



Optimasi Rute Pengiriman dengan Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Windows

Edwin Hendrawan*, I Gede Agus Widyadana

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra, Jl. Siwalankerto No.121-131, Siwalankerto, Wonocolo, Surabaya, Jawa Timur 60236 Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Article history:

Received: January 19, 2018

Revised: March 21, 2018

Accepted: April 6, 2018

Kata Kunci:

Evolutionary Algorithm
HFVRP with Time Windows
Rute
Vehicle Routing Problem

Keywords:

Evolutionary Algorithm
HFVRP with Time Windows
Rute
Vehicle Routing Problem

*Corresponding Author

Edwin Hendrawan
E-mail: hendrawanedwin68@gmail.com

A B S T R A K

PT. X merupakan distributor suku cadang dengan 128 pelanggan untuk Kota Surabaya dan Kota Sidoarjo. Jumlah kendaraan pengirim yang dimiliki oleh PT. X adalah 15. Penentuan rute pengiriman yang dimiliki oleh PT. X dilakukan secara manual, berdasarkan pengalaman pengemudi. Penelitian ini bertujuan membuat sebuah model penentuan rute dengan biaya minimum dengan mempertimbangkan waktu tempuh dan kapasitas kendaraan. Pembentukan model dilakukan sesuai dengan kebijakan PT. X, yaitu setiap kolega hanya dapat dilayani oleh satu kendaraan dalam waktu tempuh pengiriman maksimal selama 7 jam. Model yang dibentuk merupakan Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem (HFVRP) with Time Windows. Metode penyelesaian yang digunakan adalah Evolutionary Algorithm (EA) dengan meninjau 3 kasus. Jumlah kendaraan yang digunakan oleh model berkurang, dengan selisih rata-rata 1,67 kendaraan. Biaya pengiriman yang dihabiskan oleh model lebih sedikit, untuk kasus 1 sebesar 3.155 Rupiah dan kasus 2 sebesar 25.005 Rupiah. Kondisi ini menunjukkan model akan menggunakan jumlah kendaraan yang lebih sedikit dengan biaya pengiriman rendah dan utilitas tamping yang besar dalam 2 kasus.

A B S T R A C T

PT. X is a distributor of spare parts with 128 customers for Surabaya City and Sidoarjo City. Number of delivery vehicles owned by PT. X is 15. Determination of delivery route owned by PT. X is completed manually based on driver experience. This research is to make a model of determining the route with minimum cost by considering the travel time and the capacity of the vehicle. Model formation is accomplished in accordance with the PT X policy that each colleague can only be served by one vehicle and the maximum shipping time of 7 hours. The model formed is Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Windows (HFVRPWTW). The settlement method used is Evolutionary Algorithm (EA) by reviewing 3 cases. The number of vehicles decreased by the model is with an average difference of 1.67 vehicles. The shipping cost generated by the model is lower than the company for case 1 of 3,155 IDR and case 2 of 25,005 IDR. This condition indicates the model will use less number of vehicles with low shipping costs and large container utilities in 2 cases.

© 2018 Penerbit UNSERA. All rights reserved

PENDAHULUAN

PT. X merupakan sebuah perusahaan yang bergerak dalam bidang jasa yaitu distributor suku cadang sepeda motor X. Kegiatan distribusi dilakukan dengan mengirimkan suku cadang kepada pelanggan yang sudah memesan sesuai

dengan jadwal yang telah disepakati. Jumlah pelanggan yang dilayani oleh PT. X di Kota Surabaya dan Kota Sidoarjo sebanyak 128 pelanggan. Pengiriman suku cadang yang dilakukan PT. X menggunakan kendaraan operasional perusahaan yang berjumlah 15 kendaraan.

Hasil wawancara dengan PT. X menunjukkan perusahaan memenuhi pesanan dengan mengirimkan pesanan kepada pelanggan. Pemesanan yang dilakukan pelanggan tidak secara rutin. Kondisi ini membuat PT. X harus menentukan rute pengiriman yang berbeda. Kebijakan penentuan rute pengiriman yang digunakan ditentukan secara manual. Kebijakan dilaksanakan berdasarkan pengetahuan dan pengalaman pengemudi mengenai Kota Surabaya dan Kota Sidoarjo. Pengetahuan dan pengalaman pengemudi yang berbeda menyebabkan penentuan rute tidak memiliki standart tetap, yang berpengaruh pada besarnya biaya pengiriman.

Biaya pengiriman dalam menentukan rute dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu jarak tempuh, waktu total pengiriman, dan kapasitas tampung. Jarak tempuh kendaraan merupakan perpindahan antar lokasi. Nilai jarak perpindahan mempengaruhi penggunaan bahan bakar setiap kendaraan. Kondisi ini memicu peningkatan penggunaan bahan bakar secara berlebih. Waktu total pengiriman dipengaruhi oleh waktu tempuh kendaraan ketika melakukan perpindahan dan waktu bongkar. Jarak tempuh yang besar juga membuat waktu tempuh menjadi besar. Sedangkan waktu bongkar merupakan aktivitas bongkar produk dari kendaraan pengirim saat di lokasi tujuan. Kapasitas tampung sangat dipengaruhi oleh penentuan rute yang ada. Rute yang terbentuk memungkinkan kendaraan untuk menampung suku cadang berlebih atau kekurangan. Pengangkutan yang berlebih akan membuat penataan produk terlalu dipaksakan. Hal ini akan memicu kerusakan dalam proses pengiriman. Pengangkutan dengan jumlah yang terlalu kecil mengakibatkan penggunaan jumlah kendaraan secara berlebih.

Tujuan penelitian yang akan dicapai adalah membuat cara penentuan rute yang standar dengan biaya minimum dengan mempertimbangkan waktu tempuh dan kapasitas tampung kendaraan. Pencapaian tujuan penelitian dibatasi oleh beberapa faktor seperti tidak memperhatikan dampak lingkungan, serta kecepatan perpindahan dan waktu bongkar muat tiap unit konstan.

METODE PENELITIAN

Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem (HFVRP) with Time windows merupakan metode yang digunakan untuk membantu membentuk model matematis. HFVVRP *with Time windows* digunakan untuk menyelesaikan permasalahan

yang terdiri dari menentukan rute kendaraan yang mana pelanggan dikunjungi tepat satu kali oleh kendaraan dalam waktu yang telah ditentukan, semua kendaraan memulai dan mengakhiri rute di titik awal pengiriman dan beban setiap kendaraan tidak melebihi kapasitas kendaraan [1]. *Evolutionary Algorithm* merupakan metode penyelesaian yang digunakan untuk menentukan rute HFVRPTW.

Vehicle Routing Problem (VRP) merupakan sebuah penentuan rute sejumlah kendaraan dengan kapasitas tertentu untuk memenuhi permintaan [2]. Metode VRP sendiri merupakan pengembangan dari Metode *Travelling Salesman Problem (TSP)* dimana pengiriman dilakukan oleh 1 kendaraan saja [3]. Penerapan yang dilakukan dalam menggunakan metode VRP sangat beragam bergantung dari tujuannya. Salah satu penggunaan VRP adalah mengurangi polusi pada lingkungan [4].

Metode HFVRPTW merupakan integrasi HFVRP dan VRPTW. HFVRP merupakan pengembangan metode VRP yang meninjau penentuan rute dengan jenis kendaraan yang berbeda. Elemen umum yang membedakan jenis kendaraan adalah kapasitas kendaraan, *fixed costs*, dan *variable costs* [5], [6]. Tujuan umum penggunaan HFVRP adalah untuk menentukan jumlah kendaraan yang dibutuhkan dalam melakukan pengiriman. VRPTW merupakan pengembangan metode VRP yang meninjau *time windows*. VRPTW dibagi kedalam dua jenis, yaitu *soft time windows* dan *hard time windows* [7]. *Soft time windows* menunjukkan bahwa pengiriman dapat melebihi *time windows* dengan membebaskan biaya pengiriman [8]. *Hard time windows* menunjukkan bahwa pengiriman tidak boleh dilakukan di luar *time windows*.

Evolutionary Algorithm (EA) merupakan metode penyelesaian yang digunakan untuk membantu penentuan rute. Aplikasi EA yang digunakan adalah *Evolutionary Programming*. Tahapan penyelesaian terdapat 2 tahap [9] dan dijelaskan dalam 4 tahap dengan lebih detail [10]. Tahap pertama adalah pembentukan populasi awal yang dilakukan secara *random*. Populasi merupakan kumpulan individu yang terbentuk untuk diolah lebih lanjut. Tahap kedua individu yang sudah terbentuk kemudian akan termutasi untuk membentuk *offspring*. Tahap ketiga *offspring* yang sudah terbentuk akan diseleksi dengan individu yang ada. Seleksi dilakukan dengan *tournament selection*. Nilai *fitness offspring* yang lebih baik daripada nilai *fitness individu* menunjukkan *offspring* akan

menggantikan individu yang ada. Tahapan terakhir yang dilakukan adalah mengurutkan nilai terbaik setiap individu untuk dijadikan solusi.

Penelitian ini akan menggunakan bantuan *Solver Microsoft Excel*. *Solver* memiliki beberapa parameter yang digunakan untuk membantu penentuan rute. Parameter yang digunakan adalah *convergence*, *mutation rate*, *population size*, *maximum time without improvement*, dan *requires bound on variables*. *Convergence* digunakan untuk melihat untuk melihat populasi yang terbentuk sudah mendekati nilai global optimum. *Mutation rate* digunakan sebagai kemampuan mutasi dalam populasi. *Population size* digunakan untuk menentukan jumlah individu yang dapat terbentuk dalam 1 populasi. *Maximum time without improvement* digunakan sebagai batasan metode EA untuk berhenti mengeksekusi ketika tidak ada peningkatan dalam waktu yang sudah ditentukan. *Requires bound on variables* merupakan batasan yang harus dimiliki oleh suatu variabel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data produk merupakan ukuran dimensi produk dan kelipatan. Produk yang digunakan pada penelitian adalah produk A dan produk B. Produk A memiliki dimensi acuan 0,15 m³ dengan 9 jenis kelipatan dan produk B memiliki dimensi acuan 0,05 m³ dengan 28 jenis kelipatan. Dimensi tiap kelipatan produk akan dikalikan dengan dimensi acuan.

Data jenis dan spesifikasi kendaraan merupakan data mengenai rincian kendaraan. Rincian kendaraan dibagi dalam 2 kategori yaitu kapasitas tampung dan kemampuan pembakaran bahan bakar. Penelitian ini meninjau 15 kendaraan yang akan digunakan dalam menentukan rute. Jenis kendaraan dengan kapasitas kurang dari 10 m³ memiliki kemampuan pembakaran sebesar 1/7 sebanyak 10 kendaraan. Jenis kendaraan dengan kapasitas lebih dari 10 m³ memiliki kemampuan pembakaran sebesar 1/6 sebanyak 5 kendaraan.

Data yang mempengaruhi waktu total pengiriman merupakan waktu bongkar muatan dan kecepatan kendaraan. Waktu bongkar muatan yang digunakan sebesar 2 menit untuk perpindahan tiap unit. Data kecepatan kendaraan merupakan data perpindahan antar lokasi sebesar 40 km/jam.

Kebijakan perusahaan merupakan data yang digunakan sebagai batasan model. Kebijakan

yang digunakan ada 2 yaitu satu lokasi hanya boleh dilayani oleh satu kendaraan dan batas waktu total pengiriman selama 7 jam.

Data jumlah pesanan merupakan pemicu agar suatu lokasi dapat dilayani. Data pesanan yang digunakan ada 3 yaitu kasus 1 untuk 24 lokasi, kasus 2 dan 3 untuk 39 lokasi.

Tabel 1. Data pesanan

Kasus	Jumlah pesanan (m ³)
1	74.58
2	55.71
3	24.17

Model Matematis

Model matematis yang digunakan merupakan model HFVRPTW [11]. Pembentukan model matematis disesuaikan dengan kondisi perusahaan yang ditinjau. Model matematis yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

$$O = \min(g \sum_{v \in V} F_v) \tag{1}$$

$$\sum_{v \in V} Y_{iv} = 1, i \neq 1, i \in I \tag{2}$$

$$\sum_{j \in J} Z_{1j}^v = 1, j \neq 1, v \in V \tag{3}$$

$$\sum_{i \in I} Z_{i1}^v = 1, i \neq 1, v \in V \tag{4}$$

$$\sum_{v \in V} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} Z_{ij}^v = 1, i \neq 1, j \neq 1, i \neq j \tag{5}$$

$$q_v \geq \sum_{i \in I} D_i \cdot Y_{iv}, i \neq 1, v \in V \tag{6}$$

$$F_v = \frac{\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (X_{ij} \cdot Z_{ij}^v)}{H_v}, v \in V \tag{7}$$

$$T_v \geq \left[\frac{\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (X_{ij} \cdot Z_{ij}^v)}{s} \right] + \sum_{i \in I} (U_i \cdot Y_{iv} \cdot b), v \in V \tag{8}$$

dimana :

- O* = Total biaya pembakaran yang dihasilkan.
- g* = Biaya pembakaran tiap liter.
- F_v* = Penggunaan bahan bakar kendaraan *v*.
- Z_{ij}^v* = Nilai *binary* agar kendaraan *v* tidak melakukan pengulangan perpindahan lokasi *ij*.
- q_v* = Nilai kapasitas kendaraan *v*.
- D_i* = Nilai volume pesanan dalam lokasi *i*.
- Y_{iv}* = Nilai *binary* menunjukkan bahwa lokasi *i* sudah dilayani kendaraan *v*.
- X_{ij}* = Nilai perpindahan lokasi *i, j*.
- U_i* = Nilai unit pesanan dalam lokasi *i*.
- H_v* = Nilai kemampuan pembakaran kendaraan *v*.
- s* = Nilai kecepatan kendaraan (km/jam).
- b* = Nilai kecepatan waktu bongkar muat.

Pers. (1) merupakan fungsi tujuan dari model yang dibentuk. Fungsi tujuan dari model adalah menghitung total biaya bahan bakar seluruh kendaraan yang melakukan pengiriman. Pers. (2) merupakan batasan agar lokasi i hanya dapat dilayani oleh satu kendaraan.

Pers. (3), (4), dan (5) merupakan batasan agar perpindahan lokasi i ke lokasi j dilakukan satu kali. Pers. (3) sebagai perpindahan depo menuju lokasi pelanggan (1 ke j), Pers. (4) sebagai perpindahan dari lokasi pelanggan menuju depo (i ke 1), dan Pers. (5) sebagai perpindahan antar lokasi pelanggan (i ke j).

Pers. (6) merupakan batasan bahwa pengiriman dapat dilakukan ketika kapasitas kendaraan v (q_v) lebih besar dari jumlah pesanan lokasi i (D_i). Nilai D_i dipengaruhi oleh nilai Y_{iv} . Pers. (7) memiliki fungsi untuk menghitung penggunaan bahan bakar kendaraan v . Penggunaan bahan bakar suatu kendaraan dipengaruhi oleh nilai perpindahan lokasi i ke j (X_{ij}) dan kemampuan bakar dari kendaraan v (H_v).

Pers. (8) merupakan batasan waktu pengiriman total harus lebih kecil dari batas waktu yang ditentukan (T_v). Waktu pengiriman total dipengaruhi oleh dua faktor yaitu waktu perpindahan dan waktu bongkar muat tiap unit. Waktu perpindahan terdiri dari nilai jarak antar lokasi i ke lokasi j (X_{ij}) dan dibagi dengan kecepatan kendaraan (s). Waktu bongkar muatan dipengaruhi dari jumlah pesanan dalam unit (U_i) dikali dengan waktu perpindahan tiap unit (b). Parameter *solver* yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{convergence} &= 1 \times 10^{-12} \\ \text{mutation rate} &= 0,075 \\ \text{population size} &= 100 \\ \text{maximum time without improvement} &= 300 \end{aligned}$$

Penentuan parameter *solver* bertujuan agar hasil yang terbentuk merupakan hasil yang optimum. Nilai *convergence* yang semakin kecil dan *max time without improvement* yang semakin besar membutuhkan waktu yang lebih lama dalam mencari hasil akhir tetapi dengan hasil yang optimum. *Solver* akan membantu model untuk membentuk kromosom urutan lokasi dan kendaraan. Urutan lokasi dan kendaraan akan menjadi acuan dalam hasil rute yang akan terbentuk.

Tabel 2. Contoh kromosom

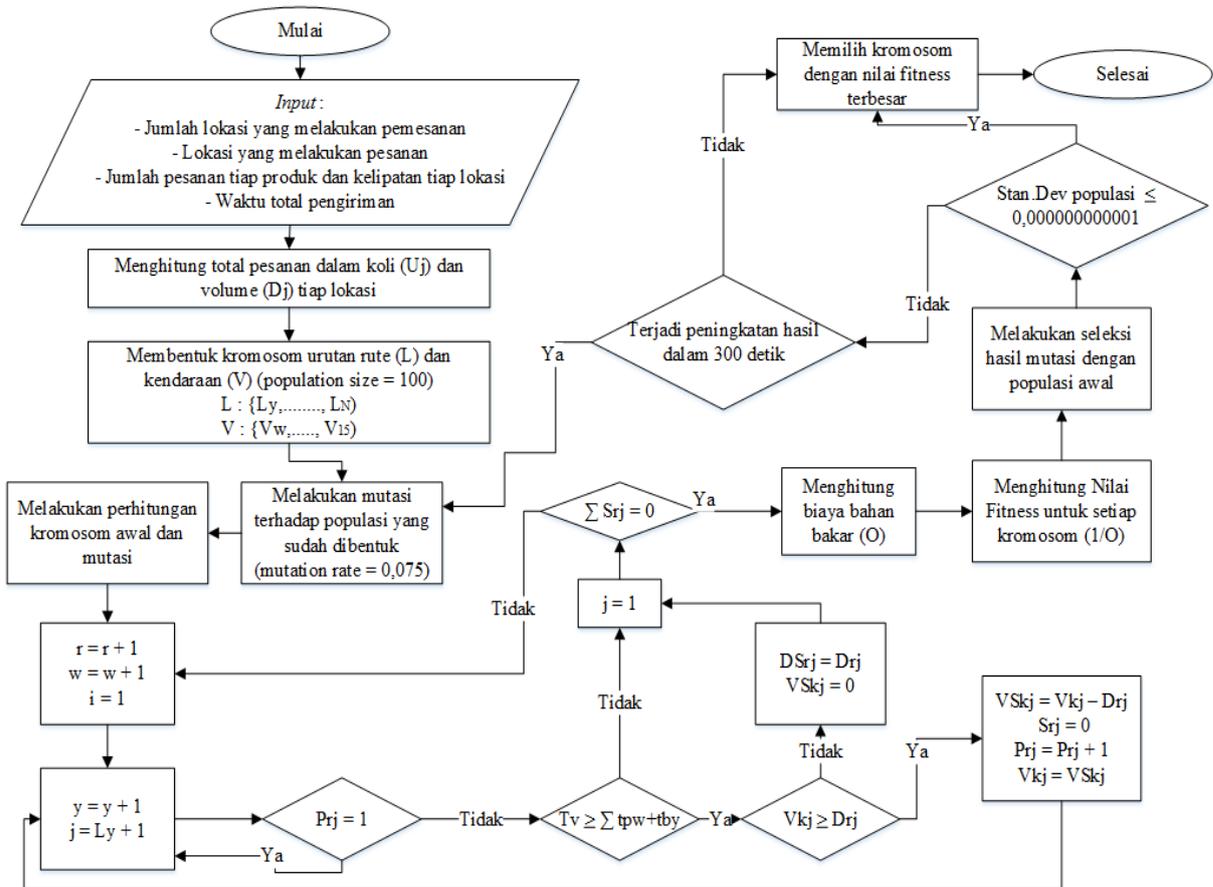
Urutan Kendaraan	Urutan Lokasi
1	2
2	3
3	4
4	5
5	6

Kromosom yang terbentuk akan dimulai sesuai urutan yang ada. Urutan kendaraan yang akan digunakan adalah kendaraan 1, 2, 3, 4, dan 5. Urutan lokasi 2, 3, 4, 5, dan 6 akan dilalui oleh setiap kendaraan. Kendaraan akan memulai pengiriman dari lokasi 1 (depo). Kendaraan terus melakukan pengiriman ketika syarat persamaan terpenuhi. Syarat yang tidak terpenuhi akan membuat kendaraan untuk kembali ke depo dan dibutuhkan kendaraan lain untuk mengirimkan lokasi yang belum terlayani.

Model HFVRPTW

Model HFVRPTW yang sudah terbentuk merupakan gabungan dari model matematis dan parameter *solver* yang sudah dibentuk (Gambar 1). Model HFVRPTW dibagi dalam 3 tahap utama yaitu *input*, proses, dan *output*. Tahap *input* merupakan proses pengisian data penunjang yang akan diolah. Data yang akan digunakan adalah jumlah lokasi pelanggan, pelanggan yang memesan, jumlah pesanan tiap pelanggan, dan waktu total pengiriman. Tahapan *input* sudah berakhir ketika seluruh data sudah diisi.

Tahap proses yaitu proses penentuan rute dengan bantuan *solver*. Proses pertama yang dilakukan adalah melakukan perhitungan total jumlah pesanan dalam volume dan unit (koli). Perhitungan dalam volume dihitung dengan menjumlah seluruh pesanan tiap lokasi dengan Selanjutnya, model akan membentuk kromosom untuk menentukan urutan rute untuk dikunjungi terlebih dahulu dan urutan kendaraan untuk digunakan secara *random*. Kromosom akan dibentuk sebanyak *population size*. Populasi yang sudah terbentuk akan dimutasi dengan jumlah mutasi sebesar 0,075 dari populasi. Selanjutnya, melakukan perhitungan nilai untuk tiap kromosom awal dan hasil mutasi.



Gambar 1. Flowchart model HFVRPTW

Perhitungan dimulai dengan melakukan pengecekan ritase lokasi (P_{ij}). Ritase lokasi akan memiliki nilai 1 jika sudah dikunjungi, dan menunjukkan bahwa kendaraan akan menyelesaikan urutan rute lokasi selanjutnya. Ritase lokasi dengan nilai 0 akan dilanjutkan dengan melakukan pengecekan waktu pengiriman dan kapasitas kendaraan.

Nilai total waktu perpindahan kendaraan ke- w (tp_w) dan waktu bongkar lokasi ke- y (tb_y) yang sudah dan akan ditempuh kurang dari batas waktu total (Tv) akan dilanjutkan pada pengecekan kapasitas. Kapasitas kendaraan pada lokasi j (Vkj) lebih besar dari pesanan pada lokasi j rute ke r (Drj) menunjukkan pengiriman dapat dilakukan dan sisa pesanan (Srj) bernilai 0 serta pengurangan kapasitas tampung kendaraan. Proses ini akan berulang terus sampai salah satu syarat ini tidak terpenuhi dan membuat kendaraan kembali ke depo ($j = 1$). Selanjutnya dilakukan pemeriksaan terhadap sisa pesanan seluruh lokasi. Total sisa pesanan (Srj) $\neq 0$, maka kendaraan selanjutnya akan melanjutkan pengiriman pada urutan lokasi yang

sudah terbentuk. Sebaliknya, perhitungan akan dilanjutkan dengan melakukan perhitungan biaya bahan bakar (O).

Perhitungan yang dilakukan selanjutnya adalah nilai *fitness* ($1/O$) tiap kromosom. Nilai *fitness* yang sudah dihitung menjadi acuan untuk melakukan seleksi hasil mutasi dengan kromosom pada populasi awal. Nilai *fitness* yang lebih baik akan menjadi individu pada populasi baru. Populasi baru yang terbentuk akan dicek nilai konvergensi dan peningkatan yang terjadi. Populasi yang sudah konvergen dan tidak adanya peningkatan akan membuat proses penentuan rute berakhir. Sebaliknya, jika tidak terpenuhi maka akan dilakukan mutasi agar syarat terpenuhi. Model akan dijalankan sebanyak 5 kali untuk melakukan tes konvergensi untuk setiap kasus.

Tujuan tes konvergensi untuk melihat tingkat konvergen dari hasil model HFVRPTW. Tes konvergensi dilakukan dengan melakukan 5 kali replikasi untuk setiap kasus. Contoh hasil 5 kali replikasi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Contoh hasil 5 kali replikasi

Replikasi	Biaya (Rp)
1	255.043
2	241.254
3	252.804
4	250.735
5	252.948

Hasil 5 kali replikasi ini akan dicari nilai *coefficients of variations* (CV). Nilai CV merupakan rasio perbedaan antar hasil replikasi yang terbentuk. Nilai CV didapat dari pembagian nilai standar deviasi dengan rata-rata. Hasil tes konvergensi dari setiap kasus dapat dilihat pada Tabel 4.

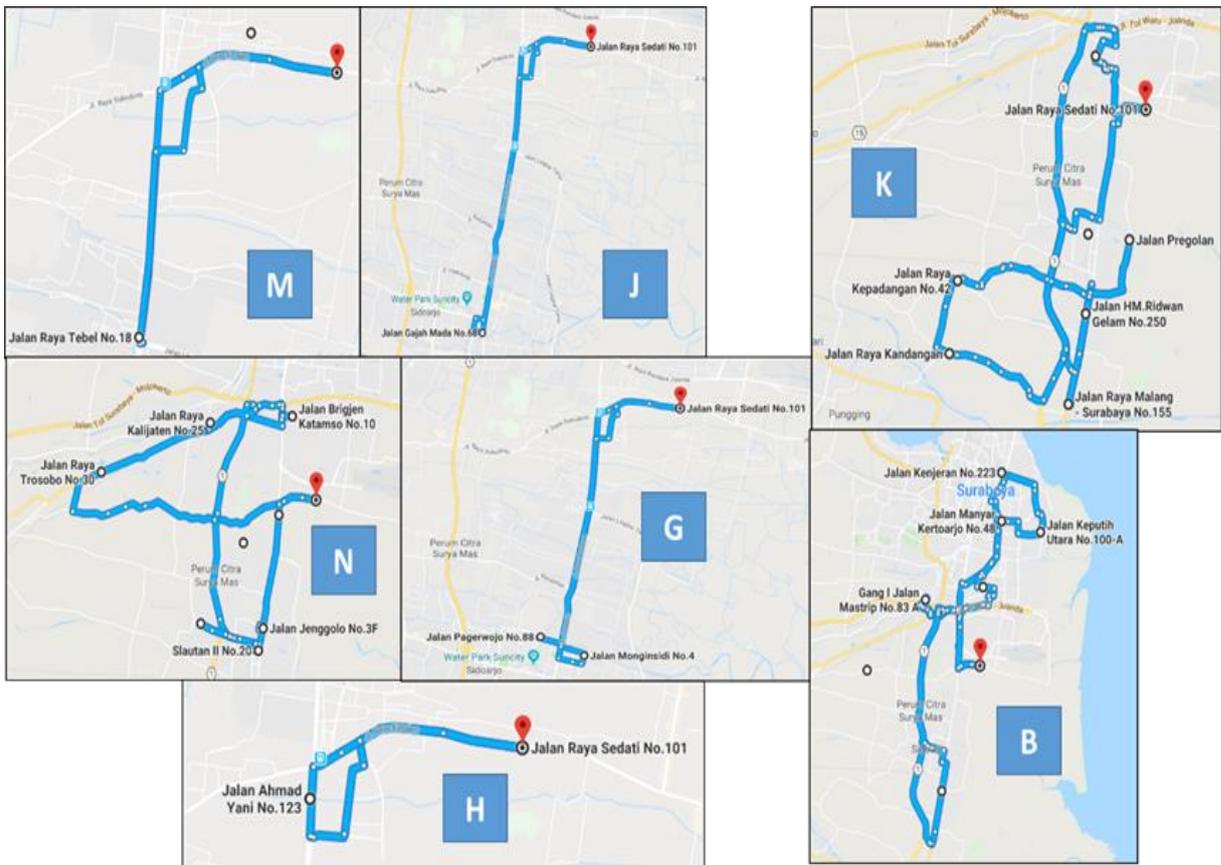
Tabel 4. Hasil tes konvergensi 3 kasus

Kasus	CV
1	2,2 %
2	2 %
3	3 %

Nilai konvergen model yang sudah dibentuk berada diantara 2% - 3%. Nilai konvergen yang sangat kecil menunjukkan bahwa model dapat digunakan.

Penentuan rute model dilakukan setelah melakukan tes konvergensi. Nilai replikasi yang digunakan adalah nilai terkecil. Contoh pemilihan dari hasil replikasi Tabel 2 yang digunakan adalah replikasi kedua. Rute yang terbentuk akan digambarkan menggunakan bantuan *Google Maps*. Rute yang terbentuk akan dikelompokkan sesuai kendaraan yang digunakan. Hasil penentuan rute dapat dilihat pada Gambar 2.

Hasil penentuan rute model akan dibandingkan dengan rute perusahaan. Perbandingan ini dilakukan setelah 5 kali replikasi, tes konvergensi, pemilihan nilai replikasi terbaik, dan pembuatan rute menggunakan *Google Maps*. Perbandingan bertujuan untuk melihat kemampuan model menentukan rute.



Gambar 2. Contoh hasil rute model yang terbentuk

Tabel 5. Hasil penentuan rute model dan perusahaan

Penentuan rute	Kasus	Jumlah kendaraan	Rata-rata utilitas tampung	Total jarak (km)	Total bahan bakar (liter)	Biaya bahan bakar (Rp)
Perusahaan	1	8	86,95	293	44,43	244.409
	2	7	59,56	357,45	59,58	327.662
	3	6	35,89	332	48,27	265.505
Model	1	7	90,84	283,5	43,86	241.254
	2	5	88,59	385,2	55,02	302.657
	3	4	42,95	525	82,78	455.295

Tabel 5 menunjukkan hasil pembentukan rute dalam 3 kasus. Kasus 1 menunjukkan model melakukan penghematan terhadap jumlah kendaraan sebanyak 1 kendaraan serta kasus 2 dan 3 sebanyak 2 kendaraan. Jumlah kendaraan yang semakin sedikit meningkatkan nilai utilitas tampung kendaraan. Peningkatan nilai utilitas tampung menggambarkan penggunaan kapasitas tampung yang lebih maksimal. Kasus 1 memiliki jarak tempuh dan penggunaan bahan bakar yang lebih sedikit dibanding perusahaan. Kondisi ini menyebabkan penghematan biaya bahan bakar sebesar Rp 3.155,00.

Kasus 2 menunjukkan model memiliki peningkatan total jarak tempuh tetapi jumlah bahan bakar yang digunakan lebih sedikit. Kondisi disebabkan jenis kendaraan yang digunakan pada model lebih baik. Nilai bahan bakar yang lebih sedikit menghasilkan penghematan biaya bahan bakar sebesar Rp 25.005,00. Kasus 3 menunjukkan model memiliki nilai jarak, bahan bakar, dan biaya bahan bakar yang lebih tinggi dibandingkan perusahaan. Kondisi ini disebabkan model mengharuskan kendaraan melakukan pengiriman hingga kapasitas tampung maksimal. Penentuan rute perusahaan dilakukan sesuai dengan kebutuhan tanpa ada syarat untuk memenuhi kapasitas.

Hasil penentuan rute menunjukkan model dapat menghasilkan nilai yang lebih minimum daripada perusahaan dalam 2 kasus. Kasus yang diselesaikan oleh model dengan lebih baik memiliki jumlah pesanan yang cukup besar. Kondisi ini menunjukkan bahwa model baik digunakan untuk jumlah total pesanan yang besar.

KESIMPULAN

Hasil permodelan membentuk suatu standar dalam memilih rute. Penentuan rute standar menghasilkan total biaya dengan jumlah

kendaraan yang digunakan. Parameter model menghasilkan nilai konvergen 2-3%. Hasil penentuan rute model akan menghasilkan penghematan kendaraan dengan selisih rata-rata 1,67 kendaraan. Model menghasilkan rute yang lebih baik dalam 2 kasus dari 3 kasus permasalahan. Model akan menghasilkan nilai yang lebih baik ketika jumlah pesanan memiliki nilai yang besar. Pengembangan penelitian yang dapat dilakukan adalah melakukan kluster lokasi. Kluster bertujuan untuk menghasilkan pembentukan rute yang lebih sedikit dalam 1 area yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ç. Koç, T. Bektaş, O. Jabali, and G. Laporte, "A hybrid evolutionary algorithm for heterogeneous fleet vehicle routing problems with time windows," *Comput. Oper. Res.*, vol. 64, pp. 11–27, 2015.
- [2] B. L. Golden, S. Raghavan, and E. A. Wasil, *The vehicle routing problem: latest advances and new challenges*, vol. 43. Springer Science & Business Media, 2008.
- [3] J. Szymon and Ž. Dominik, "Solving multi-criteria vehicle routing problem by parallel tabu search on GPU," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 18, pp. 2529–2532, 2013.
- [4] J. C. Molina, I. Eguia, J. Racero, and F. Guerrero, "Multi-objective vehicle routing problem with cost and emission functions," *Procedia-Social Behav. Sci.*, vol. 160, pp. 254–263, 2014.
- [5] M. Gendreau, G. Laporte, C. Musaraganyi, and É. D. Taillard, "A tabu search heuristic for the heterogeneous fleet vehicle routing problem," *Comput. Oper. Res.*, vol. 26, no. 12, pp. 1153–1173, 1999.
- [6] É. D. Taillard, "A heuristic column generation method for the heterogeneous fleet VRP," *RAIRO-Operations Res.*, vol.

- 33, no. 1, pp. 1–14, 1999.
- [7] J.-F. Cordeau and Q. Groupe d'études et de recherche en analyse des décisions (Montréal, *The VRP with time windows*. Montréal: . Les Cahiers du GERAD, 2000.
- [8] N. Balakrishnan, "Simple heuristics for the vehicle routing problem with soft time windows," *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 44, no. 3, pp. 279–287, 1993.
- [9] X. Yao and Y. Liu, "Fast Evolutionary Programming.," *Evol. Program.*, vol. 3, pp. 451–460, 1996.
- [10] P. Larrañaga and J. A. Lozano, *Estimation of distribution algorithms: A new tool for evolutionary computation*, vol. 2. Springer Science & Business Media, 2001.
- [11] R. Dondo and J. Cerdá, "A cluster-based optimization approach for the multi-depot heterogeneous fleet vehicle routing problem with time windows," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 176, no. 3, pp. 1478–1507, 2007.