur	24	9011,29	44	17724,6

Tabel 6. Aturan 4 : Memilih TPS dengan waktu penyelesaian rute terjauh

Nama wilayah	Bak		Kontainer	
	Jumlah tur	CT	Jumlah tur	CT
Bandung Barat	3	1334,84	25	9262,63
Bandung Tengah	5	2129,41	36	15141,18
Bandung Timur	24	8825,51	44	17724,6

Jumlah tur (kebutuhan) truk untuk Bandung Barat lebih sedikit dibandingkan dengan Bandung Tengah, dan jumlah kebutuhan truk Bandung Tengah lebih sedikit dibandingkan dengan kebutuhan Bandung Timur. Hal yang paling mempengaruhi jumlah kebutuhan truk untuk mengangkut sampah ini adalah jarak tempuh ke TPA. Waktu tempuh menuju TPA untuk wilayah Bandung Timur lebih lama karena letak TPA yang dekat dengan kawasan Bandung Barat. TPA yang terletak dekat dengan kawasan Bandung Barat menjadikan kendaraan yang beroperasi di wilayah Bandung Timur hanya bisa melakukan satu tur.

Jumlah tur yang terbentuk di Bandung Timur paling banyak, sedangkan TPS lebih sedikit. Hal ini dikarenakan tur yang terbentuk hanya *single trip*. Setiap hari truk hanya bisa melakukan pengambilan sampah hanya pada 1 buah TPS saja, sehingga kegiatan perjalanan hanya dapat dilakukan 1 rute saja yaitu DEPO – TPS – TPA – DEPO.

Hasil perhitungan memperlihatkan bahwa jumlah kendaraan dan *completion time* wilayah Bandung Timur sama. Hal ini dikarenakan kendaraan hanya mampu melakukan pengambilan sampah pada satu TPS setiap hari.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Telah dikembangkan model untuk membuat rute pengangkutan sampah dengan batasan jarak tempuh ke TPA, jumlah TPS, kapasitas angkut kendaraan dan horison perencanaan dengan menggunakan data proses kegiatan pengumpulan sampah di Kota Bandung.

Terdapat kesamaan hasil jumlah kendaraan untuk setiap alternatif kecuali alternatif 3. Yang menjadi pembeda adalah *completion time* yang disebabkan karena urutan dari setiap rute pada setiap tur.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah menambah varian VRP yang lain, misalkan VRP *with multiple depots*, dan VRP *with time window*. Penelitian dapat dikembangkan dengan menggunakan metode pemecahan masalah yang berbeda, misalkan dengan menggunakan *simulated annealing* atau *tabu search*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Angelelli, E., and Speranza, M. G., 2002. "The Periodic Vehicle Routing Problem with Intermediate Facilities." *European Journal of Operational Research*, Vol. 137, pp. 233–247.
- Bodin, L., Golden, B. M., Assad, A., and Ball, M., 1983. "Routing and Scheduling of Vehicles and Crews: The State of the Art." *Computers and Operations Research*, Vol. 11, No. 2, pp. 63-211.
- Brandao, J., and Mercer, A., 1997. "A Tabu Search for the Multi-Trips Vehicle Routing and Scheduling Problem." *European Journal of Operational Research*, Vol. 100, pp. 180-191.
- Braysy, O., 2001. *Genetic Algorithms for the Vehicle Routing Problem with Time Windows*, PhD thesis, Department of mathematics and Statistics, University of Vaasa, Finlandia.
- Hajri, G. S., and Darmoul, S., 2003. "A Hybrid Evolutionary Approach for a Vehicle Routing Problem with Double Time Window for the Depo and Multiple Use of Vehicle." *Studies in Informatics and Control*, Vol. 12, No. 4, pp. 253–268.
- Suprayogi, 2003. "Algoritma Sequential Insertion Untuk Memecahkan Vehicle Routing Problem With Multiple Trips and Time Window, *Jurnal Teknik dan Manajemen Industri*, Vol. 23, No. 3, pp. 30 – 46.
- Suprayogi, 2007. "Teknik Local Search untuk Pemecahan Vehicle Routing Problem with Multiple Trips and Time Window." *Jurnal Teknik dan Manajemen Industri*, Vol. 27, No. 2, pp. 57–75.
- Tung, D. V., and Pinnoi, A. 2000. "Vehicle Routing Scheduling for Waste Collection in Hanoi." *European Journal of Operational Research*, Vol. 125, pp. 449-468.