

# Optimasi Rute Pengangkutan Sampah Kota Yogyakarta Menggunakan *Hybrid Genetic Algorithm*

Ekky Armandi<sup>1a</sup>, Annie Purwani<sup>1b</sup>, Utaminingsih Linarti<sup>1c</sup>

**Abstract.** *The increasing population in Yogyakarta City has implications for consumption and solid waste production activities. The waste collection process is the most expensive one in municipal waste management. It is necessary to determine the optimal route for municipal waste collection. In this research, we developed a vehicle routing problem (VRP) with a heterogeneous fleet, multiple trips, intermediate facility, and split delivery to approach the Yogyakarta City waste collection problem. We proposed a hybrid genetic algorithm (GA) to solve the VRP. The result of this study shows that developed VRP can be used to solve the Yogyakarta City waste collection problem.*

**Keywords:** *Vehicle Routing Problem, routing problem, city waste collection, Genetic Algorithm*

**Abstrak.** *Jumlah penduduk Kota Yogyakarta yang terus bertambah setiap tahunnya berimplikasi pada semakin meningkatnya aktivitas konsumsi sekaligus sampah yang dihasilkan. Proses pengumpulan sampah merupakan kontributor terbesar untuk biaya pengelolaan sampah. Sehingga diperlukan penentuan rute pengangkutan sampah kota yang optimal. Penelitian ini mengembangkan model vehicle routing problem (VRP) untuk persoalan penentuan rute pengangkutan sampah Kota Yogyakarta yang mempertimbangkan batasan heterogeneous fleet, multiple trip, intermediate facility, dan split delivery yang kemudian diselesaikan menggunakan hybrid genetika algoritma (GA). Penelitian ini berhasil mengembangkan model VRP untuk menyelesaikan persoalan penentuan rute pengangkutan sampah Kota Yogyakarta.*

**Kata Kunci:** *Vehicle Routing Problem, penentuan rute, pengangkutan sampah kota, Algoritma Genetika*

## I. PENDAHULUAN

Jumlah penduduk Kota Yogyakarta yang terus bertambah setiap tahunnya berimplikasi pada semakin meningkatnya aktivitas konsumsi sekaligus sampah yang dihasilkan. Menurut UU No. 18, tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, sampah didefinisikan sebagai sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat.

Pada tahun 2016, jumlah sampah yang dihasilkan oleh Kota Yogyakarta rata-rata mencapai 226,2 ton/hari sedangkan jumlah yang terangkut ke tempat pembuangan akhir (TPA) rata-rata adalah 176,4 ton/hari atau sekitar 77,98%

dari total sampah yang dihasilkan dalam sehari.

Proses pengumpulan sampah merupakan kontributor terbesar untuk biaya pengelolaan sampah (Fitria dkk., 2009). Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Yogyakarta merupakan perangkat daerah yang bertugas salah satunya dalam melakukan kegiatan teknis pengelolaan sampah seperti penyapuan jalan, pengumpulan sampah, dan pengangkutan sampah dari tempat pembuangan sementara (TPS) menuju TPA Piyungan.

TPA Piyungan merupakan salah satu TPA terbesar yang ada di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) yang mampu menampung sampah dari Kota Yogyakarta, Kabupaten Bantul, maupun dari Kabupaten Sleman (Lestari, 2013). DLH Kota Yogyakarta membagi wilayah kerjanya menjadi lima sektor; yang diantaranya adalah Sektor Malioboro-Kranggan, Sektor Gunung Ketur, Sektor Ngasem-Gading, Sektor Kota Gede, dan Sektor Krasak. DLH Kota Yogyakarta juga menyediakan fasilitas penampungan sampah yang terdiri dari TPS dengan volume rata-rata relatif kecil dan sedikitnya TPS dengan volume yang lebih besar dari kapasitas kendaraan. Ada sekitar 30 truk dengan kapasitas berbeda yang ditugaskan DLH

---

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan, Jl. Prof. DR. Soepomo Sh No.80, Warungboto, Kec. Umbulharjo, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta 55164.

<sup>a</sup> email: [ekkyarmandi@gmail.com](mailto:ekkyarmandi@gmail.com)

<sup>b</sup> email: [annie.purwani@ie.uad.ac.id](mailto:annie.purwani@ie.uad.ac.id)

<sup>c</sup> email: [utaminingsih.linarti@ie.uad.ac.id](mailto:utaminingsih.linarti@ie.uad.ac.id)

Diajukan: 30-08-2019  
Disetujui: 10-12-2019

Diperbaiki: 07-12-2019

untuk melakukan pengumpulan dan pengangkutan sampah Kota Yogyakarta setiap harinya.

Setiap kendaraan yang ditugaskan untuk melakukan pengumpulan dan pengangkutan sampah berangkat dari depot yang sama menuju titik-titik TPS untuk melakukan pengangkutan sampah hingga memenuhi kapasitas kendaraan yang kemudian muatannya dikosongkan terlebih dahulu pada TPA sebelum kembali ke depot maupun sebelum kembali melakukan pelayanan pengangkutan sampah pada titik TPS yang belum terlayani selama tidak melebihi batas waktu yang telah ditentukan.

Persoalan penentuan rute sejumlah kendaraan yang berangkat dari depot dalam memenuhi permintaan sejumlah titik layanan dengan tidak melanggar batasan operasional tertentu dikenal sebagai *Vehicle Routing Problem* (VRP) (Wibisono, 2018). Model dasar VRP memiliki asumsi bahwa kendaraan yang ditugaskan adalah homogen dan titik layanan hanya boleh dilayani tepat satu kali dalam satu rute pelayanan dengan fungsi tujuan meminimumkan jarak tertempuh yang diasosiasikan dengan biaya (Golden dkk., 1984).

Penelitian terdahulu yang menggunakan model VRP dasar dilakukan oleh Indrawati dkk. (2016) pada persoalan penentuan rute pengangkutan sampah Kota Palembang yang diselesaikan menggunakan metode *saving matrix*. Sedangkan penelitian yang dilakukan Pakusadewa dkk. (2017) menggunakan model VRP dasar pada penentuan rute pengangkutan sampah Kota Denpasar yang diselesaikan menggunakan *Genetic Algorithm* yang dihibridasi dengan algoritma *Simulated Annealing* (GA-SA).

Model VRP dasar terlalu sederhana untuk persoalan penentuan rute pengangkutan sampah Kota Yogyakarta. Model VRP dasar tidak mempertimbangkan adanya TPA sebagai *intermediate facility*, kendaraan dengan kapasitas berbeda, kondisi yang memungkinkan suatu kendaraan untuk melayani lebih dari satu rute dalam satu periode perencanaan penugasan kendaraan, maupun kondisi dimana titik layanan memungkinkan untuk dilayani lebih dari satu kali.

Penugasan kendaraan dalam melakukan pengangkutan sampah dari depot menuju TPS ke TPA dan kembali ke TPS maupun kembali ke depot

adalah persoalan penentuan rute yang mempertimbangkan adanya TPA sebagai *intermediate facility*.

Menurut Angelelli dan Speranza (2002), *intermediate facility* adalah fasilitas yang harus dikunjungi oleh suatu kendaraan untuk memperbarui kapasitas kendaraan setiap kali kendaraan akan memulai rute baru.

Fitria dkk. (2009) mengembangkan model VRP yang mempertimbangkan keberadaan *intermediate facility* dan batasan yang memungkinkan kendaraan melakukan pelayanan untuk lebih dari satu rute yang disebut sebagai *Vehicle Routing Problem with Multiple Trips and Intermediate Facility* (VRPMTIF) yang digunakan pada penentuan rute pengumpulan dan pengangkutan sampah Kota Bandung dengan fungsi tujuan meminimumkan jumlah kendaraan yang digunakan dan total waktu penyelesaian yang ditempuh oleh kendaraan yang diselesaikan menggunakan algoritma *sequential insertion*.

Menurut Arvianto dkk. (2014), batasan *multiple trips* adalah batasan yang memungkinkan suatu kendaraan untuk melayani lebih dari satu rute dalam satu periode perencanaan penugasan kendaraan.

Model VRP dasar maupun model VRPMTIF yang dikembangkan oleh Fitria dkk. (2009) menganggap bahwa seluruh kendaraan yang digunakan adalah homogen dan tidak mempertimbangkan titik layanan yang memungkinkan untuk dilayani lebih dari satu kali.

Model VRP yang mempertimbangkan adanya kendaraan dengan kapasitas berbeda disebut sebagai *Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem* (HFVRP) umumnya dengan fungsi tujuan meminimumkan total jarak tertempuh oleh kendaraan (Prins, 2002).

Menurut Ray dkk. (2012), batasan VRP yang memungkinkan suatu titik layanan untuk dilayani lebih dari satu kali jika kendaraan pertama tidak mampu memenuhi permintaan pada titik layanan tersebut disebut dengan *split delivery*.

VRP dikategorikan sebagai masalah kombinatorial dan diklasifikasi sebagai NP-Hard (*non deterministic polynomial time*) ketika jumlah titik kunjungan dan batasan VRP semakin bertambah yang berarti semakin meningkat jumlah solusinya, VRP semakin dituntut untuk dapat diselesaikan dalam waktu komputasi yang

lebih singkat (Golden dkk., 1984).

Metode eksak seperti penelitian yang dilakukan oleh Fukasawa dkk. (2006) dalam Prins (2009) hanya sanggup menyelesaikan VRP dengan 100 titik layanan. Oleh sebab itu dibutuhkan metode heuristik (seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Priyandari (2008), Fitria dkk. (2009), Eminugroho dan Dwi (2013), Arvianto dkk. (2014), Arinalhaq dkk. (2013), dan Indrawati dkk. (2016)) maupun metaheuristik (seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Bell dan McMullen (2004), Prins (2009), Baker dan Ayechev (2003), Cheng dan Yu (2013), dan Nugraha dan Mahmudy (2015)) untuk menyelesaikan VRP dengan waktu komputasi yang lebih singkat dan menghasilkan solusi yang paling mendekati optimal.

Penelitian yang dilakukan oleh Baker dan Ayechev (2003) mengembangkan GA untuk menyelesaikan VRP dasar, Prins (2009) mengembangkan dua *memetic algorithm* (MA) yang merupakan GA yang dihibridasi dengan *local search* untuk menyelesaikan HVRP. Liu dkk. (2009) mengembangkan GA untuk menyelesaikan *Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem* (FSMVRP), dan Cheng dan Yu (2013) mengembangkan GA untuk menyelesaikan VRP *with Time Windows* (VRPTW).

Jika penelitian yang dilakukan oleh Fitria dkk. (2009) dan Indrawati dkk. (2016) menggunakan algoritma *sequential insertion*, dan Pakusadewa dkk. (2017) menggunakan GA-SA untuk menyelesaikan VRP pada persoalan penentuan rute pengumpulan dan pengangkutan sampah kota. Maka penelitian ini kemudian menggunakan GA yang dikombinasikan dengan algoritma LS pada tahap evaluasi yang disebut sebagai Hybrid GA untuk menyelesaikan VRP yang telah dikembangkan pada persoalan penentuan rute pengumpulan dan pengangkutan sampah Kota Yogyakarta. Penelitian ini dilakukan pada sektor Krasak yang merupakan salah satu wilayah kerja DLH Kota Yogyakarta. Adapun batasan VRP yang dipertimbangkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: (a) jenis kendaraan yang digunakan memiliki kapasitas yang berbeda (*heterogeneous fleet*), (b) adanya TPA sebagai *intermediate facility* atau titik yang harus dikunjungi oleh kendaraan sebelum memulai rute baru maupun sebelum kembali, (c) kondisi yang memungkinkan suatu kendaraan untuk

menciptakan rute perjalanan baru (*Multiple Trips*), dan (d) kondisi yang memungkinkan suatu titik layanan untuk dapat dilayani lebih dari satu kali atau oleh kendaraan berikutnya (*Split Delivery*).

## II. METODE PENELITIAN

### Karakteristik Sistem

Penelitian ini dilakukan pada Sektor Krasak yang merupakan salah satu wilayah kerja DLH Kota Yogyakarta dengan titik TPS terbanyak dibanding sektor yang lainnya. Ada 27 titik TPS (Tabel 1) yang tersebar dan ada 10 kendaraan dengan kapasitas berbeda yang ditugaskan pada Sektor Krasak, diantaranya adalah 2 truk kompaktor (*compactor*) dan 8 truk bak (*dump truck*) masing-masing dengan kapasitas  $10\text{m}^3$  dan  $6\text{m}^3$ .

Penugasan kendaraan dalam melakukan pengumpulan dan pengangkutan sampah dimulai sejak jam 06:00 pagi hingga jam 13:00 siang atau sama dengan 7 jam kerja (420 menit). Setiap hari, kendaraan pengangkut sampah ditugaskan mengunjungi titik-titik TPS untuk mengumpulkan dan mengangkut sampah menuju TPA Piyungan. Setiap kendaraan akan berangkat dari kantor DLH dan akan berakhir di kantor DLH. Sampah yang diangkut tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan. Kendaraan dengan bak yang penuh akan dikosongkan pada TPA Piyungan sebelum kembali mengunjungi titik-titik TPS yang belum terangkut. Titik TPS yang tidak terangkut sepenuhnya boleh dilayani oleh kendaraan lainnya. Total waktu penyelesaian kendaraan tidak boleh melebihi batas waktu penyelesaian yang telah ditentukan. Kondisi yang menghambat perjalanan truk diabaikan.

### Pengembangan Model

Model VRP yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada model VRPMTIF yang telah dikembangkan oleh Fitria dkk. (2009) dengan menambahkan batasan model *Heterogenous fleet* oleh Jiang dkk. (2014) dan *Split Delivery* oleh Izar (2018) dengan fungsi tujuan meminimumkan total jarak tertempuh dan total waktu penyelesaian kendaraan.

Batasan model yang dipertimbangkan dalam mendekati persoalan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Heterogeneous Fleet*, dimana kendaraan yang digunakan memiliki kapasitas yang berbeda

**Tabel 1.** Data titik TPS Sektor Krasak

No.	Lokasi TPS	Volume (m <sup>3</sup> )	Kode TPS
1	DLH Kota Yogyakarta	-	Depot
2	TPS Herman Yohanes	2	T1
3	Perikanan Sagan	1	T2
4	TPS Wardani	1	T3
5	Barat Jembatan Layang	1	T4
6	TPS Atmosukarto	2	T5
7	Jl. Krasak Barat	3	T6
8	Jl. Kusbini	9	T7
9	TPS Kusbini I	2	T8
10	Jl. Ungaran	2	T9
11	Jl. I Nyoman Oka	3	T10
12	Jl. Patimura	1	T11
13	TPS Johar Muhadi	2	T12
14	TPS Hadi Darsono	2	T13
15	TPS Urip Sumoharjo	2	T14
16	TPS Munggur	3	T15
17	Belakang Duta Foto	2	T16
18	TPS SD Klitren	1	T17
19	TPS Kowilhan	2	T18
20	TPS Tribrata	3	T19
21	TPS Kusbini II	1	T20
22	Jl. Balapan	6	T21
23	TPS SMA 3	3	T22
24	TPS Telkom	1	T23
25	Komplek Pamungkas	3	T24
26	Jl. Merbabu (RRI Jogja)	15	T25
27	TPS Sagan	32	D1
28	TPS Pengok (Rel Kereta)	32	D2
29	TPA Piyungan	-	TPA

dan tidak mempertimbangkan biaya tetap dan biaya variabel.

2. *Intermediate Facility*, dimana setiap kendaraan akan mengosongkan muatannya pada TPA sebelum memulai perjalanan baru selama tidak melebihi batas waktu penyelesaian yang telah ditentukan.
3. *Multiple Trips*, dimana setiap kendaraan memungkinkan untuk melayani lebih dari satu rute dalam satu periode perencanaan penugasan kendaraan.
4. *Split Delivery*, dimana suatu titik layanan memungkinkan untuk dilayani lebih dari satu kali jika kendaraan pertama tidak mampu memenuhi permintaan pada titik layanan.

**Model Matematis**

Sesuai karakteristik sistem penentuan rute pengangkutan sampah Kota Yogyakarta, maka model matematis yang ditentukan pada penelitian

ini adalah sebagai berikut.

**Himpunan Indeks**

$V$  = himpunan titik layanan

$K$  = himpunan kendaraan

$L$  = himpunan rute

**Parameter**

$V_0$  = depot

$V_{n+1}$  = *intermediate facility*

$d_i$  = permintaan pada titik  $i$  ( $i \in V$ )

$t_{ij}$  = waktu tempuh (menit)

$c_{ij}$  = jarak tempuh (meter)

$p$  = waktu *loading* (m3/menit)

$q$  = waktu *unloading* (m3/menit)

$m$  = jumlah kendaraan (unit)

$n$  = jumlah titik layanan (unit) ( $n \in V$ )

$Q_k$  = kapasitas kendaraan  $k$  (m3) ( $k \in K$ )

$T_{max}$  = maksimal waktu penyelesaian (menit)

**Variabel Keputusan**

$S_k^l$  = waktu pelayanan oleh kendaraan  $k$  pada rute  $l$  (menit) ( $l \in L, k \in K$ )

$CT_k$  = waktu penyelesaian oleh kendaraan  $k$  (menit)

$X_{ijk}^l$  = bernilai 1 jika kendaraan  $k$  melakukan perjalanan dari titik  $i$  ke titik  $j$  pada rute  $l$ , bernilai 0 jika sebaliknya ( $(i, j) \in V, k \in K, l \in L$ )

$Y_{ik}^l$  = bernilai 1 jika ada permintaan pada titik  $i$  yang terangkut oleh kendaraan  $k$  pada rute  $l$ , bernilai 0 jika sebaliknya ( $i \in V, k \in K, l \in L$ )

**Fungsi Tujuan**

Fungsi tujuan dari model VRP yang dikembangkan pada penelitian ini adalah *multi objective function* yang bertujuan meminimumkan total jarak ditempuh (*total cost*, TC) dan total penyelesaian waktu perjalanan (*total completion time*, TCT), sehingga perlunya membentuk jumlah tertimbang (*weight sum*) pada fungsi tujuan seperti persamaan (1).

$$\min f(\theta) = \omega_{TC}TC(\theta) + \omega_{TCT}TCT(\theta) \quad \dots(1)$$

Dimana  $\theta$  adalah solusi, sedangkan  $\omega_{TC}$  dan  $\omega_{TCT}$  adalah bobot untuk masing-masing fungsi tujuan TC persamaan (2) dan TCT persamaan (3).

$$TC = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{k \in K} c_{ij} X_{ijk}^l \quad \dots (2)$$

$$TCT = \sum_{k \in K} CT_k \quad \dots (3)$$

Persamaan (1) merupakan total jarak ditempuh oleh kendaraan dengan bobot  $\omega_{TC}$  yang dijumlahkan dengan total penyelesaian waktu perjalanan dengan bobot  $\omega_{TCi}$ ; dimana total penyelesaian waktu perjalanan adalah penjumlahan dari total waktu perjalanan persamaan (4) dan total waktu pelayanan persamaan (5) yang dihitung berdasarkan jumlah terangkut dan waktu pelayanan untuk *loading* dan *unloading* muatan.

$$S_k^l = (p + q) \sum_{i \in V} d_i Y_{ik}^l \quad \dots (4)$$

$$CT_k = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} t_{ijk} X_{ijk}^l + \sum_{i \in L} S_k^l, \forall k \in K \quad \dots (5)$$

#### Batasan Model

$$\sum_{i \in V} \sum_{k \in K} X_{ijk}^l \geq \sum_{k \in K} Y_{ik}^l, \forall j \in V \quad \dots (6)$$

$$\sum_{i \in V} X_{ijk}^l - \sum_{j \in V} Y_{ik}^l = 0, \forall k \in K \quad \dots (7)$$

$$\sum_{i \in V} X_{1jk}^l = 1, \sum_{i \in V} X_{i1k}^l = 1, \forall k \in K \quad \dots (8)$$

$$\sum_{i \in V} d_i Y_{ik}^l \leq Q_k, \forall k \in K \quad \dots (9)$$

$$\sum_{i \in V} X_{i,n+1,k}^l = 1, \forall k \in K \quad \dots (10)$$

$$\sum_{j \in V} X_{n+1,j,k}^l = 1, \forall k \in K \quad \dots (11)$$

$$X_{iok} = X_{oik}, \forall i \in V, \forall k \in K \quad \dots (12)$$

$$\sum_{i \in V'} X_{iek} = \sum_{j \in V'} X_{ejk}, \forall e \in V', \forall k \in K; i, j \neq e \quad \dots (13)$$

$$CT_k \leq T_{max} \quad \dots (14)$$

$$\sum_{i \in V} d_i Y_{ik}^l \geq 0, \forall i \in V, \forall k \in K \quad \dots (15)$$

$$X_{ijk}^l \in \{0,1\}, \forall ij \in V, \forall k \in K \quad \dots (16)$$

$$Y_{ik}^l \in \{0,1\}, \forall ij \in V, \forall k \in K \quad \dots (17)$$

Batasan (6) menjamin bahwa titik  $i$  paling tidak dilayani sebanyak 1 kali selama rute perjalanan. Batasan (7) menjamin bahwa kendaraan akan meninggalkan titik layanan yang telah dilayani. Batasan (8) menjamin bahwa setiap rute kendaraan berawal dan berakhir di depot. Batasan (9) menjamin bahwa muatan rute kendaraan  $k$  tidak melebihi kapasitas kendaraan  $Q_k$ . Batasan (10) menjamin bahwa setiap kendaraan melakukan unloading muatan pada *intermediate facility*. Batasan (11) mengijinkan kendaraan memulai rute baru dari *intermediate facility* selama batas waktu masih mencukupi. Batasan (12) dan (13) memungkinkan suatu titik layanan  $i$  untuk dikunjungi lebih dari satu kali oleh kendaraan dengan rute berbeda. Batasan (14) menjamin bahwa waktu penyelesaian kendaraan  $k$  tidak melebihi batas waktu maksimal  $T_{max}$ . Batasan (15) menjamin bahwa muatan kendaraan  $k$  tidak negatif. Batasan (16) dan (17) merupakan variabel keputusan bilangan biner.

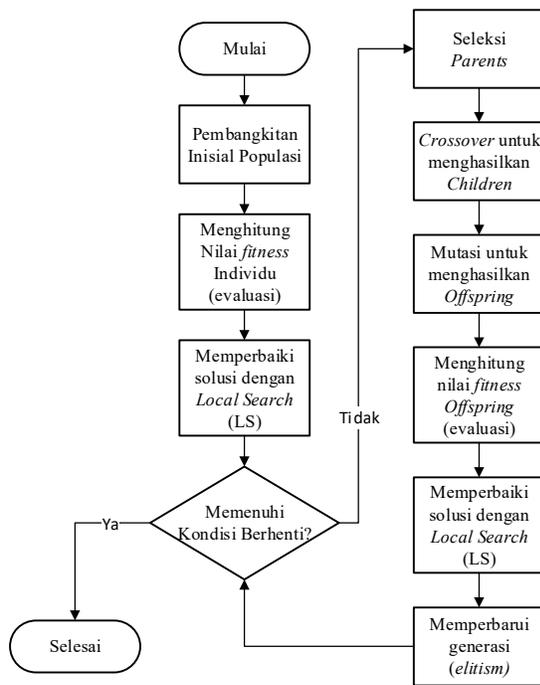
#### Hybrid Genetika Algoritma (GA)

GA adalah algoritma yang berbasis inspirasi alam. Pada prinsipnya, GA menirukan teori evolusi Charles Darwin yang berupaya menghasilkan generasi (solusi) terbaik dalam populasi secara alami melalui seleksi alam.

Hybrid GA yang digunakan pada penelitian ini menggunakan teknik *split* (Baker & Ayechev, 2003) pada tahap evaluasi VRP dan algoritma *local search* setelah tahap evaluasi (Moscato & Cotta, 2003). Sedangkan pada tahapan lainnya seperti seleksi, *crossover*, dan mutasi menggunakan teknik yang disebut dengan *Roulette Wheel's Selection* (RWS), *Multiplepoint Crossover*, dan *Scramble Mutation*; dengan parameter GA yang digunakan adalah 100 populasi dan 25.000 iterasi.

Istilah kromosom atau individu dalam GA adalah representasi solusi dari persoalan yang akan diselesaikan. Umumnya kromosom atau individu GA pada VRP ditampilkan dalam bentuk *giant tour* atau *non-binary representation*.

Proses *Hybrid GA* berlangsung secara iteratif dimana setiap iterasi menghasilkan generasi baru yang akan menggantikan generasi terdahulu yang dianggap sebagai generasi atau solusi dengan kualitas (*fitness*) buruk. Adapun diagram alir



Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Hybrid GA

tahapan GA pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 (Sharma & Mehta, 2013).

Berdasarkan Gambar 1, tahapan *Hybrid GA* dimulai dengan pembangkitan inialisasi populasi, yaitu pembangkitan sejumlah solusi secara acak yang disebut dengan kromosom yang merupakan representasi dari persoalan yang akan diselesaikan.

Tahap berikutnya adalah evaluasi setiap solusi awal yang telah dibangkitkan menggunakan teknik *Split* untuk menentukan nilai *fitness* atau kualitas masing-masing solusi. Demi menghasilkan solusi yang lebih baik, penelitian ini mengembangkan GA dengan menambahkan algoritma *local search* setelah setiap tahap evaluasi.

Sesuai dengan nama algoritma tersebut, *local search* dapat berarti algoritma yang berupaya mencari (*search*) atau memperbaiki sub-rute (*local*) untuk solusi yang telah diperoleh.

Tahap berikutnya dilanjutkan pada tahap seleksi individu atau tahap untuk menentukan *parents* menggunakan teknik *Roulette Wheel's Selection (RWS)*. Kromosom di dalam populasi akan diurutkan berdasarkan nilai *fitness* terburuk. Dua kromosom akan dipilih secara acak dan kromosom dengan nilai *fitness* besar (buruk) akan

memiliki persentase terpilih lebih besar.

*Parents* yang telah ditentukan akan dikawinkan silang dengan teknik *multiple point crossover*. Dua titik dari *parent* pertama akan ditukarkan dengan bagian *parent* kedua, hasil *crossover* disebut sebagai *child*.

Jika *child* adalah hasil dari pertukaran bagian dua kromosom yang disebut *parents*. Tahap mutasi adalah penukaran bagian kromosom yang dilakukan secara individual, yaitu setiap *child* yang telah dihasilkan dari *crossover* akan dimutasi dengan teknik *scramble mutation*.

Hasil dari mutasi menghasilkan individu baru yang disebut sebagai *offsprings*. *Offsprings* yang telah ditentukan kemudian dievaluasi kembali menggunakan teknik *split* dan diperbaiki dengan algoritma *local search*.

Tahap berikutnya adalah memperbarui generasi atau populasi (*elitism*) dengan cara mengganti kromosom yang memiliki kualitas terburuk didalam populasi dengan *offsprings* yang memiliki kualitas *fitness* lebih baik.

Sebab GA berlangsung secara iteratif, proses GA akan berhenti jika iterasi pada GA memenuhi kondisi berhenti (*terminating condition*) dan solusi yang ditentukan setelah GA berakhir adalah kromosom atau solusi dengan nilai *fitness* terbaik.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

*Hybrid GA* diimplementasi kedalam perangkat lunak Matlab R2018a dan dijalankan sebanyak 10 kali pada komputer dengan spesifikasi Windows 10 (64-bit) Processor Intel(R) Core(TM) i5-8250 @1,6Ghz dan RAM 4GB.

Berdasarkan hasil penyelesaian menggunakan *Hybrid GA* yang dibandingkan dengan algoritma *Particle Swarm Optimization (PSO)*, nilai fungsi tujuan paling minimum didapatkan ketika *Hybrid GA* dijalankan ke-3 dan ke-4 dengan nilai fungsi tujuan yang sama, yaitu sebesar 307.176 dengan waktu komputasi 129,18 detik (2,15 menit) dan 135,19 detik (2,25 menit), dengan rata-rata waktu komputasi 155,86 detik (2,60 menit).

Sedangkan nilai fungsi tujuan paling minimum yang diperoleh menggunakan PSO yang dijalankan sebanyak 10 kali adalah ketika PSO dijalankan ke-7, dengan nilai fungsi tujuan sebesar 315.611 dengan waktu komputasi 1.240,22 detik (20,67 menit), dan rata-rata waktu komputasi

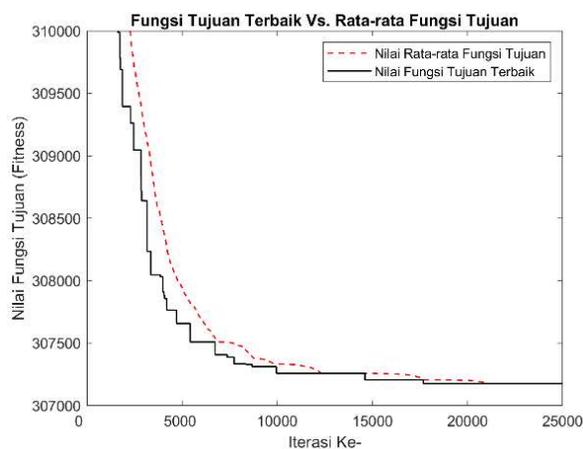
302,44 detik (23,85 menit). Adapun parameter yang digunakan dalam menjalankan PSO adalah dengan 100 partikel dan 25.000 iterasi.

**Tabel 2.** Hasil Penyelesaian Menggunakan *Hybrid GA* dan PSO

Dijalankan ke-	Hybrid GA		PSO	
	Nilai Fungsi Tujuan	Waktu Komputasi (detik)	Nilai Fungsi Tujuan	Waktu Komputasi (detik)
1	307.237	163,35	318.120	1.536,80
2	307.196	136,80	319.711	1.756,40
3	307.176	129,18	316.526	1.646,90
4	307.176	135,19	315.721	1.355,30
5	309.474	145,28	318.170	1.626,90
6	307.790	202,83	317.847	1.348,41
7	308.015	148,22	315.611	1.240,22
8	308.132	201,92	317.953	1.314,69
9	307.734	144,33	317.720	1.319,96
10	307.686	151,50	320.315	1.163,20

Berdasarkan solusi yang didapatkan pada Tabel 2, Gambar 2 dan 3 menunjukkan grafik nilai fungsi tujuan dan nilai rata-rata fungsi tujuan ketika GA dijalankan ke-3 dan ke-4. Sedangkan Gambar 4 menunjukkan grafik nilai fungsi tujuan dan nilai rata-rata fungsi tujuan ketika PSO dijalankan ke-7.

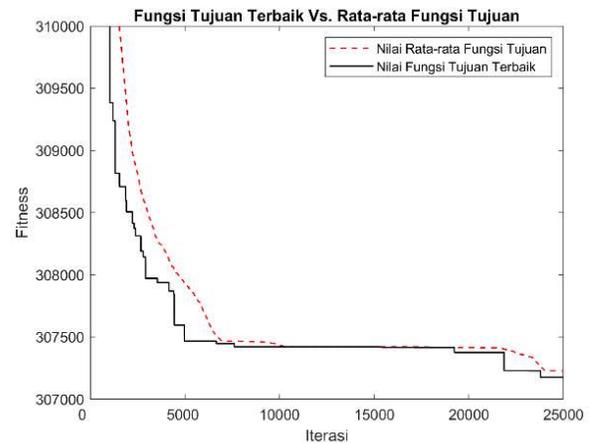
Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa nilai fungsi tujuan yang diperoleh mencapai kondisi *steady state* ketika memasuki iterasi ke 15.000 dan seterusnya. Sedangkan nilai rata-rata fungsi tujuan dari 100 populasi mencapai kondisi konvergen ketika memasuki iterasi ke 20.000 dan seterusnya.



**Gambar 2.** Grafik Nilai Fungsi Tujuan Vs. Nilai Rata-rata Fungsi Tujuan GA ketika dijalankan ke-3

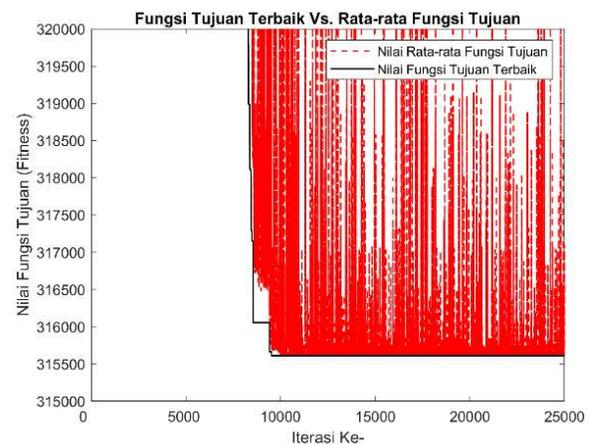
Sedangkan Gambar 3 menunjukkan bahwa kondisi *steady state* dalam proses pencarian nilai

fungsi tujuan baru terjadi ketika mendekati iterasi ke 25.000 dengan nilai rata-rata fungsi tujuan dari 100 populasi belum sempat mencapai kondisi konvergen.



**Gambar 3.** Grafik Nilai Fungsi Tujuan Vs. Nilai Rata-rata Fungsi Tujuan GA ketika dijalankan ke-4

Gambar 4 menunjukkan bahwa pencarian nilai fungsi tujuan paling minimum ketika PSO dijalankan ke-7 mengalami kondisi *steady state* untuk perolehan nilai fungsi tujuan terbaik yang terjadi setelah memasuki iterasi ke 10.000 hingga seterusnya. Sedangkan nilai rata-rata fungsi tujuan dari 100 partikel yang digunakan, menunjukkan bahwa nilai fungsi tujuan dari setiap partikel terus berubah setiap iterasinya sehingga tidak menunjukkan tanda-tanda konvergensi.



**Gambar 4.** Grafik Nilai Fungsi Tujuan Vs. Nilai Rata-rata Fungsi Tujuan PSO dijalankan ke-7

Tabel 3 berikut adalah rekapitulasi solusi penentuan rute penugasan kendaraan pengangkutan sampah Kota Yogyakarta pada

**Tabel 3.** Rekapitulasi Penentuan Rute Penugasan Kendaraan untuk Pengumpulan dan Pengangkutan Sampah Kota Yogyakarta di Sektor Krasak

No.	Kendaraan	Jenis Kendaraan	Rute	Total Trip Kendaraan	Total Jarak Tertempuh (meter)	Total Waktu Penyelesaian (menit)	Total Volume Terangkut (m <sup>3</sup> )
1	AB 8396 UA	Compactor	Depot-T17-T7-TPA-T9-T25-TPA-Depot	3	60.110	277	20
2	AB 8127 UA	Compactor	Depot-T21-T16-T14-TPA-T10-T11-T25-TPA-Depot	3	58.830	283	20
3	AB 8336 UA	Dump Truck	Depot-T15-T19-TPA-T6-T24-TPA-Depot	3	58.300	233	12
4	AB 8163 UA	Dump Truck	Depot-D2-T20-T8-T4-TPA-T10-T22-T23-T5-TPA-Depot	3	58.190	226	12
5	AB 8247 UA	Dump Truck	Depot-D2-TPA-D1-TPA-T18-TPA-Depot	4	85.450	302	14
6	AB 8133 UA	Dump Truck	Depot-D2-TPA-D1-TPA-Depot	3	57.950	223	12
7	AB 8020 IA	Dump Truck	Depot-D2-TPA-D1-TPA-Depot	3	57.950	223	12
8	AB 8049 UA	Dump Truck	Depot-D2-TPA-D1-TPA-Depot	3	57.950	223	12
9	AB 8300 UA	Dump Truck	Depot-D2-TPA-D1-TPA-Depot	3	57.950	223	12
10	AB 8246 UA	Dump Truck	Depot-T1-T2-D1-TPA-T5-T12-T13-T3-TPA-Depot	3	59.230	229	12
<b>Total</b>				<b>31</b>	<b>611.910</b>	<b>2.442</b>	<b>138</b>

Sektor Krasak.

Berdasarkan hasil rekapitulasi penentuan rute penugasan kendaraan pengangkutan sampah Kota Yogyakarta khususnya pada Sektor Krasak seperti yang dapat dilihat pada Tabel 3, total jarak tertempuh dari seluruh kendaraan adalah 611.910 meter (611,91 Km) dengan total waktu penyelesaian kendaraan paling maksimal adalah 302 menit, jumlah perjalanan yang diciptakan adalah 31 trip, dan total sampah terangkut adalah 138m<sup>3</sup> atau setara dengan volume sampah yang harus terangkut dari Sektor Krasak. Sedangkan jumlah jarak tertempuh paling jauh dan waktu penyelesaian paling lama ditempuh oleh kendaraan 5 dengan jarak tertempuh adalah 85.450 meter (85,45 km) dan waktu penyelesaian adalah 298 menit.

#### IV. SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan model VRP untuk menyelesaikan persoalan penentuan rute pengangkutan sampah Kota Yogyakarta dengan mempertimbangkan batasan seperti *heterogeneous fleet*, *multiple trip*, *intermediate facility* dan *split delivery*. Sedangkan metode GA yang digunakan pada penelitian ini berhasil menyelesaikan VRP dengan titik

kunjungan yang banyak dan dengan batasan yang lebih kompleks. GA yang dikembangkan dengan algoritma *Local Search* (LS) pada penelitian ini lebih efektif dan lebih efisien dibanding dengan algoritma PSO dari segi pencarian nilai fungsi tujuan paling minimum dan waktu komputasi.

#### REFERENCES

- Angelelli, E., Speranza, M.G. (2002). The periodic vehicle routing problem with intermediate facilities. *European Journal of Operational Research*, 137 (2), 233–247.
- Arinalhaq, F., Imran, A., Fitria, L. (2013). Penentuan Rute Kendaraan Pengangkutan Sampah Dengan Menggunakan Metode Nearest Neighbour. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 1 (1).
- Arvianto, A., Setiawan, A.H., Saptadi, S. (2014). Model Vehicle Routing Problem dengan Karakteristik Rute Majemuk, Multiple Time Windows, Multiple Products dan Heterogeneous Fleet untuk Depot Tunggal. *Jurnal Teknik Industri*, 16 (2), 83–94.
- Baker, B.M., Ayechev, M.A. (2003). A genetic algorithm for the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 30 (5), 787–800.
- Bell, J.E., McMullen, P.R. (2004). Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem. *Advanced Engineering Informatics*, 18 (1), 41–48.

- Cheng, A., Yu, D. (2013). *Genetic algorithm for vehicle routing problem*. In ICTE 2013: Safety, Speediness, Intelligence, Low-Carbon, Innovation (pp. 2876–2881).
- Eminugroho, R.S., Dwi, L. (2013). Optimasi Sistem Pengangkutan Sampah di Kota Yogyakarta dengan Model Vehicle Routing Problem Menggunakan Algoritma Sequential Insertion. *Jurnal SAINTEK*, 19, 31–40.
- Fitria, L., Susanty, S., Suprayogi, S. (2009). Penentuan Rute Truk Pengumpulan dan Pengangkutan Sampah di Bandung. *Jurnal Teknik Industri*, 11 (1), 51–60.
- Fukasawa, R., Longo, H., Lysgaard, J., de Aragão, M.P., Reis, M., Uchoa, E., Werneck, R. F. (2006). Robust branch-and-cut-and-price for the capacitated vehicle routing problem. *Mathematical Programming*, 106 (3), 491–511.
- Golden, B., Assad, A., Levy, L., Gheysens, F. (1984). The fleet size and mix vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 11 (1), 49–66.
- Republik Indonesia. (2008). *Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah*. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Indrawati, Eliyati, N., Lukowi, A. (2016). Penentuan Rute Optimal pada Pengangkutan Sampah di Kota Palembang dengan Menggunakan Metode Saving Matrix. *Jurnal Penelitian Sains*, 18 (3).
- Izar, S. (2018). Model Multi Depot Vehicle Routing Problem dengan Split Delivery dan Time Windows.
- Jiang, J., Ng, K.M., Poh, K.L., Teo, K.M. (2014). Vehicle routing problem with a heterogeneous fleet and time windows. *Expert Systems with Applications*, 41 (8), 3748–3760.
- Lestari, H.P. (2013). Penerapan algoritma koloni semut untuk optimisasi rute distribusi pengangkutan sampah di kota Yogyakarta. *Jurnal Sains Dasar*, 2 (1).
- Liu, S., Huang, W., Ma, H. (2009). An effective genetic algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45 (3), 434–445.
- Moscato, P., Cotta, C. (2003). *A gentle introduction to memetic algorithms*. In Handbook of metaheuristics (pp. 105–144). Springer.
- Nugraha, D.C.A., Mahmudy, W.F. (2015). *Optimasi Vehicle Routing Problem with Time Windows Pada Distribusi Katering Menggunakan Algoritma Genetika*. Prosiding SESINDO 2015.
- Pakusadewa, P.G., Dewi, C., Wihandika, R.C. (2017). Penerapan Hibridisasi Algoritme Genetika dan Simulated Annealing untuk Optimasi Vehicle Routing Problem pada Kasus Pengangkutan Sampah Kota Denpasar. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer* E-ISSN, 2548 (February), 964X.
- Prins, C. (2002). Efficient heuristics for the heterogeneous fleet multitrip VRP with application to a large-scale real case. *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms*, 1 (2), 135–150.
- Prins, C. (2009). Two memetic algorithms for heterogeneous fleet vehicle routing problems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 22 (6), 916–928.
- Priyandari, Y. (2008). Alogaritma Sequential Insertion untuk Memecahkan Vehicle Routing Problem dengan Multiple Trips, Time Window dan Simultaneous Pickup Delivery. *Performa*, 7(1), 88–96.
- Ray, S., Soeanu, A., Debbabi, M., Boukhtouta, A., Berger, J. (2012). *Modeling multi-depot split-delivery vehicle routing problem*. The Proceedings of the IEEE-Conference on Computation Engineering in System Applications.
- Sharma, A., Mehta, A. (2013). Review paper of various selection methods in genetic algorithm. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 3 (7), 1476–1479.
- Wibisono, E. (2018). *Logika Logistik: Teknik dan Metode Pemrograman dalam Problem-problem Pengaturan Rute*. Surabaya: Graha Ilmu.