

# Penentuan Rute Kendaraan Pengangkutan Sampah dengan Menggunakan Metode *Nearest Neighbour* (Studi Kasus PD Kebersihan Kota Bandung)\*

FATHARANI ARINALHAQ, ARIF IMRAN, LISYE FITRIA

Jurusan Teknik Industri  
Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung

Email : fatharaniarinalhaq@yahoo.com

## ABSTRAK

*Vehicle Routing Problem (VRP) merupakan suatu hal yang diperhitungkan dalam permasalahan distribusi. VRP memiliki banyak variasi VRP tergantung dari kondisi atau batasan yang ada. Model VRP yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah model Vehicle Routing Problem with Multiple Trips and Intermediate Facility (VRPMTIF) yang mengambil permasalahan pengangkutan sampah di Kota Bandung sebagai studi kasus. Tugas akhir ini akan membandingkan rute yang dihasilkan pada penelitian sebelumnya yang menggunakan metode Sequential Insertion dengan rute yang akan dihasilkan dengan menggunakan metode Nearest Neighbour. Hasil perbandingan yang didapatkan yaitu metode Nearest Neighbour memiliki waktu penyelesaian yang lebih pendek dibandingkan dengan rute yang dihasilkan oleh metode Sequential Insertion dalam kasus pengangkutan sampah di Kota Bandung.*

**Kata kunci:** Rute, Model Vehicle Routing Problem with Multiple Trips and Intermediate Facility

## ABSTRACT

*In the waste distribution problem formulation, VRP (Vehicle Routing Problem) is one of factor to be calculated. Many variant of VRP is exists to solve the routing cost depend on limits and real conditions. Model of VRP that will be discussed in this paper is Vehicle Routing Problem with Multiple Trips and Intermediate Facility (VRPMTIF) which takes waste transportation issues in Bandung as a study case. This paper will compare the route with Sequential Insertion method from previous research with Nearest Neighbor method. Our evaluation has shown the route with Nearest Neighbor method has a shorter Total Tour Completion Time than Sequential Insertion method in the previous research.*

**Keywords:** Route, Vehicle Routing Problem with Multiple Trips and Intermediate facility Model

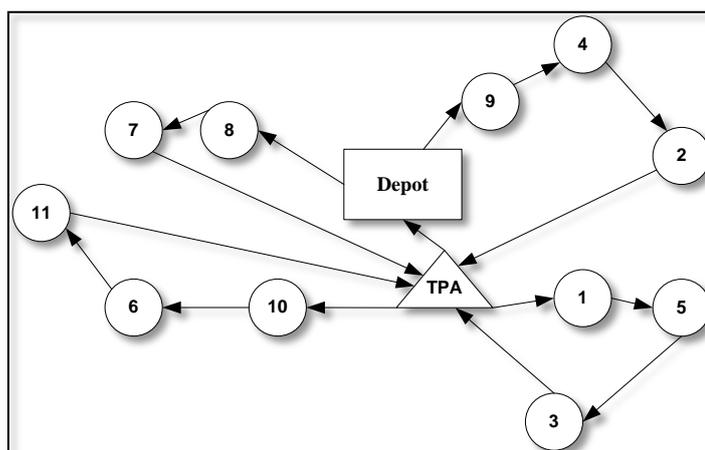
---

\* Makalah ini merupakan ringkasan dari Tugas Akhir yang disusun oleh penulis pertama dengan pembimbingan penulis kedua dan ketiga. Makalah ini merupakan draft awal dan akan disempurnakan oleh para penulis untuk disajikan pada seminar nasional dan/atau jurnal nasional.

## 1. PENDAHULUAN

Permasalahan VRP dapat didefinisikan sebagai permasalahan mencari rute dengan ongkos minimal dari suatu depot 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. Gambaran permasalahan yang terjadi pada proses pengumpulan sampah adalah adanya *Intermediate Facilities* yang harus dilewati oleh setiap rute sebelum kembali ke depot. Proses pengumpulan sampah mulai dari depot kemudian berangkat ke TPS-TPS kemudian baru ke TPA (*intermediate facilities*), dan kembali lagi ke TPS. Jika waktu kerja habis, maka truk harus kembali ke Depot (VRPMTIF).

Penelitian ini telah menggabungkan fasilitas antara (*intermediate facilities*) dan *multiple trips* yang didalamnya adalah pengembangan VRP. VRPMTIF dikembangkan dengan menambahkan fasilitas antara didalam memecahkan permasalahan rute pengumpulan sampah. Saat ini telah banyak penelitian untuk menentukan rute pengumpulan dan pengangkutan sampah salah satunya yaitu penelitian Fitria (2007) yang menggunakan metode *Sequential Insertion*. Penelitian tersebut menggunakan data pada tahun 2007 dimana wilayah operasional pengangkutan sampah di kota Bandung dibagi menjadi 3 wilayah yaitu Bandung Barat, Bandung Timur dan Bandung Tengah. Penelitian ini akan membandingkan hasil yang didapatkan dari penelitian Fitria (2007) yang menggunakan metode *Sequential Insertion* dengan hasil yang didapatkan dari metode *Nearest Neighbour*.



Gambar 1. Ilustrasi VRPMTIF

## 2. STUDI LITERATUR

### Sejarah Singkat Algoritma Untuk VRP (Liong, 2008)

Pertama VRP diperkenalkan oleh Dantzig dan Ramzer pada 1959 (Kallehauge 2006). Banyak algoritma yang telah diajukan untuk memecahkan masalah VRP klasik dan variannya. Algoritma perhitungan yang juga diajukan adalah *heuristic*. *Branch and cut and price* (Fukasawa et al. 2004; 2006) adalah algoritma perhitungan yang paling banyak digunakan untuk menyelesaikan beberapa varian dari VRP. Sementara itu, banyak algoritma heuristic yang diaplikasikan untuk VRP. Algoritma *nearest neighbor*, *insertion* dan *tour improvement* diaplikasikan pada permasalahan VRP (Laporte 1992).

Baldacci et al.(2007) telah mempresentasikan algoritma perhitungan untuk permasalahan CVRP (*Capacitated Vehicle Routing Problem*) berdasarkan suatu set formulasi partisi dengan tambahan tahapan yang sesuai dengan kapasitas dan ketidaksamaan kelompok. Algoritma

yang sama telah menggunakan *bonding procedure* yang menemukan solusi ganda dekat yang optimal untuk LP (*Linear Programming*)-*relaxation* dari hasil formulasi matematikal dengan mengkombinasikan tiga kenaikan heuristik ganda.

Heuristik ganda pertama berdasarkan rute-*q relaxation* dari kumpulan formulasi partisi CVRP. Heuristik ganda yang kedua mengkombinasikan relaksasi Lagrangian, pemberian harga dan pemberian potongan harga. Heuristik ganda yang kedua berusaha untuk mengatasi celah dualitas yang ditinggalkan oleh dua prosedur sebelumnya dengan pemberian harga klasik dan pemberian potongan harga. Solusi ganda final digunakan untuk menghasilkan masalah yang tereduksi yang mengandung rute, dimana harga yang tereduksi lebih kecil daripada jarak antara batas atas dan batas bawah yang telah didapat.

Azi et al. (2007) mendeskripsikan algoritma perhitungan untuk memecahkan masalah dimana kendaraan yang sama menjalani beberapa rute untuk melayani sekumpulan pelanggan pada jendela waktu yang telah ditentukan. Metode 2 fasa telah diajukan berdasarkan algoritma rute dasar terpendek dengan pembatasan sumber daya. Pada fasa pertama, semua kemungkinan rute yang tidak mendominasi dihasilkan, kemudian pada fasa kedua, beberapa rute telah dipilih dan diatur untuk membentuk rute kerja bagi kendaraan.

Algoritma perhitungan yang baru untuk VRP telah diajukan oleh Fukasawa et al. (2006). Metode ini telah diakui sebagai metode perhitungan paling baik (Baldacci et al. 2007). Ide utama adalah mengkombinasikan pendekatan *branch-and-cut* dengan pendekatan *q-routes* (yang diinterpretasikan sebagai algoritma pembentukan kolom) untuk menghasilkan batas yang paling bawah. Ide dari penggabungan kolom dan pemberian potongan untuk memperbaiki batas bawa telah jarang digunakan, sejak variable ganda baru yang berhubungan dengan potongan yang berbeda mungkin memiliki efek yang tidak diinginkan dengan mengubah struktur dari sub-masalah pemberian harga. Akan tetapi, jika pemotongan dinyatakan sebagai sebagai bentuk variable dari formulasi asli yang sesuai, pemotongan dapat digabungkan dengan pembentukan kolom tanpa mengganggu pemberia harga. Hal ini merujuk pada prosedur *branch-and-bound* berdasarkan formulasi tersebut sebagai algoritma *branch - and- cut-and- price* yang handal.

Sub-masalah pemberian harga untuk menemukan *q-routes* telah menghasilkan variable dengan harga minimum yang tereduksi adalah NP-*hard* (mengandung masalah rute terpendek yang berkapasitas), akan tetapi dapat dipecahkan dengan *pseudo-polynomial*  $O(n^2 C_k)$  kali. Semenjak harga yang tereduksi dari lengkungan yang tidak meninggalkan depot adalah  $k$  bebas, maka pemberia harga *q-routes* untuk setiap kapasitas  $C_k$  dengan membuat pemanggilan sekali (dengan  $C_k = C$ ) pada algoritma pemrograman dinamis.

Ropke dan Pisinger (2006) mengembangkan model yang terintegrasi yang mampu mengatasi sebagian besar dari variasi VRP. Model yang terintegrasi ini dapat dilihat sebagai masalah pengantar dan penjemputan dengan jendela waktu, yang dapat diselesaikan dengan versi terbaru dari metode pencarian heuristik *large-neighbourhood*. Fugenschuh (2006) memberikan formulasi programing *mixed-integer* untuk VRPCTW. Pemecahan yang dilakukan bedarasakan meta-heuristik baru yang mengkombinasikan aspek konstruksi klasik dengan teknik pengolahan sebelumnya menggunakan *mixed-integer* dan teknik yang telah dioptimasi menggunakan strategi pencarian acak dari optimasi global.

Cordeau et al. (2001) memperkenalkan prosedur *tabu search* sederhana untuk VRPTW dan dua variasi dari VRPTW yang dinamakan *Periodic VRPTW* (PVRPTW) dan *Multi-depot VRPTW* (MDVRPTW). Keistimewaan penting dari pendekatan ini adalah kemungkinan untuk

mengeplorasi solusi yang tidak memungkinkan selama pencarian berlangsung. Braysy dan Gendreau (2002) melaporkan mekanisme 2-fasa klasik yang diajukan oleh De Backer dan Furnon (1997) untuk memecahkan VRP dan VRPTM. Solusi awal dihasilkan dengan *saving-heuristic* oleh Clarke and Wright (1964). Kemudian, pencarian lokal antar rute (2-opt dan Or-opt) dan tiga rute antar operator dibimbing dengan TS digunakan untuk memperbaiki solusi.

Potvin dan Bengio (1996) mengajukan *GENEROUS* yang mengaplikasikan operator genetic secara langsung sehingga menghindari permasalahan pemrograman. Mereka menggunakan metode Solomon (*cheapest insertion heuristic*) untuk menciptakan populasi awal. Angka kecocokan dari pendekatan yang diajukan berdasarkan pada jumlah kendaraan dan jumlah waktu yang dibutuhkan untuk setiap solusi. Proses pemilihan bersifat stokastik dan sangat bias terhadap solusi yang paling baik. Untuk tujuan ini, skema pemberian peringkat linear digunakan, skema ini mencegah individu dengan kecocokan yang lebih daripada nilai rata-rata mendominasi proses pemilihan.

Berger et al. (2003) mengajukan pendekatan dimana dua populasi berkembang secara paralel. Populasi pertama digunakan untuk meminimalkan jarak total dan populasi kedua digunakan untuk meminimalkan pelanggaran dari batasan jendela waktu. Populasi awal diciptakan dengan metode acak sisipan sekuensial heuristic. Operator pertama dari dua operator rekombinasi merupakan metode yang sama pada Berger et al. (1998). Operator kedua memperpanjang operator pertama dengan menghilangkan rute pelanggan yang dianggap illegal dan menggunakan metode sisipan yang diajukan oleh Liu and Shen (1999) dan bukan metode heuristic Solomon (1987) pada fasa pemberian sisipan ulang.

Pada Braysy et al. (2004), metode pencarian heuristic yang menggabungkan ide dari komputasi evolusioner dengan teknik pencarian lain, seperti *tabu-search* atau *simulated-annealing* juga digunakan untuk memecahkan VRP. Kebanyakan dari metode penggabungan tersebut telah menggunakan pencarian muatasi dibandingkan operator mutasi acak. Pada fasa pertama, solusi awal telah diciptakan dengan menggunakan metode sisipan heuristic yang paling murah atau sektorisasi berdasarkan algoritma genetic GIDEON. Fasa kedua mengaplikasikan salah satu dari prosedur pencarian yang menggunakan mekanisme  $\lambda$ -pertukaran: turunan dari prosedur pencarian lokal, algoritma SA atau gabungan SA dan TS, dimana TS dikombinasi dengan kriteria penerimaan berdasarkan SA untuk memutuskan pergerakan mana untuk menerima dari daftar kandidat. Fitur utama dari prosedur pencarian lokam adalah solusi yang memungkinkan dengan *penalty* yang telah diperbolehkan jika dipertimbangkan menarik (Braysy et al. 2004).

Potvin et al. (1996a) menggunakan kompetitif *neural network* dari Potvin dan Robillard Braysy et al.(2004) untuk memilih calon pelanggan untuk modifikasi metode sisipan heuristic Solomon (Potvin & Rousseau 1993) dimana beberapa rute telah dibuat secara bersamaan. Algoritma membutuhkan sebuah nilai untuk tiga parameter  $\alpha_1, \alpha_2$  dan  $\mu$ . Dua konstanta pertama menentukan pentingnya jarak dan waktu tempuh pada fungsi jara untuk menyisipkan tiap-tiap pelanggan yang belum dirutekan. Parameter yang ketiga digunakan untuk memberikan bobot pada penghematan jarak. Algoritma genetik digunakan untuk menemukan ketiga nilai dari konstanta tersebut.

Créput et al.(2007) mengajukan algoritma evolusioner yang didalamnya terdapat *self-organizing maps* (SOM) sebagai operator yang memecahkan masalah VRP dengan jendela waktu VRPWT. Pendekatan dari metode ini melanjutkan SOM yang teroptimasi berdasarkan aplikasi *neural network* pada VRPTW. Dari sudut pandang *neural network*, kerangka evolusioner mengenalkan tingkat dari supervise yang berhubungan dengan prinsip seleksi

pada tingkat yang lebih tinggi dengan tujuan untuk kesederhanaan dan fleksibilitas dan lebih condong kepada implementasi paralel lebih lanjut. Operator memiliki struktur yang sama berdasarkan pencarian titik terdekat dan pergerakan sederhana yang dilakukan pada bidang Eukledian.

Le Bouthillier and Crainic (2005) mempresentasikan metodologi kooperatif paralel pada beberapa agen yang berkomunikasi dengan sekumpulan solusi yang memungkinkan. Agen ini terdiri dari algoritma *simple construction* dan *local-search* dan empat metode metaheuristik yang berbeda yang dinalakan algoritma dua evolusioner dan dua *tabu-search*. Algoritma evolusioner menggunakan kemungkinan mutasi dan rekombinasi ujung yang telah dikenal dan *order-crossover*, sedangkan prosedur TS adalah adaptasi dari metode TABURROUTE Gendreau et al. (1994) dan TS yang terintegrasi Cordeau et al. (2001). Kecocokan nilai dari solusi tersebut berdasarkan jumlah kendaraan, jarak, dan waktu tunggu. Solusi final dan inisiasi yang diciptakan adalah pasca optimasi dengan prosedur penolakan berantai dan 2-opt,3-opt dan Or-opt metode heuristik teroptimasi yang telah dikenal.

### 3. METODOLOGI

Berikut akan dijelaskan beberapa hal yang terkait dengan model untuk masalah penentuan rute kendaraan

- **Horizon Perencanaan (*Planning Horizon*)**  
Horizon perencanaan atau *Planning Horizon* merupakan batas waktu yang tersedia untuk menyelesaikan proses pengangkutan sampah dalam satu tur. Horizon perencanaan ini terdiri dari batas paling awal atau *ready time* dan batas paling akhir atau *deadline*. Kendaraan harus kembali ke depot sebelum batas akhir.
- **Rute**  
Rute merupakan suatu rangkaian urutan kunjungan kendaraan dalam proses pengangkutan sampah ke TPS-TPS, dimana kendaraan berangkat dan pulang dari depot, kendaraan melakukan pembongkaran muatan sampah di *Intermediate Facility* (TPA).
- **Tur**  
Tur merupakan gabungan dari beberapa rute atau dapat dikatakan sebagai rangkaian urutan kunjungan kendaraan pengangkut sampah dengan melewati *Intermediate Facility* (TPA). Waktu penyelesaian pada satu tur tidak boleh melebihi dari *planning horizon* yang telah ditetapkan.
- **Depot**  
Depot merupakan tempat berawal dan berakhirnya sebuah tur atau dapat dikatakan sebagai lokasi berangkat dan pulang kendaraan pengangkutan sampah. Setiap wilayah operasional terdapat satu depot yaitu depot wilayah Bandung Barat, depot wilayah Bandung Timur dan depot wilayah Bandung Utara.
- ***Intermediate Facility* (IF)**  
*Intermediate Facility* (IF) atau fasilitas antara merupakan tempat pembongkaran muatan sampah (*unloading*) dari kendaraan pengangkutan sampah. Dalam penelitian ini *intermediate facility* adalah TPA. Apabila kapasitas sebuah truk telah maksimal sedangkan *planning horizon* cukup untuk mengunjungi TPS lain, maka truk akan menuju ke TPA untuk *unloading* sehingga keadaan truk kembali kosong.
- **Tempat Pembuangan Sampah (TPS)**  
TPS yang dibahas di penelitian ini merupakan TPS-TPS yang berlokasi di Kota Bandung. TPS-TPS tersebut tersebar di beberapa lokasi di dalam 3 wilayah operasional pengangkutan sampah di Kota Bandung yaitu wilayah Bandung Barat, Bandung Tengah dan Bandung Timur.

- **Demand**

Dalam penelitian ini demand merupakan timbulan sampah yang terdapat pada masing-masing TPS. Jumlah dari timbulan sampah pada masing-masing TPS berbeda-beda. Banyaknya jumlah timbulan sampah yang ada pada masing-masing TPS tergantung dari jumlah penduduk dan industri pada wilayah tersebut.

### Notasi yang Digunakan

Berikut ini akan diberikan notasi untuk model penentuan rute kendaraan (Fitria *et al.*, 2007):

$i$	: indeks lokasi ( $i=0$ adalah depot, $i=1,2,\dots,n$ adalah TPS, $i= n+1$ adalah TPA)
$t$	: 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 $k$
$a[t, r, k]$	: 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

Langkah-langkah penentuan rute dengan menggunakan metode *Nearest Neighbour* adalah sebagai berikut:

#### Langkah 1

Untuk tur pertama ( $t = 1$ ) dengan rute pertama ( $r = 1$ ), lokasi awal berada pada depot. Tetapkan sisa waktu = 480 menit dan sisa kapasitas = 10.

#### Langkah 2

Cari lokasi TPS tujuan yang paling dekat dengan lokasi awal dengan jumlah timbulan sampah atau timbulan sampah yang sesuai dengan kapasitas atau tidak lebih dari kapasitas angkut ( $Q > q_i$ ).

#### Langkah 3

Hitung sisa kapasitas dengan mengurangkan sisa kapasitas yang ada dengan timbulan sampah atau permintaan di lokasi tujuan ( $Q = Q - q_i$ ). Dan hitung sisa waktu dengan mengurangkan sisa waktu dengan waktu tempuh ( $CT = CT - \tau_{(x,y)}$ ).

#### Langkah 4

Apabila  $Q > 0$  maka ulangi langkah 2. Apabila  $Q = 0$  maka lanjutkan ke langkah 5. Sedangkan apabila  $CT = 0$  maka lanjutkan ke langkah 6.

**Langkah 5**

Kendaraan menuju TPA untuk *unloading* muatan. Lokasi awal dimulai dari TPA dengan  $r = r + 1$ . Apabila  $CT > 0$  maka ulangi langkah 2 sampai dengan langkah 5.

**Langkah 6**

Apabila  $CT = 0$  maka kembali ke langkah 1 untuk tur berikutnya  $t = t + 1$ .

**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penentuan rute ini diawali dengan pencarian lokasi tujuan yang memiliki timbulan sampah muatan yang sesuai atau cukup dengan sisa kapasitas angkut kendaraan. Setelah mendapatkan beberapa lokasi yang memiliki timbulan sampah yang sesuai, kemudian dicari jarak dari beberapa lokasi tersebut yang paling dekat dengan lokasi sebelumnya.

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam penyusunan rute pengangkutan sampah ini adalah sebagai berikut:

1. Kapasitas kendaraan pengangkutan sampah atau truk adalah 10 ton. Pada satu rute kendaraan tidak boleh melebihi kapasitas.
2. Waktu kerja selama 8 jam kerja per hari.
3. Waktu pelayanan di TPA setiap  $1 \text{ m}^3$  timbulan sampah adalah 3 menit
4. Waktu pelayanan di TPS setiap  $1 \text{ m}^3$  timbulan sampah adalah 5 menit
5. Kecepatan kendaraan sebesar 40 km/jam
6. Tujuan yang diambil adalah minimasi waktu tempuh dan jumlah kendaraan

Dari langkah-langkah penentuan rute didapatkan hasil dari ketiga wilayah pada Tabel 1.

**Tabel 1. Hasil Pengolahan Data**

	Barat	Tengah	Timur
<i>Total Tour Completion Time (min)</i>	1348,24	2145,898	8917,913
<i>Total Tour</i>	3	5	24
<i>Total Route</i>	6	9	24
<i>Total Vehicle (unit)</i>	3	5	24

**5. ANALISIS****5.1 PERBANDINGAN HASIL *SEQUENTIAL INSERTION* DENGAN *NEAREST NEIGHBOUR***

Dari hasil pengolahan data, maka diperoleh perbandingan hasil dengan menggunakan metode *Nearest Neighbour* dan *Sequential Insertion* di wilayah Bandung Barat pada Tabel 2, wilayah Bandung Tengah pada Tabel 3 dan wilayah Bandung Timur pada Tabel 4.

**Tabel 2. Perbandingan Hasil Metode *Nearest Neighbour* dan *Sequential Insertion* Wilayah Bandung Barat**

	<i>Nearest Neighbour</i>	<i>Sequential Insertion</i>
<i>Total Tour Completion Time (min)</i>	1348,240	1353,530
<i>Total Tour</i>	3	3
<i>Total Route</i>	6	6
<i>Total Vehicle (unit)</i>	3	3

**Tabel 3. Perbandingan Hasil Metode Nearest Neighbour dan Sequential Insertion Wilayah Bandung Tengah**

	<i>Nearest Neighbour</i>	<i>Sequential Insertion</i>
<i>Total Tour Completion Time (min)</i>	2145,898	2319,310
<i>Total Tour</i>	5	5
<i>Total Route</i>	9	10
<i>Total Vehicle (unit)</i>	5	5

**Tabel 4. Perbandingan Hasil Metode Nearest Neighbour dan Sequential Insertion Wilayah Bandung Timur**

	<i>Nearest Neighbour</i>	<i>Sequential Insertion</i>
<i>Total Tour Completion Time (min)</i>	8917,913	8947,160
<i>Total Tour</i>	24	24
<i>Total Route</i>	24	24
<i>Total Vehicle (unit)</i>	24	24

Dilihat dari tabel perbandingan diatas, hasil dari penelitian yang menggunakan metode *Nearest Neighbour* pada keseluruhan wilayah mendapatkan nilai *Total Tour Completion Time (TCT)* yang lebih kecil dibandingkan dengan hasil penelitian yang menggunakan metode *Sequential Insertion*. Dengan *Total Tour Completion Time* yang lebih kecil, maka dimungkinkan memperoleh rute yang lebih sedikit. Pada wilayah Bandung Tengah, jumlah rute yang didapatkan dengan metode *Nearest Neighbour* lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah rute yang didapatkan dengan metode *Sequential Insertion*. Hasil dari metode *Sequential Insertion* di penelitian sebelumnya yang dibandingkan dengan hasil penelitian ini merupakan hasil pengolahan data menggunakan aturan 1 yaitu pemilihan TPS dengan waktu tempuh terdekat.

## 5.2 ANALISIS PARAMETER

Dari hasil peninjauan pada TPS Sadang Serang di wilayah Bandung Barat didapatkan rentang waktu *unloading* muatan sebesar 3-5 menit per m<sup>3</sup>. Nilai waktu *unloading* ini akan dibandingkan dengan hasil pengolahan data untuk melihat apabila terjadi perubahan rute. Tabel 5 adalah rute dengan menggunakan waktu *unloading* muatan sebesar 5 menit per m<sup>3</sup>.

**Tabel 5. Rute Kendaraan dengan Waktu Pelayanan Di TPA Sebesar 5 Menit/m<sup>3</sup>**

TUR	RUTE	CT
1	Depot- Mekar Wangi- TPA- Setiabudi Melodi- Setiabudi SMP 15- Setiabudi No.33- Setiabudi Gumilang- Bima- TPA- Depot	479,345
2	Depot- Holis- Pal Tiga- Trinitas- TPA- Budi- Arjuna- TPA- Depot	466,125
3	Depot- Paledang- Sapta Marga- TPA- Cirateun- TPA- Depot	431,425
4	Depot- Maleber- TPA- Depot	219,185
TCT		1596,08

Dapat dilihat pada tabel diatas *Total Tour Completion Time* dari rute dengan pelayanan di TPA sebesar 5 menit/ m<sup>3</sup> yaitu sebesar 1596,08 menit. Sedangkan *Total Tour Completion Time* dari rute dengan pelayanan di TPA sebesar 3 menit/ m<sup>3</sup> yaitu sebesar 1348,20 menit. Waktu pelayanan di TPA yang bertambah mengakibatkan kurangnya waktu yang tersedia

untuk kendaraan menuju TPS lain, sehingga jumlah tur bertambah. Dengan bertambahnya jumlah tur, maka diperlukannya waktu perjalanan dari depot menuju TPS dan dari TPS menuju TPA dengan jarak yang jauh sehingga memperbesar nilai TCT dan merubah rute perjalanan kendaraan.

Waktu pelayanan di TPS pada penelitian sebelumnya menggunakan waktu sebesar 5 menit/m<sup>3</sup> dalam mengangkut dan menata sampah di kendaraan. Dari peninjauan didapatkan rentang waktu pelayanan atau *loading* muatan sebesar 5-7 menit/m<sup>3</sup>. Tabel 6 merupakan rute dengan waktu pelayanan TPS sebesar 7 menit/m<sup>3</sup>.

**Tabel 6. Rute Kendaraan dengan Waktu Pelayanan Di TPS Sebesar 7 Menit/m<sup>3</sup>**

TUR	RUTE	CT
1	Depot- Mekar Wangi- TPA- Setiabudi Melodi- Setiabudi SMP 15- Setiabudi No.33- Setiabudi Gumilang- TPA- Depot	444,68
2	Depot- Holis- Pal Tiga- Trinitas- TPA- Budi- TPA- Depot	439,985
3	Depot- Bima- Arjuna- Sapta Marga- TPA- Cirateun- TPA- Depot	448,285
4	Depot- Paledang- Maleber- TPA- Depot	259,755
TCT		1592,705

Dengan bertambahnya waktu pelayanan di TPS maka TCT yang diperoleh juga semakin besar sehingga merubah rute perjalanan kendaraan pengangkut sampah. Dengan besarnya waktu pelayanan di TPS maka *Completion Time* pada suatu rute akan semakin besar sehingga tidak dapat mengunjungi TPS selanjutnya. Pada rute dengan waktu pelayanan TPS 7 menit/m<sup>3</sup>, didapatkan jumlah rute sebanyak 3 buah rute dengan *Total Tour Completion Time* sebesar 1592,705 menit.

Perubahan yang terjadi pada *Planning Horizon* akan mempengaruhi banyaknya rute, tur dan *Total Completion Time* (TCT) yang dihasilkan. Hal itu disebabkan karena dengan pertambahan *Planning Horizon*, maka memungkinkan kendaraan pengangkut sampah untuk mengangkut sampah menuju TPS selanjutnya dengan *demand* yang sesuai. Pada pertambahan *Planning Horizon* sebanyak 2 jam menjadi 10 jam kerja, tur, rute dan TCT yang dihasilkan tidak berbeda dengan yang dihasilkan oleh *Planning Horizon* sebesar 8 jam. Hal ini dikarenakan jauhnya jarak antara Depot dengan TPS dan TPA. Sedangkan untuk penambahan *planning horizon* sebanyak 4 jam yaitu menjadi 12 jam kerja maka, rute yang terbentuk dapat dilihat pada Tabel 7.

**Tabel 7. Rute Kendaraan dengan Planning Horizon 12 Jam**

TUR	RUTE	CT
1	Depot-Mekar Wangi- TPA- Setiabudi Melodi- Setiabudi SMP 15- Setiabudi No 33- Setiabudi Gumilang- Bima- TPA- Budi- Arjuna- TPA- Depot	639,885
2	Depot- Holis- Pal Tiga- Trinitas- TPA- Cirateun- Sapta Marga- TPA- Paledang- Maleber- TPA- Depot	706,975
TCT		1346,86

Pada tabel diatas terlihat bahwa tur yang didapatkan dengan menggunakan *planning horizon* sebesar 12 jam menjadi 2 buah tur. Pada *planning horizon* sebesar 8 jam, terdapat 3 buah tur. Hal ini disebabkan semakin panjang *planning horizon* yang diberikan maka semakin besar kemungkinan kendaraan untuk mengunjungi TPS berikutnya dan dapat meminimasi jumlah tur dan kendaraan.

## 6. KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah dilakukan pengujian model dan analisis, maka penelitian ini memberikan beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Metode heuristik *Nearest Neighbour* mendapatkan rute dengan jarak dan waktu yang lebih pendek dibandingkan dengan metode sebelumnya yaitu metode *Sequential Insertion* di ketiga wilayah yaitu Bandung Barat, Bandung Timur dan Bandung Tengah.
2. Penambahan horison perencanaan atau *Planning Horizon* pada suatu rute akan mengakibatkan rute yang berbeda.
3. Penambahan waktu pelayanan pada TPA dan TPS akan memperbesar nilai dari Total *Tour Completion Time* yang memungkinkan untuk mengakibatkan rute yang berbeda

Beberapa saran untuk pengembangan penelitian untuk masa datang adalah sebagai berikut:

1. Program pada penelitian ini hanya dibuat untuk wilayah Bandung Barat. Program dapat dikembangkan untuk wilayah lainnya.
2. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan penentuan rute menggunakan metode optimasi, metode heuristik lainnya atau dengan metode metaheuristik seperti *Tabu Search* atau *Simulated Annealing* untuk mendapatkan solusi rute yang lebih baik.
3. Usulan kepada PD.Kebersihan Kota Bandung agar menambah *planning horizon* menjadi 12 jam sehingga hanya terbentuk 2 tur pada wilayah Bandung Barat. Hal ini dapat menghemat biaya penggunaan kendaraan operasional.

## REFERENSI

- Azi N., Gendreau M. & Potvin J.Y. (2007). *An Exact Algorithm For A Single-Vehicle Routing Problem With Time Windows and Multiple Routes*. European Journal of Operational Research 178: 755–766
- Baldacci R. Christofides N. & Mingozzi A. (2007). *An Exact Algorithm For The Vehicle Routing Problem Based On The Set Partitioning Formulation With Additional Cuts*. Mathematical Programming Ser. (in press).
- Braysy O. & Gendreau M. (2002). *Tabu Search Heuristics For The Vehicle Routing Problem With Time Windows*. Sociedad de Estadística e Investigación Operativa Top 10(2): 211-237.
- Cordeau J-F, Laporte G and Mercier A. (2001). *A Unified Tabu Search Heuristic For Vehicle Routing Problems With Time Windows*. Journal of Operational Research Society 52: 928–936.
- Fitria, L., Susanty, S., Suprayogi. (2009). *Pemecahan Masalah Penentuan Rute Truk Pengumpulan dan Pengangkutan Sampah Di Kota Bandung*. Jurnal Teknik Industri Universitas Petra Surabaya, Vol 11 No 1, pp. 51-6.
- Fugenschuh A. (2006). *The Vehicle Routing Problem with Coupled Time Windows*. CEJOR 14:157-176.
- Fukasawa R., Lygaard J., Poggi D. M., Reis M., Uchoa E. & Werneck R. F. (2004). *Robust branch-and-cut-and-price for the capacitated vehicle routing problem*. *Proceedings of the X IPCO, Lecture Notes in Computer Science* 3064: 1–15.

Kallehaug B. (2006). *Formulations and Exact Algorithms For The Vehicle Routing Problem With Time Windows*.

Laporte G. & Nobert Y. (1983). *A branch and Bound Algorithm For The Capacitated Vehicle Routing Problem*. *Operations Research Spektrum* 5: 77-85.

Potvin J.Y. & Rousseau J.M. (1993). *A Parallel Route Building Algorithm For The Vehicle Routing and Scheduling Problem With Time Windows*. *European Journal of Operational Research* 66: 331–340.

Ropke s. & pisinger d. (2006). *A Unified Heuristic For A Large Class of Vehicle Routing Problems With Backhauls*. *European journal of operational research* 171: 750–775.