

# Penentuan Rute dan Moda Distribusi Sepeda Motor pada PT XYZ dengan Mempertimbangkan Kendaraan yang Heterogen dan Kapasitas Berlebih

Teguh E. N. Sitepu<sup>#1</sup>, Jacqueline E. M. Mantiri<sup>#2</sup>

<sup>#</sup>Departemen Logistik, Institut Teknologi Harapan Bangsa  
Jalan Dipatiukur 80-84, Bandung, Indonesia

<sup>1</sup>teguh\_sitepu@ithb.ac.id

<sup>2</sup>jacquilineericka@gmail.com

**Abstract**— PT XYZ is a distributor of motorcycles in Bandung. Within a day, there are around 12 unit of motorcycles that should be delivered by PT XYZ to various location. The scattered location makes PT XYZ must determine the route and mode of distribution to minimize transportation costs. This paper will solve VRP (Vehicle Routing Problem) faced by PT XYZ. There are few assumptions used in basic VRP model, one of them is the homogeneity of distribution modes and limited vehicle capacity. In fact, PT XYZ can distribute motorcycles using various distribution modes, for example using pick-up and trucks. Moreover, PT XYZ can carry motorcycles exceeding mode capacity but with the consequence of additional cost for bulkheads between motorcycles. Because VRP model is an NP-Hard problem, this paper will propose the development of saving algorithm, to minimize long computing time. The total of transportation costs generated using optimization software reached IDR 86.635,- while the saving algorithm reached IDR 217.898,-. For distribution routes, optimization software produced 5 distribution routes while the saving algorithm produces 3 distribution routes. All routes, both produced by optimization software and the saving algorithm using distribution mode with capacity of 10 units.

**Keywords**— VRP, heterogeneous vehicle, overload capacity, optimization software, saving algorithm

**Abstrak**— PT XYZ merupakan perusahaan yang bergerak pada bidang distribusi sepeda motor di Kota Bandung. Dalam sehari, terdapat sekitar 12 unit permintaan sepeda motor yang harus dipenuhi PT XYZ dari berbagai kecamatan. Lokasi permintaan yang tersebar mengakibatkan PT XYZ harus menentukan rute dan moda distribusi dengan baik agar dapat meminimasi biaya transportasi. Penelitian ini akan menyelesaikan permasalahan VRP (Vehicle Routing Problem) yang dialami oleh PT XYZ. Terdapat beberapa asumsi yang digunakan pada model VRP dasar, salah satunya adalah homogenitas moda distribusi dan kapasitas angkut yang terbatas. Pada kenyataannya, PT XYZ dapat mengirim sepeda motor menggunakan berbagai moda, misalnya menggunakan mobil *pick-up* dan truk. Selain itu, PT XYZ dapat mengangkut sepeda motor melebihi kapasitas angkut namun dengan konsekuensi adanya penambahan biaya untuk sekat antar sepeda motor. Karena model VRP merupakan permasalahan NP-Hard, penelitian ini akan mengusulkan pengembangan algoritme *saving* untuk meminimasi waktu komputasi yang sangat lama. Total biaya transportasi yang dihasilkan menggunakan *software* optimalisasi mencapai Rp86.635,- sedangkan algoritme *saving* menghasilkan Rp217.898,-. Untuk rute pendistribusian, *software* optimalisasi

menghasilkan 5 rute distribusi sedangkan algoritme *saving* menghasilkan 3 rute distribusi. Semua rute, baik yang dihasilkan oleh *software* optimalisasi maupun algoritme *saving* menggunakan kendaraan dengan kapasitas 10 unit.

**Kata Kunci**— VRP, kendaraan heterogen, kapasitas berlebih, *software* optimalisasi, algoritme *saving*

## I. PENDAHULUAN

Menurut [1], distribusi merupakan suatu proses penyediaan barang dan jasa kepada customer. Menurut [2], distribusi sangat berperan penting dalam supply chain. Salah satu perannya ialah mencapai skala ekonomis transportasi. Biaya transportasi per unit semakin rendah manakala volume barang yang diangkut semakin besar. Gudang berperan penting dalam konsolidasi barang agar mencapai skala ekonomis dalam pengangkutan. Oleh karena itu, strategi distribusi harus dipersiapkan dengan matang. Dalam merencanakan distribusi dan penetapan fasilitas distribusi perlu keputusan strategi distribusi. Panduan dalam keputusan strategi distribusi menurut [2] sebagai berikut:

### A. Persyaratan Kapabilitas

Karakteristik produk meliputi nilai produk, ketahanan produk, sensitivitas produk terhadap temperatur, kadaluarsa produk, *volume*, densitas, dan lain-lain merupakan karakteristik yang menjadi pertimbangan dalam mendesain sistem dan fasilitas distribusi.

### B. Design Jaringan

Dalam mendesain jaringan distribusi perlu memperhatikan *positioning inventory*, jumlah, dan lokasi fasilitas distribusi serta kepemilikan gudang. Umumnya, strategi untuk menentukan *positioning inventory*, dibagi menjadi 2, yaitu sentralisasi dan desentralisasi. Keputusan strategi sentralisasi atau desentralisasi *stocking point* didasarkan pada permintaan produk, ekspektasi konsumen, dan biaya penyimpanan *inventory*.

### C. Pertimbangan Fasilitas Warehouse

Pertimbangan fasilitas *warehouse* ialah mencakup keputusan ukuran luas *warehouse* sesuai kebutuhan operasional, *interior layout*, dan lokasi produk.

*Vehicle Routing Problem* (VRP) diperkenalkan pertama kali oleh Dantzig dan Ramser pada tahun 1959 dan semenjak itu telah dipelajari secara luas. VRP adalah salah satu strategi pada transportasi untuk mendukung rute kendaraan. VRP dikenal sebagai permasalahan kombinatorial yang termasuk kategori *NP-Hard* yang berarti waktu komputasi akan meningkat secara eksponensial seiring dengan meningkatnya ukuran permasalahan. Dengan demikian, metode yang tepat untuk permasalahan ini adalah algoritme heuristik.

Penelitian ini membahas tentang permasalahan transportasi yang dialami oleh suatu perusahaan yang bergerak dalam bidang distribusi sepeda motor. Permasalahan termasuk ke dalam permasalahan VRP dengan mempertimbangkan jumlah unit yang berlebih. Selain itu, moda yang digunakan memiliki kapasitas yang berbeda-beda. Karena model VRP merupakan permasalahan *NP-Hard*, penelitian ini juga mengusulkan pengembangan dari algoritme *saving*.

## II. KONTEN UTAMA

### A. Dasar Teori

Pada tahun 1959, Dantzig dan Ramser mengusulkan model *Vehicle Routing Problem* (VRP) sebagai pengembangan lanjut dari permasalahan transportasi. Model VRP dasar terdiri atas  $k$  kendaraan yang berlokasi pada sebuah depot untuk memenuhi permintaan  $n$  pelanggan (lihat Gambar 1) [3]. Fungsi tujuan model VRP dasar adalah minimasi total biaya transportasi. Solusi model VRP dasar diperoleh dengan menentukan rute pengiriman dimana rute dimulai dan berakhir di depot, untuk memenuhi seluruh permintaan pelanggan yang hanya boleh dikunjungi satu kali. Adapun komponen pada model VRP dasar adalah sebagai berikut:

Himpunan:

$N$  = himpunan lokasi

Indeks:

$i, j, p$  = jarak dari lokasi  $i = 1$  menyatakan depot

Parameter:

$r_{ij}$  = jarak dari lokasi  $i$  ke lokasi  $j$

Variabel Keputusan:

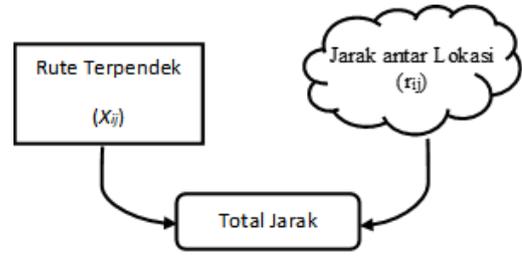
$x_{ij} \begin{cases} 1 & \text{jika kendaraan ke lokasi } j \text{ dari lokasi } i \\ 0 & \text{jika sebaliknya} \end{cases}$

Fungsi Tujuan:

$$\text{Min } Z = \sum_{(i, j) \in N} X_{ij} r_{ij} \quad (1)$$

Fungsi Pembatas:

$$\sum_{j \in N, j \neq i} X_{ij} = 1, \quad \forall p \in N \quad (1)$$



Gambar 1 Model VRP dasar

$$\sum_{i \in N, i \neq p} X_{ip} - \sum_{j \in N, j \neq p} X_{pj} = 0, \quad \forall p \in N \quad (2)$$

$$X_{ij} = \{0, 1\}, \quad \forall p \in N \quad (3)$$

Model VRP dasar, seperti di atas, mengasumsikan bahwa kapasitas kendaraan  $k$  tidak terbatas. Namun pada kenyataannya, setiap kendaraan memiliki kapasitas angkutnya masing-masing. Seperti menurut [4], ada beberapa variasi permasalahan utama dalam VRP dan salah satunya ialah setiap kendaraan memiliki kapasitas yang terbatas. Permasalahan ini disebut CVRP atau *Capacitated Vehicle Routing Problem*. Adapun komponen pada model CVRP adalah sebagai berikut:

Himpunan:

$N$  = himpunan lokasi

$T$  = himpunan kendaraan

Indeks:

$i, j, p$  = lokasi, dimana  $i = 1$  menyatakan depot

$k$  = kendaraan

Parameter:

$r_{i,j}$  = jarak dari lokasi  $i$  ke lokasi  $j$

$D_i$  = permintaan dari lokasi  $i$

$Q_k$  = kapasitas kendaraan  $k$

Variabel Keputusan:

$x_{ijk} \begin{cases} 1 & \text{jika kendaraan } k \text{ ke lokasi } j \text{ dari lokasi } i \\ 0 & \text{jika sebaliknya} \end{cases}$

Fungsi Tujuan:

$$\text{Min } Z = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in T} X_{ijk} r_{ij}$$

Fungsi Pembatas:

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in T} X_{ijk} = 1, \quad \forall j \in N, j \neq 1 \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N} \sum_{k \in T} X_{ijk} = 1, \quad \forall j \in N, i \neq 1 \quad (5)$$

$$\sum_{i \in N, i \neq p} X_{ipk} - \sum_{j \in N, j \neq p} X_{pj k} = 0, \quad \forall k \in T, p \in N, p \neq 1 \quad (6)$$

$$U_{ik} - U_{jk} + N \cdot X_{ijk} \leq N - 1, \quad \forall k \in T, i \in N, i \neq 1, j \in N, j \neq 1 \quad (7)$$

$$\sum_{i \in N, i \neq 1} \sum_{j \in N} X_{ijk} D_i \leq Q_k, \quad \forall k \in T \quad (8)$$

$$X_{iik} = 0, \quad \forall k \in T, i \in N \quad (9)$$

$$X_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall k \in T, i \in N, j \in N \quad (10)$$

Namun, pada penelitian ini digunakan model VRP dengan mempertimbangkan kapasitas yang berlebih dengan syarat akan dikenakan biaya pinalti terhadap jumlah yang berlebih dan kendaraan yang heterogen.

### B. Metodologi Penelitian

Ref. [5] mengembangkan model penentuan rute kendaraan yang mempertimbangkan kapasitas yang berlebih. Adapun komponen pada model [5] yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Asumsi:

- Permintaan diketahui
- Tidak mempertimbangkan jendela waktu
- Produk tidak memiliki masa kadaluarsa
- Biaya bensin untuk semua kendaraan sama

Indeks:

$i, j, p, i, j, k$  = lokasi  
 $k$  = kendaraan

Parameter:

$r_{ij}$  = jarak dari lokasi  $i$  ke lokasi  $j$  (km)  
 $C_k$  = kapasitas maksimum kendaraan  $k$  (unit)  
 $D_i$  = permintaan pada lokasi  $i$  (unit)  
 $\lambda_k$  = biaya pinalti kendaraan  $k$  (Rp/unit)  
 $E$  = biaya transportasi per jarak (Rp/km)

Variabel:

$CT_{ij}$  = biaya transportasi dari lokasi  $i$  ke lokasi  $j$  (Rp)  
 $VL_k$  = jumlah kapasitas kendaraan  $k$  yang berlebih (unit)  
 $Q_k$  = kapasitas aktual kendaraan  $k$  (unit)  
 $U_{ik}$  = variabel eliminasi subrute pada lokasi  $i$  untuk kendaraan  $k$

Variabel Keputusan:

$x_{ijk} \begin{cases} 1 & \text{jika kendaraan } k \text{ berangkat dari } i \text{ ke } j \\ 0 & \text{jika sebaliknya} \end{cases}$

Fungsi Tujuan:

$$\text{Min } Z = \sum_{(i, j) \in N} \sum_{k \in K} CT_{ij} X_{ijk} + \sum_{k \in K} \lambda_k VL_k \quad (11)$$

Fungsi Pembatas:

$$\sum_{i \in N, i \neq j} \sum_{k \in K} X_{ijk} = 1, \quad \forall j \in N, j > 1 \quad (12)$$

$$\sum_{j \in N, j \neq i} \sum_{k \in K} X_{ijk} = 1, \quad \forall i \in N, i > 1 \quad (13)$$

$$\sum_{i \in N, i \neq p} X_{ipk} - \sum_{j \in N, j \neq p} X_{pj k}, \quad (14)$$

$$\forall p \in N, p > 1, k \in T$$

$$\sum_{i \in N, i > 1} \sum_{j \in N, j \neq 1} D_i X_{ijk} = Q_k, \quad \forall k \in T \quad (15)$$

$$VL_k = \begin{cases} 0 & \text{jika } Q_k \leq C_k, \forall k \in T \\ Q_k - C_k & \text{jika } Q_k > C_k, \forall k \in T \end{cases} \quad (16)$$

$$CT_{ij} = r_{ij} E, \quad \forall (i, j) \in N \quad (17)$$

$$U_{ik} - U_{jk} + NX_{ijk} \leq N - 1, \quad \forall i \in N, i > 1, j \in N, j > 1, k \in T \quad (18)$$

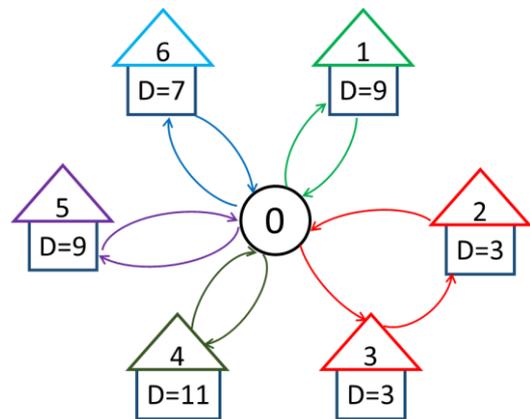
$$X_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in N, k \in N \quad (19)$$

Persamaan (11) dan (12) digunakan untuk memastikan bahwa hanya ada 1 kendaraan yang akan berangkat dari 1 sumber ke 1 tujuan. Persamaan (13) digunakan untuk memastikan kontinuitas rute. Persamaan (14) digunakan untuk menentukan kapasitas yang akan diangkut oleh kendaraan  $k$ . Persamaan (15) digunakan untuk menentukan kuantitas yang berlebih. Persamaan (16) digunakan untuk mengetahui biaya transportasi dari node  $i$  ke node  $j$ . Persamaan (17) digunakan untuk mengeliminasi subrute. Persamaan (18) menyatakan bahwa  $X_{ijk}$  merupakan bilangan biner.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

PT XYZ adalah perusahaan yang bergerak di bidang distributor sepeda motor di Bandung. PT XYZ melakukan pengiriman sepeda motor ke beberapa kecamatan di kota Bandung, seperti ditunjukkan pada Tabel I.

Berdasarkan perhitungan *software* optimisasi, diperoleh rute optimal untuk pendistribusian PT XYZ yang dapat dilihat pada Gambar 2. Total biaya untuk keseluruhan rute optimal yang dihasilkan oleh *software* adalah Rp86.635,00. Adapun perhitungan manual total biaya dari rute optimal yang dihasilkan *software* optimisasi dapat dilihat pada Tabel II.



Gambar 2 Rute optimal

Untuk menguji waktu komputasi dari model dibuat, penelitian ini melakukan simulasi dengan 5 titik, 6 titik, dan 10 titik. Namun, solusi optimal global untuk 10 titik tidak ditemukan karena waktu komputasi yang sangat lama. Grafik waktu komputasi keempat pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3 menunjukkan bahwa permasalahan ini termasuk ke NP-hard karena waktu komputasi meningkat secara eksponensial seiring dengan kompleksitas permasalahan. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan pengembangan pada algoritme *saving* untuk mengakomodir kapasitas yang berlebih.

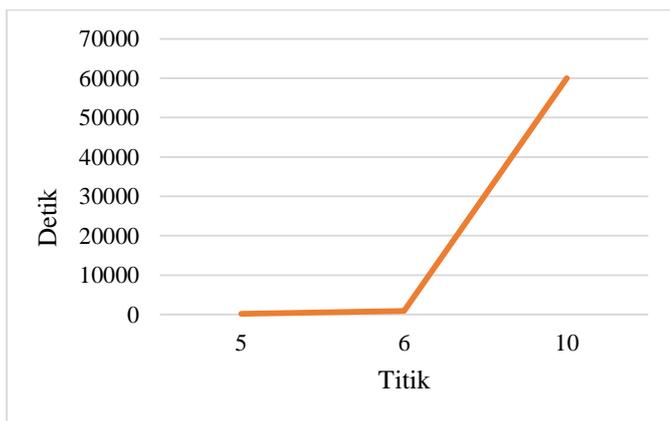
Adapun langkah-langkah untuk menggunakan algoritme *saving* adalah sebagai berikut:

Langkah 0:

Mulai dengan solusi awal dengan tiap pelanggan dikunjungi oleh satu rute kendaraan.

Langkah 1:

Hitung penghematan (*saving*) untuk tiap pasang pelanggan  $i \in C$  dan  $j \in C$  dengan rumusan  $S_{ij} = C_{0i} + C_{j0} - C_{ij}$ . Urutkan penghematan dalam suatu daftar secara menurun (atau mulai dari yang terbesar hingga terkecil).



Gambar 3 Grafik waktu komputasi

TABEL I  
DATA LOKASI PENGIRIMAN

Titik	Lokasi	Permintaan (unit)
0	PT. XYZ	0
1	Kec. Andir	9
2	Kec. Antapani	3
3	Kec. Arcamanik	3
4	Kec. Astana Anyar	11
5	Kec. Babakan Ciparay	9
6	Kec. Bandung Kidul	7

Langkah 2:

Tentukan busur  $(i,j)$  yang layak dalam daftar penghematan yang memenuhi:

1. Pelanggan  $i$  dan pelanggan  $j$  merupakan terletak pada rute yang berbeda.
2. Pelanggan  $i$  dan pelanggan  $j$  merupakan pelanggan pertama atau pelanggan terakhir yang dikunjungi pada rute yang bersangkutan.

Langkah 3:

Jika kuantitas yang mencakup pelanggan  $i$  dan pelanggan  $j$  melebihi kapasitas muat kendaraan  $k$ , maka dilakukan perbandingan biaya antara kendaraan  $k$  dan kendaraan  $k+1$ . Jika kuantitas yang mencakup pelanggan  $i$  dan pelanggan  $j$  kurang dari kapasitas muat kendaraan  $k$ , maka dilakukan perbandingan biaya antara kendaraan  $k$  dan kendaraan  $k-1$ . Perbarui solusi dengan menambah busur  $(i,j)$  dan menghapus busur-busur  $(0,i)$  dan  $(j,0)$ .

Langkah 4:

Ulangi langkah 3 sehingga tidak ada lagi busur yang memenuhi 3 kondisi pada langkah 3 atau terdapat penghematan yang negatif.

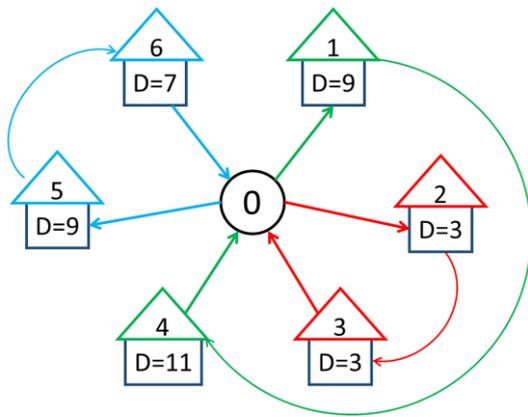
Berdasarkan perhitungan menggunakan algoritme *saving*, diperoleh hasil penghematan yang dapat dilihat pada Tabel III. Berdasarkan perhitungan dari algoritme *saving*, diperoleh rute optimal untuk pendistribusian PT XYZ yang dapat dilihat pada Gambar 4.

TABEL II  
TOTAL BIAYA SETIAP RUTE

Titik	Kendaraan	CT	$\lambda_k$	OT
(1)	k=12	Rp11.478,00	Rp -	Rp11.478,00
(3,2)	k=9	Rp18.737,00	Rp -	Rp18.737,00
(4)	k=15	Rp11.141,00	Rp10.000,00	Rp21.141,00
(5)	k=13	Rp17.724,00	Rp -	Rp17.724,00
(6)	k=16	Rp17.555,00	Rp -	Rp17.555,00

TABEL III  
HASIL PERHITUNGAN ALGORITME SAVING

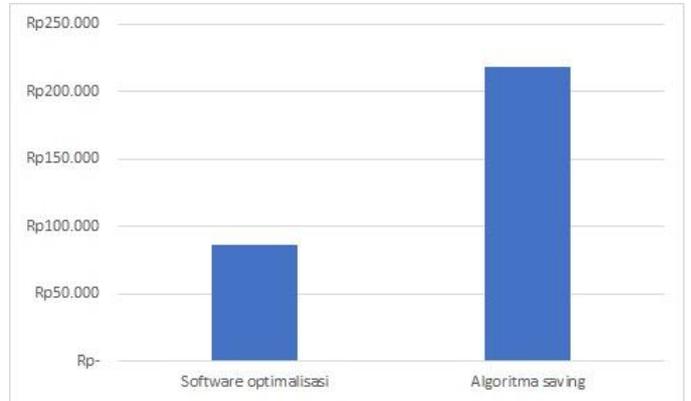
Titik	$S(i,j)$
(2,3)	14,4
(5,6)	13,7
(4,5)	12,7
(1,5)	11,7
(4,6)	10,2
(2,6)	9,4
(3,6)	8,7
(1,4)	8,5
(1,6)	6,8
(2,5)	6,2
(2,4)	5,9
(3,4)	5,2
(3,5)	4,1
(1,2)	3,4
(1,3)	2,6



Gambar 4 Rute optimal algoritme *saving*

TABEL IV  
TOTAL BIAYA SETIAP RUTE

Titik	Kendaraan	CT	$\lambda_k$	OT
(2,3)	k=10	Rp 18.736,80	Rp -	Rp 18.736,80
(5,6)	k=11	Rp 23.716,40	Rp 60.000,00	Rp 83.716,40
(1,4)	k=12	Rp 15.445,20	Rp 100.000,00	Rp 115.445,20



Gambar 5 Perbandingan total biaya

Setelah mendapatkan rute optimal, dilakukan pertimbangan untuk memilih kendaraan yang akan digunakan. Hal ini dilakukan agar PT XYZ menggunakan kendaraan yang tepat sehingga dapat meminimasi biaya transportasi. Total biaya dari masing-masing rute terpilih dapat dilihat pada Tabel IV. Berdasarkan perhitungan tersebut, total biaya untuk keseluruhan rute menggunakan algoritme *saving* adalah Rp217.898,00.

Hasil perhitungan total biaya pengiriman dari komputasi optimalisasi dan algoritme *saving* menunjukkan perbedaan yang sangat jauh, yang dapat dilihat pada Gambar 5. Terlihat jelas bahwa total biaya menggunakan rute yang merupakan hasil dari komputasi optimalisasi sangat jauh lebih murah dibandingkan menggunakan rute yang dihasilkan oleh algoritme *saving*.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian mengenai penentuan rute optimal yang menggunakan model VRP dengan mempertimbangkan kapasitas angkut yang berlebih dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Rute optimal pendistribusian sepeda motor yang dihasilkan oleh ialah 5 rute distribusi dan algoritme *saving* ialah 3 rute distribusi.
2. Total biaya pengiriman dari rute yang dihasilkan optimalisasi ialah sebesar Rp 86.635,00 dan algoritme *saving* ialah sebesar Rp 217.898,00.
3. Semua rute, baik yang dihasilkan oleh *software* optimalisasi dan algoritme *saving* menggunakan kendaraan yang berkapasitas 10 unit.

#### DAFTAR REFERENSI

- [1] P. Kotler and G. Armstrong. *Principles of Marketing*. New Jersey: Prentice Hall, 2012.
- [2] J. J. Coyle, C. J. Langley, R. A. Novack, and G. Brian J. *Supply Chain Management: A Logistics Perspective*, 10<sup>th</sup> Edition. Cengage Learning, 2017.
- [3] T. Caric, A. Galic, J. Fosin, H. Gold, and A. Reinholz. "a Modelling and Optimization Framework for Real-World Vehicle Routing Problem," *Journal of Vehicle Routing Problem*, 1, pp.15-34, 2008.
- [4] P. Toth and D. Vigo. 2002. *The Vehicle Routing Problem*. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2002.
- [5] M. N. Kritikos and G. Ioannou. "The Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Overloads and Time Windows," *International Journal of Production Economics*, 144, pp.68-75, 2013.

**Teguh Ersada Natail Sitepu**, menerima gelar Sarjana Teknik dari USU Departemen Teknik Industri pada tahun 2014 dan gelar Magister Teknik dari ITB Departemen Teknik dan Manajemen Industri pada tahun 2017. Saat ini aktif sebagai Dosen Tetap di Departemen Logistik ITHB. Minat penelitian: Riset Operasi, Statistika Industri, dan Manajemen Inovasi.

**Jacquiline Ericka Margareth Mantiri**, lahir pada tahun 1998 di Balikpapan. Saat ini, sedang menempuh jenjang pendidikan S1 di Departemen Logistik ITHB. Minat penelitian: Distribusi dan Transportasi.

*Halaman kosong*