

## ***Vehicle Routing Problem with Time Window*** **dalam Menjadwalkan Armada Pengangkutan Sampah**

**Dwi Iryaning Handayani**

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Panca Marga  
Jl. Yos Sudarso 107 Pabean Dringu Probolinggo 67271  
Email : [dwiiryaninghandayani@yahoo.co.id](mailto:dwiiryaninghandayani@yahoo.co.id)

### **ABSTRAK**

Penelitian ini membahas masalah sampah di Kota X yang mana Kota X belum mengetahui jumlah armada yang dibutuhkan, serta menjadwalkan armada dalam pengangkutan sampah dan rute pengangkutan dari tempat pembuangan sampah sementara (TPS) ke tempat pembuangan sampah akhir (TPA). Tujuan penelitian ini menentukan rute dan menjadwalkan armada pengangkutan sampah yang dapat meminimumkan jarak tempuh serta jumlah armada pengangkutan sampah yang dapat meminimasi biaya transportasi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah algoritma *Vehicle Routing Problem With Time Window* (VRPTW) dengan pendekatan *Heuristic Nearest Neighbor*. Hasil yang didapatkan yaitu mendapatkan jumlah armada sebanyak 5 kendaraan dan total biaya yang dikeluarkan sebesar Rp 899.211 sehingga didapatkan biaya bahan bakar yang minimum.

Kata kunci: *Vehicle Routing Problem, Time Window* , Biaya, Rute.

### **ABSTRACT**

*This research taking garbage problem at city X which is the X city hasn't know the needed vehicle number, also schedule the vehicle in garbage movement and the movement route from the Garbage Temporary Dumping Place to the Garbage Final Dumping Place. This research purpose is to decide the route and schedule the garbage movement vehicle which can minimize the distance and also the garbage vehicle number which can minimize the transportation cost. The method used in this research is the Routing Problem With Time Window (VRPTW) algorithm with the Heuristic Nearest Neighbor algorithm. The result obtained is the vehicle needed are 5 number and the total cost spent about Rp 889.211 and so the minimum fuel cost is reach.*

Keywords: *Vehicle Routing Problem, Time Window* , Cost, Route.

### **PENDAHULUAN**

Permasalahan sampah sangat erat kaitannya dengan keindahan kota, faktor kesehatan serta jumlah populasi suatu daerah. Jumlah sampah yang dihasilkan perhari di wilayah X tidak semuanya dapat terangkut ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) ataupun Tempat Pembuangan Sampah Sementara (TPS). Pengangkutan sampah yang dilakukan tidak hanya dari TPS ke TPA, akan tetapi pengangkutan juga dilakukan pada sampah-sampah liar yang terdapat pada wilayah X.

Pengangkutan sampah dikota X memiliki tingkat efisiensi sebesar 30,36% dan prosentase sampah yang tidak terangkut perharinya sebesar 9,45%. Hal ini dikarenakan ketebatasan armada dalam mengangkut sampah serta Pihak Kebersihan dan Pertamanan (DKP) tidak

mempunya sistem penjadwalan armada yang baik [1]. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode yang dapat mengetahui jumlah armada yang dibutuhkan, serta menjadwalkan armada dalam pengangkutan sampah dan rute pengangkutan sampah di wilayah X. Metode yang digunakan dalam kasus ini dengan pendekatan *heuristic*, yaitu *Vehicle Routing Problem With Time Window* (VRPTW) dengan pendekatan *Heuristic Nearest Neighbor*. VRPTW merupakan perluasan dari *Vehicle Routing Problem* (VRP) dimana layanan di setiap konsumen harus dimulai dalam *time window* terkait dan kendaraan harus tetap berada pada lokasi konsumen selama *service*. *Soft time window* dapat dilanggar dengan biaya, sedangkan *hard time window* tidak memungkinkan bagi kendaraan untuk melakukan layanan begitu sampai di lokasi konsumen jika konsumen belum siap memulai

layanan. Apabila kendaraan datang sebelum konsumen siap untuk memulai layanan, maka kendaraan tersebut harus menunggu. [2]

Tujuan Penelitian ini adalah mendapatkan jumlah armada dalam pengangkutan sampah, dan menjadwalkan armada pengangkutan sampah serta menentukan rute yang dapat meminimumkan jarak tempuh dalam mengangkut sampah yang dapat meminimasi biaya transportasi. Paper ini terdiri dari beberapa bagian, yaitu pendahuluan menjelaskan definisi dari permasalahan dan tujuan penelitian. Algoritma *Vehicle Routing Problem With Time Window* (VRPTW) dengan pendekatan *Heuristic Nearest Neighbor* dijelaskan pada bagian metode. Hasil komputasi dan analisis dijelaskan pada bagian Hasil dan pembahasan yang menunjukkan hasil penggunaan metode VRPTW. Kesimpulan akan dijelaskan pada bagian akhir paper ini.

### METODE

#### Model *Vehicle Routing Problem with Time Windows*

VRPTW diartikan pada jaringan  $G = (V, A)$ , dimana depo dinyatakan dengan dua node 0 dan  $n+1$ . Semua rute kendaraan yang berhubungan dengan lintasan di  $G$  berawal berangkat dari node 0 dan berakhir di node  $n+1$ . Sebuah time window juga berhubungan dengan node 0 dan  $n+1$  yaitu  $[a_0, b_0] = [a_{n+1}, b_{n+1}] = [E, L]$ , dimana  $E$  dan  $L$  masing-masing mempunyai waktu keberangkatan paling awal dari depo dan waktu kedatangan paling akhir di depo. Solusi hanya mungkin terjadi jika  $a_0 = E \leq \min_{i \in V \setminus \{0\}} b_i - t_{0i}$  dan  $b_{n+1} = L \geq \min_{i \in V \setminus \{0\}} a_i + s_i + t_{i0}$ .

Perlu diperhatikan juga, sebuah arc  $(i, j) \in A$  dapat dihilangkan karena syarat *time windows* tidak terpenuhi,  $a_i + s_i + t_{ij} > b_j$  atau syarat kapasitas tidak terpenuhi,  $d_i + d_j > C$  atau keadaan lainnya. Selanjutnya kita akan memformulasikan model matematika untuk VRPTW yang menggunakan dua variabel yaitu variabel aliran (*flow variable*)  $x_{ijk}$ ,  $(i, j) \in A$ ,

$k \in K$  yang bernilai sama dengan 1 jika arc  $(i, j)$  dilewati kendaraan  $k$ , dan bernilai sama dengan 0 jika sebaliknya, dan variabel waktu (*time variable*)  $w_{ik}$ ,  $i \in V$ ,  $k \in K$ , menyatakan waktu dimulainya layanan pada node  $i$  oleh kendaraan  $k$ .

Model matematika untuk VRPTW dengan syarat *time window* dan syarat kapasitas dapat diturunkan sebagai berikut :

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

dengan batasan

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N, \quad (2),$$

$$\sum_{j \in \Delta^+(0)} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in K, \quad (3)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)} x_{ijk} - \sum_{i \in \Delta^+(j)} x_{jik} = 0 \quad \forall k \in K, \forall j \in N, \quad (4)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(n+1)} x_{i,n+1,k} = 1 \quad \forall k \in K, \quad (5)$$

$$x_{ijk} (w_{ik} + s_i + t_{ij} - w_{jk}) \leq 0 \quad \forall k \in K, (i, j) \in A, \quad (6)$$

$$a_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} \leq w_{ik} \leq b_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} \quad \forall k \in K, \forall i \in N, \quad (7)$$

$$E \leq w_{ik} \leq L \quad \forall k \in K, \quad i \in (0, n+1), \quad (8)$$

$$\sum_{i \in N} d_i \sum_{j \in \Delta^+(i)} x_{ijk} \leq C \quad \forall k \in K, \quad (9)$$

$$x_{ijk} \geq 0 \quad \forall k \in K, (i, j) \in A \quad (10)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall k \in K, (i, j) \in A \quad (11)$$

Deskripsi dari konstrain diatas adalah : Persamaan (1) menyatakan fungsi obyektif untuk permasalahan VRPTW di atas.

$N = V \setminus \{0, n+1\}$  menyatakan himpunan konsumen. Syarat (2) menyatakan setiap konsumen hanya boleh dikunjungi tepat satu kali oleh satu kendaraan. Persamaan (3) – (5) merupakan syarat aliran pada lintasan yang harus diikuti oleh kendaraan  $k$ . Persamaan (6)-(8) dan (9) masing – masing merupakan syarat *time window* dan syarat kapasitas. Persamaan (11) memaksa kondisi biner pada variabel aliran. Kondisi biner (11) memungkinkan *syarat time window* (6) dilinierisasi menjadi

$$w_{ik} + s_i + t_{ij} - w_{jk} \leq (1 - x_{ijk})M_{ij}$$

$$\forall k \in K, (i, j) \in A \quad (12)$$

$M_{ij}$  merupakan konstanta yang nilainya sama dengan  $\max \{b_i + s_i + t_{ij} - a_j, 0\}$ . Syarat (6) atau (12) hanya perlu diberlakukan pada  $arc (i, j) \in A$  sedemikian hingga  $M_{ij} > 0$ , sebaliknya jika  $\{b_i + s_i + t_{ij} - a_j, 0\} = 0$  maka syarat – syarat ini terpenuhi untuk semua nilai  $w_{ik}, w_{jk}$ , dan  $x_{ijk}$ .

### Pengembangan Prosedur Solusi dengan *Nearest Neighbor*

Metode *Nearest Neighbor* adalah sebuah metode heuristik yang mudah dan sering dipakai, ide dasar metode ini adalah membuat jalur terdekat dari titik yang telah dikunjungi (i), terhadap titik yang belum dikunjungi (j). Jika  $x$  dianggap sebagai titik, kapasitas kendaraan adalah  $Q$  dan permintaan tiap titik adalah  $D$ , maka langkah penyelesaiannya sebagai berikut : a) Menentukan jarak antara  $x_i$  terhadap  $X_j$  dari semua titik yang ada, dengan  $i = 0, \dots, n$  dan  $j = 0, \dots, n$ ; b) Tentukan 0 sebagai depot; c) Cari jarak terpendek dari 0 sehingga  $X_{ij}$  minimum dengan  $i = 0$ ; d) Total permintaan dari  $X_{ij}$ , dengan  $i = 0$  adalah  $q_j$ ; e) Tentukan  $j = i$ , sehingga titik  $j$  yang telah dikunjungi diasikan sebagai  $i$ ; f) Cari jarak terpendek dari  $i$  terhadap  $j$  sehingga  $x_{ij}$  minimum; g) Total permintaan dari  $X_{ij}$ , adalah  $q = q_i + q_j$ ; h) Periksa apakah  $D < Q$ , jika iya lanjutkan dengan langkah e dan jika tidak kembali ke langkah b.

Prosedur algoritma *Nearest Neighbor* untuk *Vehicle Routing Problem With Time Window* Tahapan yang dilakukan dalam *Nearest Neighbor* untuk *VRPTW* antara lain yaitu: Tahap 1) rute baru

dimulai dari depot. Tahap 2) pilih node terdekat  $i$  yang belum dikunjungi dengan mempertimbangkan syarat *time window* dan syarat kapasitas. Jika syarat *time window* dan syarat kapasitas terpenuhi, tambahkan node  $i$  ke dalam rute dan kurangkan kapasitas kendaraan terhadap permintaan di node  $i$ . Sebaliknya, jika syarat *time window* atau syarat kapasitas tidak terpenuhi maka rute dihentikan dan kendaraan kembali ke depot. Tahap 3) apabila dengan penambahan node  $i$  ke dalam rute menyebabkan total permintaan melebihi kapasitas kendaraan, maka rute dihentikan dan kendaraan kembali ke depot. Ulangi tahap 1. Sebaliknya, jika penambahan node  $i$  ke dalam rute tidak menyebabkan total permintaan melebihi kapasitas kendaraan maka ulangi tahap 2. Prosedur di atas dilakukan sampai semua node sudah dikunjungi oleh kendaraan. [3]

### HASIL dan PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan bahasa pemrograman *Visual Basic for Application* pada aplikasi office Excel. Kasus yang digunakan merupakan kasus sederhana yang terdiri dari 15 TPS dengan 1 TPA. Masing-masing TPS mempunyai volume sampah yang berbedah beda sehingga dengan standar deviasi yang berbeda juga dengan asumsi berdistribusi normal selengkapnya dapat dilihat pada tabel 1. Pada *Service time* pada masing-masing TPS diasumsikan sama sebesar 20 menit per TPS, sedangkan waktu beroperasi dimulai pada menit ke 360 dan berakhir pada menit ke 720. Hasil komputasi dari masing-masing dapat dilihat pada Tabel 2

Permasalahan untuk meminimalkan biaya dan total waktu biasanya disebut dengan *Vehicle Routing Problem* (VRP). Pendistribusian barang memfokuskan pada pelayanan, dalam periode waktu yang ditentukan, dari sekelompok konsumen oleh sekelompok kendaraan, yang berlokasi di satu atau lebih depot, yang pergerakannya direpresentasikan dengan menggunakan jaringan jalan.[2] VRP merupakan penentuan sekelompok rute, dimana setiap rute dilakukan oleh sebuah kendaraan yang dimulai dan berakhir pada masing – masing depotnya sedemikian hingga semua kebutuhan konsumen terpenuhi, semua kendala operasional terpenuhi dan biaya transportasi secara keseluruhan terpenuhi.

**Tabel 1. Volume Sampah**

TPS	X	Y	Rata-rata Volume Sampah	Standar Deviasi	Volume Sampah
Depot	0	0	-	-	-
1	-8.45	34.4	1200	200	1124.09
2	-14.1	21.8	1700	250	2230.3
3	-11.15	25.6	2000	600	2532.15
4	-27.8	22.9	2300	400	2396.63
5	-6.4	15.7	2800	500	2213.46
6	-5.9	16.6	2600	500	3142.83
7	-1.7	20.9	1900	400	2368.88
8	-5.2	23.3	1800	400	1840.36
9	-3.6	25.3	3200	500	2556.06
10	-1.7	27.9	2700	400	2954.16
11	-4.8	27.7	1900	700	842.519
12	-7	27	2000	300	2239.97
13	-2.8	31.8	1800	300	1533.74
14	4.1	31	2100	300	1873.47
15	1.9	33	2200	300	2270.5

**Tabel 2. Waktu Pelayanan**

TPS	Service Time	Open	Closed
1	25	360	720
2	25	360	720
3	25	360	720
4	25	360	720
5	25	360	720
6	25	360	720
7	25	360	720
8	25	360	720
9	25	360	720
10	25	360	720
11	25	360	720
12	25	360	720
13	25	360	720
14	25	360	720
15	25	360	720

**Tabel 3. Rute Kendaraan**

Kendaraan	Urutan Rute				
1	1	6	7	12	
2	1	8	9	10	
3	1	3	4	2	
4	1	13	11	14	
5	1	15	5		

Dantzig dan Ramser (1959) memperkenalkan istilah *vehicle routing problem* (VRP) sebagai permasalahan transportasi yang menyangkut penentuan jumlah kendaraan dan penentuan rute kendaraan. VRP merupakan topik penelitian optimasi yang menyita banyak penelitian dikarenakan tingkat kerumitan serta banyaknya aplikasi dalam dunia ril.[4] Braysy (2001) menyatakan bahwa VRP dapat didefinisikan sebagai permasalahan mencari rute dengan ongkos minimal dari suatu depot ke pelanggan yang letaknya tersebar dengan jumlah permintaan yang berbeda-beda. VRP secara mendasar mempunyai fungsi tujuan utama adalah meminimumkan ongkos distribusi, meminimumkan jumlah kendaraan, meminimumkan total waktu tempuh kendaraan dan meminimumkan total jarak tempuh kendaraan.[5].

Transportasi barang dilakukan oleh sekelompok kendaraan yang komposisi dan kapasitasnya bisa tertentu atau ditentukan berdasarkan keperluan konsumen. Karakteristik khusus kendaraan adalah berikut ini : a) *home depot* dan kemungkinan untuk mengakhiri pelayanan di sebuah depot daripada di *home depot*. b) kapasitas kendaraan yang menyatakan berat atau volume atau jumlah barang maksimum yang dapat diangkut, c) pembagian kendaraan menjadi kompartemen, masing – masing berdasarkan kapasitas dan tipe barang yang diangkut : 1) peralatan yang tersedia untuk melakukan proses *loading* dan *unloading* ;2) himpunan *arc* pada *graph* yang dapat dilalui oleh kendaraan; 3) biaya yang terkait dengan pemakaian kendaraan (per satuan jarak, per satuan waktu, per rute, dan lain-lain)

Rute yang dihasilkan harus memenuhi semua kendala operasional yang bergantung pada karakteristik barang yang diangkut, kualitas level pelayanan, serta karakteristik konsumen dan kendaraan. Contoh kendala operasional adalah

berikut ini : jumlah beban atau barang yang diangkut tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan pada setiap rute. Pengambilan sampah hanya dapat dilakukan dalam *time window* masing-masing, dan lain – lain. Fungsi obyektif pada permasalahan *Vehicle Routing Problem* dapat berupa berikut ini :

- Meminimumkan biaya transportasi keseluruhan, bergantung pada jarak keseluruhan yang dilalui (atau total *travel time*) dan biaya tetap yang berkaitan dengan kendaraan.
- Meminimumkan jumlah kendaraan yang diperlukan untuk melayani semua konsumen.
- Keseimbangan *route*, untuk total *travel time* dan beban kendaraan.

Pada beberapa aplikasi, setiap kendaraan dapat beroperasi lebih dari satu rute dalam periode waktu yang ditentukan atau bisa juga rute berakhir lebih dari satu hari. Sebagai tambahan, terkadang kita perlu menggunakan total *travel time* yang stokastik atau memasukkan unsur dinamik pada permintaan konsumen. VRPTW merupakan VRP dengan menambahkan *time windows* pada node yang akan dikunjungi. *Time windows* merupakan interval waktu dimana node dapat dikunjungi. VRPTW lebih mementingkan minimasi dari jumlah kendaraan [6]. *Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)* dimana layanan di setiap konsumen harus dimulai dalam *time window* terkait dan kendaraan harus tetap berada pada lokasi konsumen selama *service*. *Soft time window* dapat dilanggar dengan biaya, sedangkan *hard time window* tidak memungkinkan bagi kendaraan untuk melakukan layanan begitu sampai di lokasi konsumen jika konsumen belum siap memulai layanan. Dalam kasus terakhir, jika kendaraan datang sebelum konsumen siap untuk memulai layanan, maka kendaraan tersebut harus menunggu.

Metode *heuristic nearest neighbour* merupakan metode mencari dua lokasi yang memiliki jarak terpendek [7], hasil running menggunakan VBA didapatkan urutan rute dalam mengambil sampah di TPS lalu dikirim ke TPA, dapat dilihat pada tabel 3 dengan total jarak pada masing-masing armada truk berbeda-beda hal ini sesuai dengan prinsip *nearest neighbour* memilih rute yang terdekat dengan node yang dikunjungi. Meskipun ada *time window* akan tetapi *time window* yang digunakan semua sama untuk 15 TPS dengan rentang waktu mulai menit ke 360 sampai dengan menit ke 720. Sehingga yang

dipertimbangkan dalam menentukan rute *traveling time* yang digunakan dengan menyesuaikan kapasitas kendaraan dan volume masing-masing TPS.

**Tabel 4. Biaya Transportasi**

Kendaraan	Total Jarak	Biaya (Rp)
1	29.138	131.122
2	27.774	124.983
3	39.978	179.901
4	37.320	167.943
5	65.613	295.261

Waktu tempuh kendaraan berbanding lurus dengan jarak tempuhnya, dimana kecepatan kendaraan dari satu TPS ke TPS lainnya berbeda karena faktor kepadatan jalan. Konstantan biaya sebesar Rp 4500 yang diasumsikan sebagai biaya bahan bakar yang diperlukan untuk menempuh jarak sebesar 1 km. Pada masing-masing armada dapat dilihat pada tabel 4 yang menunjukkan bahwa dengan total jarak lebih kecil maka biaya yang dibebankan kecil juga. Total biaya transportasi yang dihasilkan sebesar Rp.899,211. Sesuai dengan Bowersox (2002)[8] bahwa pengeluaran untuk biaya transportasi lebih besar dari pengeluaran untuk unsur biaya lainnya dari operasi logistik. Biaya transportasi merupakan salah satu komponen yang paling mahal dari struktur biaya logistik [9]. Biaya yang dihasilkan oleh aktifitas ini sekitar 33% sampai 66% dari keseluruhan pengeluaran logistik 10. Oleh karena itu penciptaan efisiensi pada pola distribusi dan transportasi produk akan memberikan kontribusi pada profit yang dihasilkan selain dapat meningkatkan daya saing bagi perusahaan.[11]

#### SIMPULAN

Jumlah armada pengangkutan sampah yang didapatkan sebanyak 5 armada. Hasil output rute yang dihasilkan dengan *Vehicle Routing Problem With Time Window (VRPTW)* dengan pendekatan *Heuristic Nearest Neighbor* dapat mengurangi biaya transportasi, biaya yang dihasilkan sebesar Rp 899,211. Program aplikasi ini bermanfaat untuk membantu mengatur penjadwalan dan rute pengangkutan sampah sehingga dapat meminimumkan biaya bahan bakar.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Raharjo, P. (2009) Penjadwalan Armada Pengangkutan Sampah Liar Wilayah Surabaya Timur. Tugas Akhir. Teknik Industri Teknik Industri. Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [2] Rusdiansyah, A. and Tsao, D., (2005) An Integrated Model of The Periodic Delivery Problems for Vending Machine Supply Chains. *Journal of Food Engineering*, 70, pp. 421 -434.
- [3] Suprayogi (2003), Algoritma Sequential Insertion untuk Memecahkan Vehicle Routing Problem dengan Multiple Trips dan Time windows, *Jurnal Teknik dan Manajemen* 141 *Teknik Industri*, Departement Teknik Industri, Institut Teknologi Bandung, 23 (3), pp. 21-36
- [4] Lin S.W., Yu V.F., dan Chou S.Y.(2008). Solving the truck and trailer routing problem based on a simulated annealing heuristic. *Computer & Operation Research*, 36, 1683-1692.
- [5] Pamungkas, A. dan Eric Wibisono, (2008). Pengembangan *model vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up* dengan menambahkan batasan waktu. *Journal of Logistics and Supply Chain Management* Vol 1 No 2, June 2008;93-105
- [6] David Pisinger, Stefan Ropke. (2007). A general heuristic for vehicle routing problem.
- [7] Rani F. R. (2008) Pengembangan Algoritma Heuristik Untuk Time Windows (PDPTW) untuk penyedia jasa City Courier. Tugas Akhir. Teknik Industri. Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [8] Bowersox, D.J. (2002), *Logistical Management*, Macmillan Publishing co.Inc.
- [9] Brandao, Donald J. (2006). *Manajemen Logistik*. PT. Bumi Aksara: Jakarta
- [10] Ballou, Ronald. H. (1999). *Business Logistics Management*. Prentice Hall, Inc. USA
- [11] Rusdiansyah, A. and Aryusamala, 2007. Penentuan Jumlah dan Kombinasi Kendaraan dengan Saving Heuristik pada perusahaan Logistik Pihak Ketiga. *Jurnal Teknik Industri* Vol. 8, No. 2, Agustus 2007: 172 – 178