

OPTIMASI SISTEM PENGANGKUTAN SAMPAH DI KOTA YOGYAKARTA DENGAN MODEL *VEHICLE ROUTING PROBLEM* MENGGUNAKAN ALGORITMA *SEQUENTIAL INSERTION*

Eminugroho R., Dwi Lestari

Jurusan Pendidikan Matematika FMIPA UNY

Jl. Colombo No. 1 Yogyakarta

e-mail: eminugroho@uny.ac.id

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah membentuk model *vehicle routing problem* (VRP) untuk pengangkutan sampah di Kota Yogyakarta, menyelesaikan model yang diperoleh menggunakan algoritma *sequential insertion*, selanjutnya membuat bahasa pemrograman *Macro Excel* untuk mensimulasikan permasalahan. Kondisi pengangkutan sampah dapat dianalogikan dengan VRP dengan menambahkan *intermediate facility* pada akhir rute, yang dalam hal ini adalah Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Penentuan rute pengangkutan sampah diselesaikan dengan algoritma *sequential insertion*. Algoritma ini merupakan suatu metode untuk memperoleh rute perjalanan dengan cara memperbarui node yang belum ditugaskan dengan menyisipkan diantara node yang sudah ditugaskan. Berdasarkan 22 TPS yang disimulasikan dengan *Macro Excel*, diperoleh 4 tur jika diberikan panjang horizon perencanaan adalah 3 jam, dan diperoleh 3 tur jika diberikan panjang horizon perencanaan adalah 4 jam.

Kata kunci: *vehicle routing problem*, *intermediate facility*, algoritma *sequential insertion*

Abstract

The purposes of this study were to build a model for vehicle routing problem (VRP) for waste transportation in Yogyakarta, solve the model obtained using sequential insertion algorithm, then create an Excel Macro programming language to simulate the problem. Waste transportation conditions can be analogous to the VRP by adding intermediate facility at the end of the route, which in this case is the landfill (TPA). To determine waste transportation solved by sequential insertion algorithm. This algorithm is a method to obtain a travel route by updating the node that has not been assigned by inserting between the nodes that have been assigned. Based on 22 TPS simulated with Macro Excel, obtained 4 tours if given planning horizon length is 3 hours, and gained 3 tours if given planning horizon length is 4 hours.

Keywords: vehicle routing problem, intermediate facility, sequential insertion algorithm

PENDAHULUAN

Sampah merupakan hal yang telah menjadi bagian dari kehidupan sehari-hari. Berdasarkan Peraturan Daerah Kota Yogyakarta No. 18 tentang Pengelolaan Kebersihan, walikota Yogyakarta telah mewajibkan pada instansi yang bertanggung jawab terhadap pengawasan pengelolaan sampah. Kegiatan

monitoring ini pun mempunyai banyak kendala. Salah satunya adalah kurangnya prasarana truk pengangkut sampah yang mengakibatkan sampah menumpuk di Tempat Pembuangan Sementara (TPS) tertentu.

Sistem pengangkutan sampah di Kota Yogyakarta dibagi menjadi dua, yaitu sistem pengangkutan dari Kelurahan/Kecamatan

(KK) ke TPS dan dari TPS ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA). TPS sendiri dibagi menjadi tiga jenis, yaitu depo, *container*, dan bangunan tetap berukuran 3m³.

Salah satu TPA terbesar di Provinsi DIY adalah TPA Piyungan. TPA ini mampu menampung sampah-sampah kiriman dari Kota Yogyakarta, Kabupaten Bantul dan Kabupaten Sleman. Berdasarkan data dari Badan Lingkungan Hidup (BLH) Kota Yogyakarta, pada tahun 2011 rata-rata volume sampah di Kota Yogyakarta 180-200 ton per hari. Pada tahun 2012, rata-rata volume sampah meningkat menjadi 230-250 ton per hari. Mengingat rata-rata pertumbuhan jumlah penduduk Kota Yogyakarta sebesar 0,91% per tahun, dapat dipastikan volume sampah yang dihasilkan dari Kota Yogyakarta juga akan mengalami peningkatan pada tahun 2013. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu usaha untuk memaksimalkan volume sampah yang bisa diangkut ke TPA dengan keterbatasan sarana yang ada dan keterbatasan waktu angkut (jam kerja petugas pengangkut) serta bagaimana meminimumkan biaya bahan bakar dengan memperbaiki rute pengangkutan sampah.

Selama ini pengangkutan sampah di Kota Yogyakarta dilakukan 2-3 kali per minggu per TPS. Pada penelitian ini akan dilakukan perbaikan rute pengangkutan sehingga sampah di setiap TPS dapat diambil setiap

hari. Sehingga volume sampah yang dapat terangkut ke TPA dapat dimaksimalkan.

Permasalahan distribusi melibatkan beberapa pertimbangan (Bodin *et al*, 1983). Meliputi rute kendaraan, jenis kendaraan angkut dan penjadwalan angkut. Permasalahan ini kemudian dikenal dengan *Vehicle Routing Problem* (VRP).

Model VRP merupakan permasalahan bagaimana menentukan sebuah rute yang terdiri atas beberapa lokasi tujuan. Lokasi tujuan tersebut tersebar secara geografis dan memiliki jarak yang berbeda-beda. Akan disusun sebuah rute kunjungan kendaraan yang berawal dari depot (dalam hal ini *pool* truk pengangkut sampah) dan akan berakhir di depot kembali. Tujuannya adalah untuk meminimumkan total jarak dari semua rute. (Nallusamy *et al*, 2009).

Terdapat beberapa metode penyelesaian VRP dengan tujuan untuk meminimumkan total jarak, antara lain menggunakan Algoritma Floyd-Warshall (Shin dan Shin, 2006), Algoritma Dijkstra (Schulz *et al*, 2000), dan Algoritma Koloni Lebah (Theodric *et al*, 2011). Sementara, Himmawati dan Eminugroho (2012) menyelesaikan VRP menggunakan Algoritma Koloni Semut untuk penentuan rute angkutan sampah. Kelemahan metode-metode ini adalah belum mempertimbangkan kapasitas angkut kendaraan, yang juga merupakan faktor penentu pengoptimalan distribusi.

Angelelli (2002) menyatakan perlunya *intermediate facility* sebagai fasilitas tambahan dalam pembentukan rute. Secara khusus untuk rute pengangkutan, fasilitas ini merupakan suatu tempat dimana kendaraan dapat mengangkut (*loading*) atau membongkar (*unloading*) muatan. Untuk kasus pengangkutan sampah, kendaraan yang masih belum bermuatan meninggalkan depot dan mulai mengangkut sampah dari beberapa TPS. Ketika muatan pada kendaraan telah mencapai batas maksimal, maka kendaraan akan menuju ke *intermediate facility* untuk membongkar muatannya (dalam hal ini adalah TPA). Selanjutnya, kendaraan akan memulai pengangkutan kembali dan seterusnya hingga jam kerja selesai.

Permasalahan VRP dengan *intermediate facility* dapat diselesaikan dengan algoritma *sequential insertion* (Tung dan Pinoi, 2000). Tujuan penelitian ini adalah membentuk model *vehicle routing problem* untuk pengangkutan sampah di Kota Yogyakarta, menyelesaikan model dengan algoritma *sequential insertion*, dan membuat bahasa pemrograman *Macro Excel* untuk mensimulasikan masalah sehingga diperoleh rute distribusi pengangkutan sampah yang optimal. Metode ini akan diterapkan dengan data yang diperoleh dari BLH Kota Yogyakarta.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur &

studi lapangan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan mengumpulkan informasi baik dari buku atau jurnal yang berkaitan dengan metode *sequential insertion* dan menerapkannya untuk menentukan solusi optimal rute pengangkutan sampah. Data primer akan diambil dari BLH Kota Yogyakarta. Sedangkan data sekunder diambil dari jurnal maupun buku yang relevan dengan pemecahan permasalahan. Adapun tahapan rincinya meliputi: a) identifikasi masalah; b) pengumpulan data dan informasi yang relevan dengan masalah yang dihadapi; c) pembentukan asumsi dasar sebagai acuan untuk simplifikasi atau pembatasan masalah; d) formulasi masalah dengan deskripsi matematis; e) analisis untuk mencari solusi matematis; dan f) interpretasi solusi & validasi model.

Langkah-langkah tersebut dilakukan berulang-ulang untuk melakukan validasi model dan untuk memperoleh hasil yang realistis. Tahapan akhir adalah kesimpulan untuk pengambilan keputusan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model *Vehicle Routing Problem* pada Penentuan Rute Pengangkutan Sampah

Sistem Pengangkutan sampah di Kota Yogyakarta dibagi menjadi dua, yaitu sistem pengangkutan dari Kelurahan/ Kecamatan (KK) ke Tempat Pembuangan Sementara (TPS) dan dari TPS ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA). TPS sendiri dibagi menjadi tiga

jenis, yaitu depo, *container*, dan bangunan tetap. Untuk pengambilan sampah dari depo maupun *container*, hanya bisa sekali jalan untuk masing-masing kendaraan pengangkut. Sementara untuk pengambilan sampah dari tempat yang berupa bangunan tetap dapat dilakukan di beberapa lokasi. Jadi, pada penelitian ini, hanya akan dibahas untuk rute pengangkutan sampah dari TPS yang berupa bangunan tetap.

Untuk VRP pada pengangkutan sampah, didefinisikan depot merupakan lokasi *pool* truk sampah, pelanggan untuk menyatakan TPS (dipilih yang berupa bangunan tetap), fasilitas antara untuk menyatakan TPA (yaitu TPA Piyungan), kendaraan merupakan truk pengangkut sampah, dan horizon perencanaan untuk menyatakan jam kerja petugas pengangkut sampah. Pada penelitian ini, didefinisikan tur untuk menyatakan urutan kunjungan dari suatu kendaraan yang berangkat dari depot ke beberapa TPS dan kembali lagi ke depot. Sedangkan rute merupakan urutan kunjungan suatu kendaraan yang berangkat dari depot dan berakhir di suatu fasilitas antara. Sehingga, suatu tur dapat terdiri dari satu atau lebih rute. Waktu penyelesaian tur harus kurang dari horizon perencanaan.

Depot merupakan lokasi kendaraan berangkat dan kembali, setelah menyelesaikan pelayanan selama horizon perencanaan.

Kendaraan akan melakukan perjalanan ke sejumlah TPS. Waktu pemuatan per TPS dinotasikan dengan m , tergantung jumlah muatan. Jumlah muatan pada tiap TPS i dinotasikan dengan q_i , dan diasumsikan tidak melebihi kapasitas kendaraan, Q .

Jika kapasitas kendaraan telah tercukupi, maka kendaraan akan menuju ke fasilitas antara untuk melakukan pembongkaran muatan, yang untuk selanjutnya merupakan lokasi awal untuk memulai rute baru apabila horizon perencanaan masih memenuhi. Waktu yang diperlukan untuk pembongkaran muatan dinotasikan dengan b , tergantung dari jumlah muatan yang dibongkar. Pada penelitian ini, diasumsikan jumlah fasilitas antara adalah tunggal. Kapasitas kendaraan diasumsikan homogen, dengan kecepatan masing-masing kendaraan sama dan tetap. Waktu antar lokasi dinyatakan dengan $\tau[i, j]$, menunjukkan waktu perjalanan kendaraan antara lokasi i ke lokasi j , dengan $i, j = 0, \dots, n+1$ (0 untuk menyatakan depot; $1, \dots, n$ menyatakan TPS; $n+1$ adalah fasilitas antara).

Didefinisikan pula notasi-notasi yang digunakan yaitu:

JT	jumlah tur
t	indeks tur, $t = 1, \dots, JT$
$JR[t]$	jumlah rute dalam tur t
r	indeks rute, $r = 1, \dots, JR[t]$

$JP[t, r]$	jumlah posisi dalam tur t rute r
p	indeks posisi
$L[t, r, p]$	lokasi pada tur t rute r posisi p
$\alpha[t, r, p]$	waktu kedatangan pada lokasi yang terdapat dalam tur t rute r posisi p
$\beta[t, r, p]$	waktu keberangkatan pada lokasi yang terdapat dalam tur t rute r posisi p
$\mu[t, r, p]$	jumlah muatan pada tur t rute r posisi p
$\tau[L[t, r, p]]$	waktu perjalanan antara lokasi pada tur t rute r posisi p dengan lokasi pada tur t rute r posisi s
$\gamma[t, r]$	waktu penyelesaian tur t rute r
HP	Horison perencanaan
JK	Jumlah kendaraan
$T\gamma$	Total waktu penyelesaian
w_{JK}	bobot kepentingan untuk meminimumkan jumlah kendaraan
$w_{T\gamma}$	bobot kepentingan untuk meminimumkan total waktu penyelesaian

Secara umum, penentuan rute pengangkutan sampah adalah meminimumkan jumlah kendaraan yang digunakan dan meminimumkan total waktu penyelesaian.

Sehingga fungsi tujuan dari model ini adalah meminimumkan

$$Z = \{w_{JK}JK, w_{T\gamma}T\gamma\} \quad (1)$$

Untuk mencapai fungsi tujuan, diperlukan beberapa fungsi kendala sesuai dengan kasus yang sedang diteliti. Oleh karena itu, pada kasus pengangkutan sampah ini, semua kendaraan harus berangkat dari depot, maka diperlukan suatu jaminan keadaan tersebut. Untuk menjamin bahwa keberangkatan kendaraan pertama kali adalah dari depot, maka dapat dituliskan dalam persamaan berikut.

$$L[t, r, 1] = i \quad (2)$$

dengan $t = 1, \dots, JT; r = 1; i = 0$

Selanjutnya, jika kapasitas kendaraan telah tercukupi, maka kendaraan akan mengunjungi fasilitas antara untuk melakukan pembongkaran muatan. Untuk mendeskripsikan keadaan tersebut, dituliskan dalam persamaan berikut.

$$L[t, r, JP[t, r] - 1] = i \quad (3)$$

dengan $t = 1, \dots, JT; r = 1, \dots, JR[t]; i = n + 1$.

Jika kendaraan melakukan beberapa rute, maka kendaraan akan memulai rute berikutnya dengan berangkat dari fasilitas antara, sehingga secara matematis ditulis:

$$L[t, r - 1, JP[t, r - 1]] = i \quad (4)$$

dengan $t = 1, \dots, JT; r = 2, \dots, JR[t]; i = n + 1$.

Untuk menjamin bahwa kendaraan mengakhiri rute di fasilitas antara, dapat dituliskan sebagai berikut

$$L[t, r, 1] = i \quad (5)$$

dengan $t = 1, \dots, JT; r = 2, \dots, JR[t]; i = n + 1$

Kendaraan akan mengakhiri rute di fasilitas antara, tetapi akan mengakhiri tur di depot, sehingga diperoleh

$$L[t, r, JP[t, r]] = i \quad (6)$$

Dengan $t = 1, \dots, JT; r = 1, \dots, JR[t]; i = 0$.

Karakteristik VRP adalah melakukan kunjungan di setiap titik hanya satu kali. Untuk itu, agar terdapat jaminan bahwa masing-masing TPS hanya dikunjungi satu kali, maka dapat ditulis:

$$L[t, r, p] = i \quad (7)$$

dengan $L[t, r, p] \neq L[t, r, s], t = 1, \dots, JT;$

$r = 1, \dots, JR[t]; k, m = 2, JP[t, r] - 2;$

$i = 1, \dots, n$.

Oleh karena setiap kendaraan memulai keberangkatan untuk pertama kali adalah dari depot, maka waktu yang digunakan dimulai dari 0,

$$\beta[t, r, p] = 0 \quad (8)$$

dengan $t = 1, \dots, JT; r = 1; p = 1$

Waktu berangkat suatu kendaraan dari suatu lokasi dihitung dari waktu kedatangannya ditambah dengan waktu pemuatan sampah di lokasi tersebut, sementara waktu pemuatan tergantung dari jumlah muatan pada masing-masing lokasi. Untuk itu, ditulis:

$$\beta[t, r, p] = \alpha[t, r, p] + mq[L[t, r, p]] \quad (9)$$

dengan $t = 1, \dots, JT; r = 1, \dots, JR[t]; p = 2$

Sementara untuk lokasi di fasilitas antara, waktu keberangkatan tergantung dari waktu kedatangan dan waktu yang dibutuhkan untuk membongkar muatan, sehingga:

$$\beta[t, r, p] = \alpha[t, r, p] + b\mu[t, r] \quad (10)$$

dengan $t = 1, \dots, JT; r = 1, \dots, JR[t]; p = JP[t, r] - 1$

Di lain pihak, waktu kedatangan suatu kendaraan di suatu lokasi adalah waktu keberangkatan dari lokasi sebelumnya ditambah dengan waktu perjalanan kendaraan dari lokasi sebelumnya

$$\alpha[t, r, p + 1] = \beta[t, r, p] + \tau[L[t, r, p], L[t, r, p + 1]] \quad (11)$$

dengan $t = 1, \dots, JT; r = 1, \dots, JR[t]; p = 1, \dots, JP[t, r] - 1$

Berikutnya, berkenaan dengan total jumlah muatan ditulis dengan

$$\mu[t, r] = \sum_{p=2}^{JP[t, r]-2} q[L[t, r, p]] \quad (12)$$

dengan $t = 1, \dots, JT; r = 1, \dots, JR[t]$

dan jumlah muatan yang dibawa oleh kendaraan harus kurang dari kapasitas kendaraan, sehingga

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

Sementara, waktu penyelesaian tur dihitung dari waktu perjalanan kendaraan, ditambah waktu untuk pemuatan dan waktu untuk pembongkaran:

$$\gamma[t] = \sum_{r=1}^{JR[t]} \sum_{p=1}^{JP[t, r]-1} \tau[L[t, r, p], L[t, r, p + 1]] + m \sum_{r=1}^{JR[t]} \sum_{k=2}^{JP[t, r]-2} q[L[t, r, p]]$$

$$+b \sum_{r=1}^{JR[t]} \mu[t, r] \quad (14)$$

dan waktu penyelesaian tur ini tidak boleh lebih dari horizon perencanaan, sehingga

$$\gamma[t] \leq HP \quad (15)$$

Jadi, untuk keseluruhan tur yang terbentuk, diperoleh total waktu penyelesaian adalah

$$T\gamma = \sum_{t=1}^{JT} \gamma[t] \quad (16)$$

jumlah kendaraan sama dengan jumlah tur:

$$JK = JT \quad (17)$$

Persamaan (1) – (17) disebut sebagai model matematika penentuan rute pengangkutan sampah. Setelah diperoleh data-data yang diperlukan dari BLH Kota Yogyakarta, tahap yang akan dilaksanakan adalah penyelesaian model dengan algoritma *sequential insertion*.

Penyelesaian Model dengan Algoritma Sequential Insertion

Pada penelitian ini, akan dibahas untuk 22 TPS terlebih dahulu yang tersebar di wilayah Kota Yogyakarta. Beberapa hal berikut yang harus diinput untuk diselesaikan dengan *sequential insertion*: 1) Jarak antar TPS, jarak TPS dengan TPA, jarak TPS dengan depo dan jarak depo dengan TPA; 2) Berdasarkan data jarak yang diperoleh, selanjutnya dicari waktu perjalanannya, dengan asumsi kecepatan kendaraan konstan adalah 40 km/jam; 3) Volume masing-masing TPS; 4) Waktu yang dibutuhkan untuk *loading* dan *unloading* sampah,

diasumsikan untuk 1 m³ sampah diperlukan waktu 2 menit; 5) Durasi kerja yang diberikan kepada petugas (panjang horizon perencanaan) adalah 3 jam dan 4 jam; dan 6). Kendaraan yang tersedia adalah 5 truk dengan kapasitas masing-masing truk adalah 6 m³.

Untuk penelitian ini, diasumsikan kecepatan kendaraan homogen, dan terjadi kekontinuan rute. Artinya setelah kendaraan selesai mengunjungi satu node akan langsung menuju node berikutnya. Notasi N0 untuk menyatakan depot (*pool* truk pengangkut sampah) dan N23 untuk menyatakan TPA. Tabel 1 menunjukkan TPS yang diteliti beserta volumenya.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam algoritma *sequential insertion* adalah (Fitria dkk, 2009): 1) Tetapkan semua node dengan status belum ditugaskan; 2) Mulai dengan tur yang pertama $t = 1$ dan rute pertama $r = 1$; 3) Untuk setiap node yang belum ditugaskan, sisipkan posisi penyisipan antara depot dan *intermediate facility*. Pilih node yang terbaik; 4) Jika semua node telah ditugaskan, maka berhenti. Jika tidak, lanjut langkah 5; 5) Untuk setiap node yang belum ditugaskan, sisipkan $i \in N$ pada tiap lokasi penyisipan yang mungkin pada rute r ; 6) Pilih node dan lokasi penyisipan pada rute r yang memberikan waktu penyelesaian terkecil; 7) Bentuk rute tambahan baru, $r = r + 1$. Kembali ke Langkah 1; 8) Jika

Tabel 1. Volume Masing-Masing TPS

Notasi	Lokasi TPS	Volume (m ³)
N1	Pasar Serangan (Jalan RE Martadinata)	2
N2	Pabrik kulit (Jln Ki Mangunsarkoro)	6
N3	Jalan Cantel	3
N4	Jalan Cantel Baru	1
N5	Jalan Gajah	3
N6	LP Wirogunan, Jalan Tamsis	6
N7	Jalan Bausasran, Danurejan	1
N8	Kricak	4
N9	jalan C. Simanjuntak	1
N10	jalan am sangaji	2
N11	jalan nyoman oka	1
N12	jalan krasak	3
N13	jalan prof dr.Ir.Yohanes	1
N14	jalan sagan	2
N15	jalan suroto	1
N16	jalan atmosukarto	2
N17	Jalan Argolobang, Baciro	4
N18	jalan wardani	1
N19	jalan dr wahidin (UKDW)	1
N20	jamsostek (jl.urip sumoharjo)	1
N21	superindo (jalan solo)	2
N22	jalan pasar kembang	5

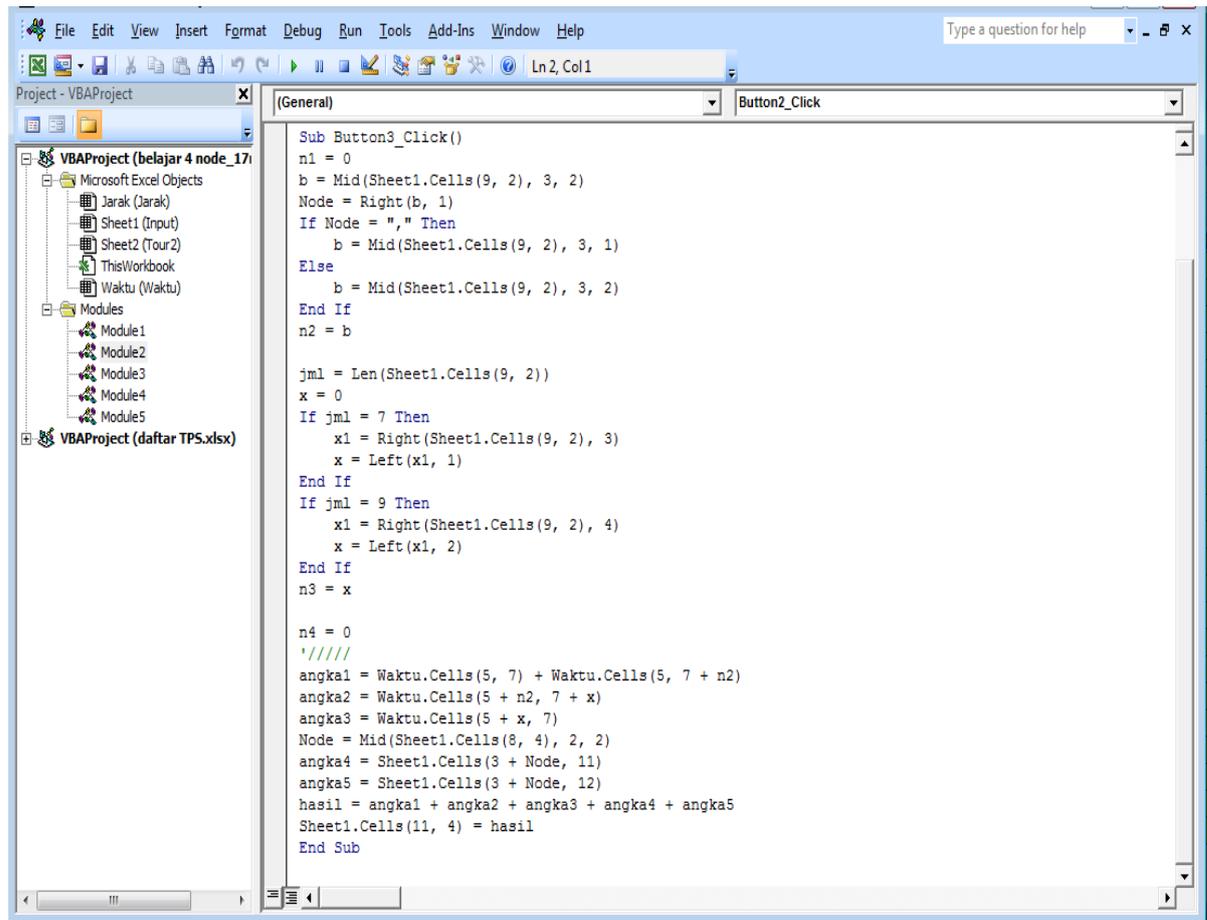
Sumber: BLH Kota Yogyakarta

penyisipan layak, lanjut ke langkah 9, jika tidak ke langkah 10; 9) Pilih node yang memberikan penyisipan dengan total waktu penyelesaian terkecil. Kembali ke Langkah 4; 10) Batalkan pembentukan rute tambahan pada tur ini, kembalikan ke tur semula. Lanjutkan ke langkah 11; dan 11) Tambahkan tur baru $t = t + 1$ dan rute pertama $r = 1$. Kembali ke Langkah 3.

Penyelesaian *sequential insertion* menggunakan program *Macro Excel*, program ini memungkinkan output tiap langkah dari

sequential insertion. Gambar 1 merupakan bahasa pemrograman *Macro Excel* untuk Langkah 1-3. Berdasarkan *running* program, diperoleh rute untuk durasi kerja petugas (panjang horizon perencanaan) adalah 3 jam (Tabel 2) dan rute untuk durasi kerja petugas (panjang horizon perencanaan) adalah 4 jam (Tabel 3).

Total waktu penyelesaian untuk setiap tur yang terbentuk pada Tabel 2 maupun Tabel 3 telah dihitung berdasarkan waktu perjalanan antarnode, waktu untuk *loading*



Gambar 1. Bahasa Pemrograman untuk *Sequential Insertion* Langkah 1-3

Tabel 2. Rute untuk Durasi Kerja Petugas (Panjang Horizon Perencanaan) adalah 3 jam

Tur	Rute	Total waktu (menit)
1	N0-N20-N17-N4-N23-N5-N19-N13-N18-N23-N3-N23-N0	173,775
2	N0-N15-N11-N7-N21-N23-N9-N14-N16-N23-N22-N23-N0	158
3	N0-N12-N10-N23-N1-N8-N23-N0	176,2
4	N0-N2-N23-N6-N23-N0	112,2

Tabel 3. Rute untuk Durasi Kerja Petugas (Panjang Horizon Perencanaan) adalah 4 jam

Tur	Rute	Total waktu (menit)
1	N0-N20-N17-N4-N23-N5-N19-N13-N18-N23-N3-N15-N7-N11-N23-N22-N23-N0	233,975
2	N0-N9-N14-N21-N23-N1-N10-N16-N23-N6-N23-N0	216,25
3	N0-N12-N10-N23-N12-N23-N2-N23-N8-N23-N0	223,05

sampah, dan waktu untuk *unloading* di TPA. Tabel 2 menunjukkan bahwa jika durasi kerja petugas pengangkut sampah (panjang horizon perencanaan) dibatasi hanya 3 jam, maka diperoleh 4 tur, artinya diperlukan 4 truk untuk menyelesaikan pengangkutan sampah. Jika durasi kerja (panjang horizon perencanaan) ditambah sehingga menjadi 4 jam, maka hanya dibutuhkan 3 truk untuk menyelesaikan pekerjaannya, seperti tampak pada Tabel 3. Untuk perubahan waktu total perjalanan, maka akan ada perubahan jumlah kendaraan yang digunakan. Semakin lama total waktu perjalanan yang diberikan, maka semakin sedikit jumlah kendaraan yang dibutuhkan.

KESIMPULAN

Telah diperoleh model *vehicle routing problem* untuk pengangkutan sampah di Kota Yogyakarta. Selanjutnya dilakukan pengolahan data dari BLH Kota Yogyakarta menggunakan algoritma *sequential insertion*. Berdasarkan 22 TPS yang disimulasikan dengan *Macro Excel*, diperoleh 4 tur jika diberikan panjang horizon perencanaan adalah 3 jam, dan diperoleh 3 tur jika diberikan panjang horizon perencanaan adalah 4 jam.

DAFTAR PUSTAKA

Angelelli, E., & Speranza, M.G. 2002. The periodic vehicle routing problem with

intermediate facilities. *European Journal of Operational Research*, 233-247.

Bodin, L., Golden, B. M., Assad, A., & Ball, M. 1983. Routing and scheduling of vehicles and crews: the state of the art. *Computer and Operations Research*, 63-211.

Fitria, L., Susanty, S., & Suprayogi. 2009. Penentuan rute truk pengumpulan dan pengangkutan sampah di Bandung. *Jurnal Teknik Industri*, 51-60.

Himmawati, & Eminugroho. 2012. *Penerapan algoritma koloni semut (ant colony optimization) untuk optimasi rute distribusi sampah di Kota Yogyakarta*. Yogyakarta: FMIPA UNY.

Nallusamy, R., Duraiswamy, K., Dhanalakshmi, R., & Parthiban, P. 2009. Optimization of multiple vehicle routing problems using approximation algorithms. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 129-135.

Schulz, F., Wagner, D., & Weihe, K. 2000. Dijkstra's algorithm on-line: An empirical case study from public railroad transport. *Journal of Experimental Algorithmics*, 12-34.

Shin, H., & Shin, J.S. 2006. Application of Floyd-Warshall labelling technique: Identification of connected pixel components in binary image. *Kangweon-Kyungki Math. Journal*, 47-55.

Teodorovic, D., Davidovic, T., & Selmic, M. 2011. Bee colony optimization: the applications survey. *ACM Transactions on Computational Logic*, 1-20.

Tung, D. V., & Pinnoi, A. 2000. Case study vehicle routing-scheduling for waste collection in Hanoi. *European Journal of Operational Research*, 125, 449-468.