

OPTIMALISASI SISTEM PENGANGKUTAN SAMPAH DI KOTA SEMARANG DENGAN METODE *SEQUENTIAL INSERTION*

Diana Puspita Sari^{1*}, Klara Fitriani Marpaung¹ dan Purnawan Adi Wicaksono¹

¹Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Soedarto, SH - Tembalang, Semarang 50275.

*Email: dianapuspitasari@lecturer.undip.ac.id

Abstrak

Peningkatan volume sampah membuat penanganan sampah untuk pengangkutan dan pengumpulan sampah semakin berat. Keterbatasan sarana dan prasarana terutama truk sebagai alat transportasi untuk mengangkut sampah menyebabkan adanya tumpukan sampah semakin banyak. Salah satu tugas BLH Kota Semarang adalah menjaga kebersihan dengan mengangkut sampah-sampah yang terkumpul di titik tempat pembuangan sementara menuju tempat pembuangan akhir. Saat ini pengangkutan sampah di UPT Wilayah V dilakukan dengan menggunakan truk amroll dengan kapasitas 6 m³ dan truk dump dengan kapasitas 8m³. Penelitian ini bertujuan menentukan rute dan kombinasi truck yang seharusnya digunakan. Penentuan rute ini diharapkan dapat meminimalkan jarak, waktu tempuh dan biaya transportasi serta memaksimalkan kapasitas kendaraan. Kondisi pengangkutan dan pengumpulan sampah dianalogikan sebagai model vehicle routing problem with multiple trips, time windows and intermediate facility. Penentuan kombinasi jumlah truk dan rute kendaraan diselesaikan dengan metode sequential insertion. Hasil dari penelitian ini adalah truk yang digunakan adalah 8 truk amroll dan 2 truk dump. Penghematan biaya yang dikeluarkan selama 5 tahun dengan menerapkan sistem rekomendasi sebesar 8,4%.. Pengangkutan dan pengumpulan sampah dilakukan di setiap TPS dan setiap hari sehingga tidak ada volume sampah yang menumpuk.

Kata kunci: algoritma sequential insertion, pengangkutan, sampah, vehicle routing problem .

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat setiap tahunnya menjadi salah satu faktor yang menentukan jumlah sampah dalam suatu wilayah. Jumlah penduduk memiliki nilai yang sebanding dengan jumlah volume sampah yang dihasilkan di suatu wilayah. Sampah merupakan sesuatu yang tidak digunakan, tidak dipakai, tidak disenangi atau sesuatu yang dibuang yang berasal dari kegiatan manusia dan tidak terjadi dengan sendirinya (Gelbert dkk.,1996). Pertumbuhan penduduk yang semakin tinggi setiap tahunnya dan penataan pemukiman yang kurang baik akan membuat penanganan sampah untuk pengangkutan dan pengumpulan sampah menjadi sulit, untuk itu perlu penanganan sampah yang lebih baik (Yunitasari, 2014). Sampah di Kota Semarang memasuki level darurat, pada penghujung tahun 2017, penduduk Kota Semarang menghasilkan lebih dari 1.200 ton sampah per harinya, angka tersebut meningkat dibandingkan tahun sebelumnya yang disebabkan peningkatan jumlah penduduk di Kota Semarang (Jawa Pos, 2017).

Kurangnya jumlah sarana dan prasarana truk dalam mengangkut sampah di Kota Semarang, mengakibatkan banyak sampah yang menumpuk. Dampak dari tumpukan sampah apabila tidak segera diangkat akan menjadi sumber bau tidak sedap yang dapat berdampak ke Kesehatan. Salah satu tugas BLH Kota Semarang adalah menjaga kebersihan Kota Semarang dengan mengangkut sampah yang terkumpul di suatu lokasi titik tempat pembuangan sementara (TPS) dan selanjutnya akan dibawa ke tempat pembuangan akhir (TPA). Kegiatan pengangkutan berkaitan erat dengan ketersediaan truk pengangkut sampah. Untuk pengangkutan sampah dilakukan dengan menggunakan truk *amroll* dengan kapasitas 6 m³ dan truk *dump* dengan kapasitas 8m³. Volume sampah di Wilayah V memiliki jumlah yang berbeda-beda, ada sama dengan kapasitas container, ada yang lebih besar atau lebih kecil dari kapasitas kontainer. Untuk volume sampah yang kurang dari kapasitas kontainer, akan ditunggu beberapa hari hingga kontainer terisi penuh. Pengangkutan sampah yang akan dioptimalkan dengan 2 cara, yaitu pengangkutan sampah model bak oleh truk *dump* dan model container atau truk *amroll*.

Sistem pengangkutan sampah di kota Semarang saat masih bersifat subjektif oleh pengemudi truk, sehingga rute kurang efektif. Penentuan rute pengangkutan sampah dan jumlah kendaraan yang efektif akan meminimalkan jarak, waktu tempuh, biaya transportasi serta memaksimalkan kapasitas kendaraan yang digunakan.

Penentuan rute kendaraan diawali dan diakhiri di depo. Sebelum menuju depo, kendaraan harus ke TPA, sehingga TPA disebut sebagai *intermediate facility*. *Intermediate facility* adalah fasilitas tambahan dalam membentuk rute yang digunakan untuk membongkar sampah. Penentuan rute dari TPS menuju TPA harus mempertimbangkan jumlah truk. Sampah yang diangkut dalam satu rute tidak melebihi kapasitas kendaraan (Fitria dkk, 2009). Jumlah truk yang digunakan akan mempengaruhi total biaya pengangkutan, sehingga perlu dilakukan pengoptimalan jumlah truk yang digunakan, salah satunya dengan metode heuristik. Metode heuristik lebih menekankan penyelesaian dengan komputasi yang sederhana namun dapat memberikan hasil yang optimal dan mudah dikembangkan untuk menangani pembatas-pembatas yang sulit (Suprayogi, 2007). Metode *sequential insertion* merupakan salah satu metode heuristik yang memiliki kelebihan memilih pelanggan dengan mempertimbangkan posisi pelanggan dalam busur pelayanan yang telah tersedia sehingga diperoleh hasil yang optimal (Abadi dkk., 2014). *Sequential insertion* akan berusaha menghasilkan jumlah kendaraan (tur) sekecil mungkin dengan memanfaatkan kapasitas kendaraan sebanyak mungkin, ini sesuai dengan tujuan dari *vehicle routing problem with multiple trips, time windows and intermediate facility* (VRPMTTWIF) yaitu meminimalkan jumlah kendaraan yang harus disediakan. Penelitian ini bertujuan menentukan jumlah kombinasi truk dan rute yang optimal untuk pengangkutan dan pengumpulan sampah di UPT Wilayah V.

2. METODOLOGI

Obyek penelitian ini adalah Badan Lingkungan Hidup Kota Semarang yang bertugas menjaga kebersihan Kota Semarang. BLH Kota Semarang memiliki 8 Wilayah, penelitian menggunakan data dari UPT Wilayah V yang meliputi Kecamatan Candisari dan Kecamatan Tembalang karena memiliki jumlah TPS yang paling banyak yaitu sebanyak 41 TPS. Penelitian ini digunakan untuk bahan pengambilan keputusan pada kombinasi jumlah truk *amroll* dan truk *dump* yang seharusnya disediakan. Pengolahan data menggunakan software Excel 2013. Data primer diperoleh melalui hasil wawancara dengan Kepala Sub Bagian Tata Usaha UPTD Wilayah V dan observasi untuk mengetahui kondisi nyata di UPT Wilayah V. Data primer meliputi data volume sampah harian, data jumlah truk, data kapasitas truk, dan kecepatan bongkar muat. Data sekunder merupakan data yang diperoleh secara tidak langsung yang berasal dari literatur yang meliputi data kecepatan truk dalam melakukan perjalanan sebesar 40 km/jam (Oktaviani, 2018), jarak dan waktu antar TPS satu dengan TPS lainnya serta dari setiap TPS menuju TPA dan pengumpulan sampah dari TPS menuju TPA.

Vehicle Routing Problem (VRP) merupakan model yang dipakai untuk mendistribusikan barang pada periode waktu tertentu dengan menggunakan sejumlah armada, yang akan mendistribusikan ke beberapa titik yang akan didatangi melalui sebuah jaringan rute tertentu (Bodin dkk, 1983). Rute yang terpilih harus dapat memenuhi permintaan konsumen dengan mempertimbangkan kendala-kendala operasional dalam mendapatkan biaya yang paling optimal (Arlianto dkk, 2017). Penentuan rute menggunakan metode *sequential insertion*, masalah dengan menyisipkan konsumen di antara urutan konsumen yang telah dibentuk guna untuk memperoleh hasil yang maksimal (Abadi dkk., 2014).

Notasi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

V	himpunan semua simpul, dengan 0 adalah UPT Wilayah V (Kecamatan Candisari dan Kecamatan Tembalang) dan X adalah TPA Jatibarang = $\{0, 1, 2, \dots, 41, X\}$
C	himpunan Tempat Pembuangan Sementara (TPS) = $\{1, 2, \dots, 41\}$
E	himpunan rusuk berarah = $\{(i, j) i, j \in V, i \neq j\}$
T	himpunan banyaknya <i>trip</i> = $\{1, 2, \dots, t\}$
K	himpunan rute, diwakili oleh kendaraan dengan kapasitas yang identik = $\{1, 2, \dots, k\}$
$C_{i,j}$	$C_{i,j}$ = jarak dari TPS i ke TPS j
v	$v = 40$ km/jam = kecepatan rata-rata truk

$T_{i,j}$	$T_{i,j}$ waktu perjalanan dari konsumen i ke j ,
d_i	kapasitas sampah pada TPS i
Q	kapasitas sampah dalam satu rute
Q_{maks_a}	kapasitas maksimum dalam satu rute truk <i>amroll</i> adalah $6m^3$
Q_{maks_d}	kapasitas maksimum dalam satu rute truk <i>dump</i> adalah $8m^3$
la	waktu untuk memuat sampah (<i>loading</i>) ke dalam truk <i>amroll</i> adalah 5 menit
ld	waktu untuk memuat sampah ke dalam truk <i>dump</i> adalah 4 menit
ua	waktu untuk membongkar (<i>unloading</i>) sampah dari truk <i>amroll</i> adalah 15 menit
ud	waktu untuk membongkar sampah dari truk <i>dump</i> per $1 m^3$ adalah 2 menit
S_k^t	waktu pelayanan (<i>loading</i> dan <i>unloading</i>) muatan sampah pada <i>trip</i> t dalam rute k
CT	total waktu penyelesaian rute
T_{maks}	waktu maksimal untuk menyelesaikan rute pengangkutan yaitu 7 jam (420 menit)

Variabel keputusan yang digunakan adalah :

$$X_{i,j,k}^t = \begin{cases} 1, & \text{jika truk } k \text{ melakukan perjalanan dari TPS } i \text{ ke TPS } j \text{ pada trip } t \\ 0, & \text{jika sebaliknya} \end{cases}$$

$$XY_{i,k}^t = \begin{cases} 1, & \text{jika terdapat muatan pada TPS } i \text{ yang diangkut oleh kendaraan } k \text{ pada trip } t \\ 0, & \text{jika sebaliknya} \end{cases}$$

Fungsi tujuan dari permasalahan pengangkutan dan pengumpulan sampah adalah meminimumkan total jarak tempuh dari rute perjalanan. Model matematis dari fungsi tujuan dan kendala seperti ditunjukkan pada persamaa (1) s.d (13).

Fungsi tujuan:

$$\text{Meminimumkan } Z = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} C_{i,j} X_{i,j,k}^t \quad (1)$$

Dengan kendala sebagai berikut :

1. Setiap melayani TPS, rute dimulai dari depot.

$$\sum_{j \in C} X_{0,j,k}^1 = 1, \forall k \in K. \quad (2)$$

2. Setiap TPS hanya dilayani tepat satu kali pada satu rute.

$$\sum_{j \in C} \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} X_{i,j,k}^t = 1 \quad \forall j \in C, j \neq i, \quad (3)$$

$$\sum_{i \in C} \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} X_{i,j,k}^t = 1, \forall i \in C, i \neq j. \quad (4)$$

3. Kapasitas dalam truk pada suatu *trip* adalah jumlah dari kapasitas TPS yang telah dilayani. Kapasitas sampah pada suatu *trip* tidak melebihi kapasitas maksimal dalam setiap rute.

$$Q = \sum_{i \in C} d_i Y_{i,k}^t, \quad \forall t \in T, \forall k \in K. \quad (5)$$

$$Q_a \leq 6m^3 \text{ atau } Q_d \leq 8m^3 \quad (6)$$

4. Truk menuju *intermediate facility* untuk membongkar (*unloading*) sampah.

$$\sum_{i \in C} X_{i,X,k}^t = 1, \forall t \in T, \forall k \in K. \quad (7)$$

5. Waktu penyelesaian (CT) rute dihitung dari waktu perjalanan truk ditambah dengan waktu pelayanan (*loading* dan *unloading*) sampah di setiap TPS yang dilayani. Waktu penyelesaian rute tidak melebihi waktu maksimal untuk melakukan rute perjalanan.

$$CT = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{t \in T} T_{i,j} X_{i,j,k}^t + \sum_{t \in T} S_k^t, \quad \forall k \in K. \quad (8)$$

$$CT \leq 420 \text{ menit} \quad (9)$$

6. Rute dapat dimulai dari *intermediate facility* pada *trip* selanjutnya jika waktu maksimal yang disediakan masih mencukupi.

$$\sum_{j \in C} X_{X,j,k}^t = 1, \quad \forall t \in T \setminus \{1\}, \forall k \in K \quad (10)$$

7. Setiap rute diakhiri pada depot dalam keadaan kosong (tanpa muatan sampah).

$$\sum_{t \in T} X_{X,0,k}^t = 1, \forall k \in K. \quad (11)$$

8. Variabel keputusan yang digunakan adalah bilangan biner.

$$X_{i,j,k}^t \in \{0,1\}, \forall k \in K, \forall i,j \in V, i \neq j. \quad (12)$$

$$Y_{i,k}^t \in \{0,1\}, \forall k \in K, \forall i,j \in V, i \neq j. \quad (13)$$

Adapun langkah-langkah pemecahan masalah VRPMTTWIF pada penelitian ini menggunakan metode *sequential insertion* yang diadopsi dari Fitria dkk. (2009) adalah sebagai berikut :

- | | |
|-------------|---|
| Langkah 1, | Mulai dari rute pertama ($k = 1$) dan <i>trip</i> pertama ($t = 1$), tetapkan $Q = 0m^3$. |
| Langkah 2, | Pastikan semua konsumen yang belum dilewati. Jika semua konsumen telah dilewati, lanjutkan ke langkah 10. |
| Langkah 3, | Sisipkan semua konsumen yang belum dilewati pada busur penyisipan yang mungkin pada <i>trip</i> t saat ini. Untuk $t = 1$, busur penyisipan adalah depot (0) dan intermediate facility (X). untuk $t = t + 1$, busur penyisipan yaitu antara X dan X. |
| Langkah 4, | Hitung CT dari setiap penambahan konsumen. Pilih rute yang memiliki waktu CT paling kecil. Jika $CT \leq T_{maks}$, catat di dan hitung $Q = Q + di$, kemudian lanjut ke langkah 5. Jika $CT \geq T_{maks}$, maka lanjut ke langkah 9. |
| Langkah 5, | Jika $Q < Q_{maks}$, lanjutkan ke langkah 6, jika $Q = Q_{maks}$, lanjutkan ke langkah 7 dan jika $Q > Q_{maks}$, lanjut ke langkah 8 |
| Langkah 6, | Perbarui <i>trip</i> dengan konsumen terpilih, kemudian ulangi langkah 2. |
| Langkah 7, | Perbarui <i>trip</i> dengan konsumen terpilih. Buat <i>trip</i> baru ($t = t + 1$), ulangi langkah 1 |
| Langkah 8, | Batalkan pemilihan konsumen terakhir, kemudian ulangi langkah 7 |
| Langkah 9, | Batalkan pemilihan konsumen terakhir. Buat rute baru ($k = k + 1$), ulangi langkah 1 |
| Langkah 10, | Semua konsumen telah terlewati, maka pencarian rute telah selesai |

Kriteria dalam pemilihan konsumen adalah *earliest deadline*, *earliest ready time*, *shortest time window* dan *longest travel time* (Suprayogi & Priyandari, 2008). Berdasarkan karakteristik permasalahan, kriteria yang cocok yang digunakan pada penelitian ini adalah *shortest time window* untuk pemilihan konsumen pertama.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Algoritma *sequential insertion* digunakan untuk mengembangkan solusi dalam penentuan rute kendaraan, dengan cara memperhitungkan pelanggan yang belum terpenuhi kebutuhannya masuk ke dalam rute distribusi selama tidak melebihi horizon perencanaan dan masih terdapat muatan dalam truk sampah. Penelitian ini menggunakan kriteria *shortest time window* yaitu mempertimbangkan waktu penyelesaian (CT) terkecil. TPS yang memiliki kriteria tersebut akan disisipkan di antara depot (0) dan TPA Jatibarang (X). Perhitungan optimasi pengangkutan dan pengumpulan sampah UPT Wilayah V BLH Kota Semarang menggunakan metode *sequential insertion*. Pemilihan TPS yang tepat untuk disisipkan pada busur penyisipan adalah TPS yang memiliki waktu penyelesaian (CT) rute terkecil. Rute yang dimiliki adalah berangkat dari depot menuju TPS kemudian melanjutkan ke TPA langsung tanpa menyisipkan TPS yang lain karena jumlah volume sampah sudah sama dengan kapasitas maksimum kontainer. Hasil perhitungan truk *amroll* dapat dilihat pada Tabel 1. Pembentukan rute untuk truk *dump* berbeda dengan truk *amroll*. Karena volume TPS yang akan diangkut memiliki volume di bawah kapasitas container. Pembentukan rute dengan cara menyisipkan TPS di busur penyisipan dengan kriteria waktu penyelesaian (CT) terkecil. Hasil perhitungan Truk *dump* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1 Hasil Rekap Perhitungan Truk Amroll

Truck Amroll	Rute	CT (menit)	Jarak (km)
1	0 - 20 - X - 17 - X - 18 - X - 19 - X - 19 - X - 19 - X - 19 - X - 0 0 - 23 - X - 22 - X - 13 - X - 15 - X - 24 - X - 24	394,55	169,7
2	- X - 0	369,3	166,2
3	0 - 25 - X - 24 - X - 12 - X - 16 - X - 21 - X - 21 - X - 0	408,45	192,3
4	0 - 3 - X - 2 - X - 3 - X - 5 - X - 7 - X - 0	362,95	175,3
5	0 - 4 - X - 10 - X - 6 - X - 8 - X - 9 - X - 0	388,3	192,2
6	0 - 9 - X - 9 - X - 9 - X - 14 - X - 0	348,8	179,2
7	0 - 1 - X - 1 - X - 1 - X - 11 - X - 0	373,25	195,5

Tabel 2 Hasil Rekap Perhitungan Truk Dump

Truck Dump	Rute	CT (menit)	Jarak (km)
1	0-2-26-22-16-17-X-23-13-14-19-X-8-3-4-18-X-21-15-X-0	385,875	137,16
2	0-20-25-X-5-24-X-12-1-7-X-6-9-X-0	414,75	152,5
3	0-10-X-11-X-0	115,725	45,15

Hasil perhitungan menghasilkan 7 truk *amroll* dan 3 truk *dump* untuk menyelesaikan pengangkutan per hari. Truk *dump* terakhir memiliki utilisasi yang rendah, karena hanya membawa sisa TPS yang belum diambil, sementara biaya untuk satu unit truck *dump* cukup besar. Untuk itu, penelitian ini memaksimalkan kembali rute yang diperoleh dengan 8 truk *amroll* dan 2 truk *dump*. Truk *amroll* tambahan mengambil alih rute truk *dump* dan ditambah dengan mengambil TPS dari truk yang memiliki waktu kerja paling besar. Hasil rute yang dibentuk akan meratakan beban pengemudi. TPS yang diangkut oleh truk *amroll* untuk pengangkutan truk *dump* 3 akan diberi simbol TPS 10D (TPS 10 untuk truk *dump*). Rute baru yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Rekap Perbaikan Perhitungan Truk Amroll

Truck Amroll	Rute	CT (menit)	Jarak (km)
Truck Amroll 1	0 - 20 - X - 17 - X - 18 - X - 19 - X - 19 - X - 19 - X - 0	341,55	147,7
Truck Amroll 2	0 - 23 - X - 22 - X - 13 - X - 15 - X - 24 - X - 24 - X - 0	369,3	166,2
Truck Amroll 3	0 - 25 - X - 24 - X - 12 - X - 16 - X - 21 - X - 0	340,45	160,3
Truck Amroll 4	0 - 3 - X - 2 - X - 3 - X - 5 - X - 7 - X - 0	362,95	175,3
Truck Amroll 5	0 - 10 - X - 6 - X - 8 - X - 9 - X - 0	317,7	158,46
Truck Amroll 6	0 - 9 - X - 9 - X - 9 - X - 14 - X - 0	348,8	179,2
Truck Amroll 7	0 - 1 - X - 1 - X - 1 - X - 11 - X - 0	373,25	195,5
Truck Amroll 8	0 - 10D - X - 11D - X - 21 - X - 19 - X - 4 - X - 0	358,3	172,2
Truck Dump 1	0-2-26-22-16-17-X-23-13-14-19-X-8-3-4-18-X-21-15-X-0	385,875	137,16
Truck Dump 2	0-20-25-X-5-24-X-12-1-7-X-6-9-X-0	414,75	152,5

Hasil Perhitungan Biaya

Analisis perhitungan biaya dilakukan untuk mengetahui jumlah biaya yang harus dikeluarkan oleh UPT Wilayah V selama 5 tahun. Komponen biaya untuk pengangkutan dan pengumpulan sampah meliputi biaya *maintenance*, biaya tenaga kerja, biaya bahan bakar dan biaya depresiasi. Tenaga kerja yang dibutuhkan untuk truk *amroll* adalah 1 orang dan truk *dump* adalah 3 orang. Gaji tenaga kerja untuk pengangkutan dan pengumpulan sampah setara dengan UMR Kota Semarang. Menurut Ratri (2012) Konsumsi 1 liter solar untuk truk adalah 7 km. harga 1 liter solar adalah Rp 5.150. Biaya *maintenance* diperoleh dari biaya *maintenance* truk dikali jumlah truk kali 5 tahun. Biaya bakar diperoleh dari total jarak 1 rute dibagi 7 km dikali biaya bahan bakar per liter nya dan dikali lima tahun. Biaya tenaga kerja diperoleh dari jumlah tenaga kerja dikali UMR dalam sebulan dibagi 30 hari selama lima tahun. Biaya depresiasi diperoleh dari harga beli dikurangi nilai sisa (20% dari harga beli) dibagi *lifetime* barang tersebut. Perhitungan biaya depresiasi untuk total biaya selama lima tahun, biaya depresiasi diperoleh dari biaya depresiasi dikali jumlah kendaraan. Hasil perhitungan total biaya sistem rekomendasi selama lima tahun dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4 Perhitungan Biaya investasi Sistem Rekomendasi selama 5 tahun

Komponen Biaya	Biaya 8 Truk Amroll	Biaya 2 Truk Dump
Biaya <i>Maintenance</i>	Rp 320.000.000	Rp 100.000.000
Biaya Tenaga Kerja	Rp 1.108.842.000	Rp 831.631.500
Biaya Bahan Bakar	Rp 1.595.988.306	Rp 388.920.257
Biaya Depresiasi	Rp 2.376.000.000	Rp 436.800.000
Total Biaya	Rp 5.400.830.306	Rp 1.757.351.757

Selanjutnya dilakukan, perbandingan sistem rekomendasi terhadap system yang ada saai ini. Data yang digunakan adalah data produksi sampah dalam sehari setiap TPS, yang tidak berubah secara signifikan terhadap waktu di UPT Wilayah V. Hasil perbandingan dapat dilihat pada Tabel 5

Tabel 5 Perbandingan terhadap Sistem yang Ada

Kriteria	Sistem yang Ada	Model
Volume sampah tidak terangkut setiap hari	40,5 m ³	0 m ³
Kefektifan volume sampah terangkut	85,73 %	100 %
Jumlah kendaraan yang digunakan	9 <i>amroll</i> & 2 <i>dump</i>	8 <i>amroll</i> & 2 <i>dump</i>
Jarak Tempuh per hari	1514,1 km	1644,22 km
Total Biaya Perjalanan per hari	Rp 7.681.828.375	Rp 7.158.182.063
Rute Pengangkutan dan Pengumpulan Sampah	Berdasarkan UPT Wilayah V pada hari yang sama	Berdasarkan hasil dari algoritma <i>sequential insertion</i>

Kelebihan yang diperoleh dari model usulan, semua sampah dapat terangkut, sedangkan pada sistem yang ada sebanyak 40,5 m³ sampah tidak terangkut. Tingkat keefektifan volume sampah yang terangkut dari sistem yang ada adalah 85,73 %, sementara sistem rekomendasi dapat mengangkut sampah 100 %. Kendaraan yang digunakan pada sistem yang berjalan adalah 9 truk *amroll* dan 2 truk *dump*, untuk model usulan membutuhkan 8 truk *amroll* dan 2 truk *dump*. Pada sistem yang berjalan saat ini truk *dump* hanya digunakan untuk mengangkut sampah yang berlebih dari TPS, sedangkan pada sistem rekomendasi truk *dump* membantu kerja truk *amroll* yang mengangkut volume sampah yang kurang dari kapasitas kontainer dan volume sampah yang berlebih dari kapasitas kontainer. Truk *dump* pada sistem yang ada hanya melakukan 1 *trip* sedangkan pada sistem rekomendasi penggunaan truk *dump* dimaksimalkan sesuai jam kerja sehingga jumlah *trip* pada sistem rekomendasi adalah 4 *trip*. Jarak tempuh perhari pada sistem yang ada adalah 1514,1 km dan pada sistem rekomendasi adalah 1644,22 km. Rute pengiriman pada sistem yang ada didasarkan pada jadwal UPT Wilayah V sedangkan model melakukan perhitungan rute dengan menggunakan metode *sequential insertion* untuk menentukan rute yang optimal.

Total biaya yang harus dikeluarkan selama 5 tahun dengan sistem rekomendasi lebih rendah dibandingkan dengan sistem yang ada. Sistem rekomendasi dapat menghemat biaya sebesar 8,47 %. Untuk menerapkan model rekomendasi, UPT Wilayah V harus mengurangi satu jumlah truk *amroll* karena dengan adanya 8 truk *amroll* sudah mampu mengangkut semua sampah yang ada. Satu unit truk dapat diberikan kepada Wilayah UPT lain yang membutuhkan. Sistem rekomendasi dapat digunakan apabila volume sampah tetap atau tidak berubah secara signifikan terhadap waktu. Perubahan volume sampah dipengaruhi oleh laju pertumbuhan penduduk. Perubahan volume sampah yang signifikan akan mempengaruhi sistem pengangkutan sampah seperti jumlah kendaraan, jumlah *trip* dan rute, urutan node rute dan waktu pelayanan tiap TPS. Sistem rekomendasi diperoleh dari data volume sampah harian melalui observasi selama enam bulan. Oleh karena itu, sistem ini akan dievaluasi setiap enam bulan sekali berdasarkan perubahan volume sampah.

4. KESIMPULAN

Untuk pengangkutan sampah yang dilakukan setiap hari tanpa adanya volume sampah menumpuk, UPT Wilayah V direkomendasikan memiliki 8 truk *amroll* dengan kapasitas 8 m³ dan 2 truk *dump* dengan kapasitas 6 m³. Biaya yang dapat dihemat dengan menerapkan sistem rekomendasi adalah Rp 523.646.323 untuk 5 tahun. Sistem rekomendasi dapat menghemat biaya sebesar 8,47 %. Pada model rekomendasi, UPT Wilayah V cukup mengoperasikan 8 truk *amroll* dan sudah dapat mengangkut keseluruhan supply. Satu truk *amroll* yang tidak dipakai dapat diberikan kepada Wilayah UPT lain yang membutuhkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, C., Susanty, S., and Adianto, H., (2014), Penentuan rute kendaraan distribusi produk roti menggunakan metode nearest neighbour dan metode sequential insertion. *Jurnal online Institut Teknologi Nasional*, 01(04), pp.152-163
- Angelelli, E. and Speranza, M. G., (2002), The periodic vehicle routing problem with intermediate facilities. *European Journal of Operational Research*, 137(02), pp.233-247.
- Arlianto, J.A., Suparno, and Siswanto, N., (2017), Solving vehicle routing problem with classical heuristics and metaheuristics : A Review. *4th Annual Conference in Industrial and Sistem Engineering*, pp.244-255.
- 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*, 11(2), pp.63 - 211.
- Fitria, L., Susanty, S., and Suprayogi, (2009), Penentuan rute truk pengumpulan pengangkutan sampah di Bandung. *Jurnal Teknik Industri*, 2(1), pp.51-60.
- Gelbert, M., Dwi, P., and Suprihatin, A. (1996). *Konsep Pendidikan Lingkungan Hidup dan "Wall Chart"* . Malang: Buku Panduan Pendidikan Lingkungan Hidup, PPPGGT/VEDC.
- Jawa Pos. (2017). <https://www.jawapos.com/read/2017/11/11/167887/darurat-semarang-hasilkan-1200-ton-sampah-dalam-sehari>. Diakses 11 Mei 2018.
- Ratri (2012). Optimasi rute pengangkutan sampah Kota Banjarbaru dengan sistem informasi geografis (SIG). *Jurnal Teknik Lingkungan*. pp.45 - 55
- Suprayogi and Priyandari, Y., (2008), Algoritma sequential insertion untuk memecahkan vehicle routing problem dengan multiple trips, time windows dan simultaneous pickup delivery. *Performa*, 7(1), 88-96.
- Suprayogi., (2007), Teknik local search untuk pemecahan vehicle routing problem with multiple trips and time window. *Jurnal Teknik dan Manajemen Industri*, 23(3), pp.57 - 75.
- Yunitasari, A., (2014), Optimalisasi rute pengangkutan sampah di Kabupaten Sleman menggunakan metode saving matrix. *Jurnal Online Universitas Negeri Yogyakarta*, pp.132 - 147