



Penyelesaian *Split Delivery VRP* dengan *Ant Colony Optimization* (Studi Kasus: Pengiriman Produk di PT Sinarmas Distribusi Nusantara)

Anita BR Ginting^{1✉}, Reza Fayaqun², Muhammad Ardhya Bisma³

Program Studi D4 Logistik Bisnis, Sekolah Vokasi, Universitas Logistik dan Bisnis Internasional, Bandung^(1,2,3)

DOI: 10.31004/jutin.v7i1.24844

✉ Corresponding author:
[itaginting02@gmail.com]

Article Info	Abstrak
<p><i>Kata kunci:</i> <i>SDVRP;</i> <i>Ant Colony Optimization;</i> <i>Metaheuristic;</i> <i>Optimization;</i> <i>NP-Hard Problem</i></p>	<p>PT Sinarmas Distribusi Nusantara melakukan pengiriman produk-produk setiap hari ke semua <i>Distribution Center (DC)</i>. Saat ini PT Sinarmas Distribusi Nusantara menggunakan rute yang sudah ditentukan pada setiap harinya dengan menggunakan kendaraan Colt Diesel Double (CDD) dengan kapasitas angkutan maksimal 500 karton. Saat ini banyaknya produk yang dibawa setiap kendaraan tidak pernah mencapai kapasitas angkut maksimal. PT Sinarmas Distribusi Nusantara menginginkan kapasitas angkut kendaraan dapat digunakan secara maksimal. Permasalahan rute pada PT Sinarmas Distribusi Nusantara ini dapat didefinisikan sebagai <i>Split Delivery Vehicle Routing Problem (SDVRP)</i>. <i>Ant Colony Optimization (ACO)</i> merupakan <i>metaheuristic</i> yang dapat digunakan untuk menyelesaikan <i>SDVRP</i>. Dengan menggunakan <i>ACO</i>, rute yang dihasilkan selalu lebih pendek dibandingkan rute saat ini dan jumlah kendaraan yang digunakannya pun lebih sedikit.</p>
<p><i>Keywords:</i> <i>SDVRP;</i> <i>Ant Colony Optimization;</i> <i>Metaheuristic;</i> <i>Optimization;</i> <i>NP-Hard Problem</i></p>	<p>Abstract</p> <p><i>PT Sinarmas Distribusi distributes its products to all Distribution Center (DC) every day. Currently PT Sinarmas Distribution Nusantara uses a predetermined route every day using Colt Diesel Double vehicles with maximum transport capacity of 500 cartons. Currently the number of products carried by each vehicle never reaches its maximum carrying capacity. PT Sinarmas Distribusi Nusantara wants vehicle transport capacity to be used optimally. This route problem at PT Sinarmas Distribusi Nusantara can be defined as Split Delivery Vehicle Routing Problem (SDVRP). Ant Colony Optimization (ACO) is a metaheuristic that can be used to solve SDVRP. By using ACO the resulting route is always shorter than the current route and the number of vehicles used is smaller.</i></p>

1. INTRODUCTION

PT Sinarmas Distribusi Nusantara adalah perusahaan yang bergerak di bidang distribusi dengan 26 cabang dan 100 sub distribusi yang tersebar di seluruh Indonesia. PT Sinarmas Distribusi Nusantara melayani proses penjualan dan distribusi produk-produk konsumen dari merk *FMGC (Fast Moving Consumer Goods)* ternama keseluruh pasar tradisional, pasar modern, toko grosir dan industri layanan makanan hingga 200.000 titik distribusi (*PT Sinarmas Distribusi Nusantara, n.d.*).

PT Sinarmas Distribusi Nusantara melakukan pengiriman produk-produk setiap hari ke semua *Distribution Center (DC)*. Pengiriman produk berasal dari Gudang Malatek ke seluruh *DC* yaitu, Lotte Grosir Pasar Rebo, Lotte Mart Fatmawati, PT Sumber Alfaria Triajaya (SAT) Parung, PT Indomarco Pristama Parung, PT Indomarco Pristama Sentul, Lotte Grosir Pekansari, AEON Mall Sentul, Indogrosir Bogor, PT Indomarco Pristama Cab. Bogor 2 dan Lotte Grosir Bogor. Rute pengiriman sudah ditentukan oleh PT Sinarmas Distribusi Nusantara, yaitu sebagai berikut ini (*PT Sinarmas Distribusi Nusantara, n.d.*):

1. Rute A
Gudang Malatek – Lotte Grosir Pasar Rebo – Lotte Mart Fatmawati – Gudang Malatek
2. Rute B
Gudang Malatek – PT Sumber Alfaria Triajaya (SAT) Parung – PT Indomarco Pristama Parung – Gudang Malatek
3. Rute C
Gudang Malatek – PT Indomarco Pristama Sentul – Lotte Grosir Pekansari – AEON Mall Sentul – Gudang Malatek
4. Rute D
Gudang Malatek – Indogrosir Bogor – PT Indomarco Pristama Cab. Bogor 2 – Lotte Grosir Bogor – Gudang Malatek

Banyaknya produk yang dikirim ke seluruh *DC* berbeda-beda setiap harinya dan kendaraan yang digunakan adalah *Colt Diesel Double (CDD)* dengan kapasitas angkut maksimal 500 karton. Saat ini banyaknya produk yang dibawa setiap kendaraan tidak pernah mencapai kapasitas angkut maksimal. PT Sinarmas Distribusi Nusantara menginginkan kapasitas angkut kendaraan dapat digunakan secara maksimal dengan harapan dapat mengurangi jumlah kendaraan yang digunakan dan mengurangi total panjang rute, walaupun hal ini dapat menyebabkan pengiriman produk ke suatu *DC* harus dilakukan oleh lebih dari satu kendaraan. Oleh karena itu perlu dilakukan penentuan ulang rute pengiriman. Permasalahan penentuan rute dengan jumlah depot satu, kapasitas kendaraan diketahui dan diijinkannya pengiriman produk ke suatu titik dilakukan oleh lebih dari satu kendaraan didefinisikan sebagai *Split Delivery Vehicle Routing Problem (SDVRP)* (Min et al., 2020).

Split Delivery Vehicle Routing Problem (SDVRP) merupakan pengembangan dari *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)* yang memungkinkan sebuah titik dikunjungi lebih dari sekali untuk pemenuhan kebutuhannya. Pada *SDVRP*, kebutuhan dari sebuah titik mungkin lebih banyak dari pada kapasitas kendaraan. Dengan demikian dimungkinkan ada titik yang dikunjungi oleh beberapa kendaraan dan pemenuhan kebutuhan titik tersebut dibagi pada kendaraan-kendaraan tersebut, bahkan hal ini dapat dilakukan pada titik yang kebutuhannya tidak melebihi kapasitas kendaraan (Shi et al., 2018).

Pada *SDVRP* jumlah produk yang dibawa oleh kendaraan untuk titik yang dikunjungi lebih dari satu kali, menjadi sebuah variabel. Hal ini menyebabkan meningkatnya kompleksitas *VRP*. Kompleksitas ini menjadikan *SDVRP* sebuah *NP-Hard Problem (Nondeterministic polynomial time)* (Ozbaygin et al., 2018). Dalam menyelesaikan *NP-Hard Problem* diperlukan waktu yang sangat lama, yang tidak wajar untuk ditunggu (Cook et al., 2011). Meskipun demikian *NP-Hard Problem* dapat diselesaikan dalam jangka waktu yang wajar dengan menggunakan algoritma *heuristic* atau *metaheuristic*, meskipun solusi yang dihasilkan belum tentu yang terbaik (Labadie et al., 2016).

Ant Colony Optimization (ACO) merupakan sebuah *metaheuristic* dimana sekumpulan semut tiruan bekerja sama untuk menemukan solusi yang baik dalam menyelesaikan masalah optimasi (Dorigo et al., 2006). Konsep *ACO* ini terinspirasi dari perilaku semut. Semut adalah serangga yang hidup secara berkoloni dan berperilaku untuk kepentingan koloni. Hal menarik dari perilaku semut adalah kemampuannya untuk menemukan rute terpendek antara sarangnya dengan sumber makan (Santosa, 2017).

Dengan adanya kemampuan ACO dalam menyelesaikan *NP-Hard Problem* dan dengan adanya permasalahan *SDVRP* di PT Sinarmas Distribusi Nusantara, maka pada *paper* ini akan dibahas mengenai penyelesaian *SDVRP* dengan ACO (Studi Kasus: Pengiriman Produk di PT Sinarmas Distribusi Nusantara).

2. METHODS

Langkah-langkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut ini:

1. Pengumpulan Data
Pengumpulan data yang diperlukan, dilakukan langsung di PT Sinarmas Distribusi Nusantara. Data tersebut adalah sebagai berikut ini:
 - a) Rute yang digunakan oleh PT Sinarmas Distribusi Nusantara.
 - b) Banyaknya produk yang dikirim untuk semua DC dari tanggal 7 Juni sampai dengan 14 Juni 2023.
 - c) Kapasitas maksimum kendaraan yang digunakan.
2. Pengambilan Data Jarak
Jarak antara setiap titik diambil dari google maps.
3. Pengembangan *Ant Colony Optimization*
Pada tahap ini dikembangkan sebuah *Ant Colony Optimization* yang sesuai dengan permasalahan *SVRP*.
4. Menulis *Program* Dalam *GNU Octave*
Ant Colony Optimization yang dikembangkan diterjemahkan ke dalam *Program* yang ditulis di dalam *GNU Octave*. Dengan demikian penyelesaian *SDVRP* di PT Sinarmas Distribusi Nusantara dapat dilakukan dengan bantuan komputer.
5. Menjalankan *Program*
Program yang telah selesai ditulis di dalam *GNU Octave* dijalankan agar penyelesaian *SDVRP* di PT Sinarmas Distribusi Nusantara dapat dilakukan. *Program* ini akan menghasilkan solusi berupa banyaknya rute, urutan kunjungan pada setiap rute, banyaknya produk yang dibawa oleh setiap kendaraan, banyaknya produk yang dikirimkan untuk setiap titik dan jumlah panjang seluruh rute.
6. Membandingkan Rute Yang Diperoleh
Rute yang diperoleh setelah menjalankan *program*, dibandingkan dengan rute yang saat ini digunakan oleh PT Sinarmas Distribusi Nusantara.

3. RESULT AND DISCUSSION

Berikut ini merupakan hasil penelitian berdasarkan langkah-langkah pada bagian *methods*.

A. Pengumpulan Data

Rute yang digunakan oleh PT Sinarmas Distribusi Nusantara adalah sebagai berikut ini:

1. Rute A
Gudang Malatek – Lotte Grosir Pasar Rebo – Lotte Mart Fatmawati – Gudang Malatek
2. Rute B
Gudang Malatek – PT Sumber Alfaria Triajaya (SAT) Parung – PT Indomarco Pristama Parung – Gudang Malatek
3. Rute C
Gudang Malatek – PT Indomarco Pristama Sentul – Lotte Grosir Pekansari – AEON Mall Sentul – Gudang Malatek
4. Rute D
Gudang Malatek – Indogrosir Bogor – PT Indomarco Pristama Cab. Bogor 2 – Lotte Grosir Bogor – Gudang Malatek

Banyaknya produk yang dikirim untuk semua DC dari tanggal 7 Juni sampai dengan 14 Juni 2023 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1: Banyaknya Produk Yang Dikirim Untuk Semua DC (Karton)

Tanggal	Distribution Center									
	Lotte Grosir Pasar Rebo	Lotte Mart Fatmawati	PT Sumber Alfaria Triajaya (SAT) Parung	PT Indomarco Prostama Parung	PT Indomarco Pristama Sentul	Lotte Grosir Pekansari	AEON Mall Sentu	Indogrosir Bogor	PT Indomarco	Lotte Grosir Bogor
07/06/2023	117	128	123	112	95	148	117	130	147	118
08/06/2023	138	100	145	130	139	118	153	178	156	91
09/06/2023	134	115	125	115	148	135	102	115	122	103
10/06/2023	110	190	178	122	94	126	80	135	146	154
12/06/2023	129	121	138	100	133	148	197	156	124	109
13/06/2023	145	103	156	94	141	149	97	118	146	152
14/06/2023	84	178	117	111	125	138	127	134	117	99

Kapasitas maksimum dari kendaraan yang digunakan adalah 500 karton.

B. Pengambilan Data Jarak

Pada tabel 2 dapat dilihat Data jarak antara setiap titik.

Tabel 2: Jarak Antara Setiap Titik (Km)

No	Distribution Center	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Gudang Malatek	0	9,1	23	24	36,8	28,6	26,6	28,4	27,7	27,9	34,2
2	Lotte Grosir Pasar Rebo	9,1	0	10,8	28,4	37,2	32	33,4	35,1	34,4	34,6	41
3	Lotte Mart Fatmawati	23	10,8	0	24,7	31,3	44,7	46,1	47,7	47,1	47,4	53,7
4	PT.Sumber Alfaria Triajaya (SAT) Parung	24	28,4	24,7	0	8,5	32,4	33,8	28,5	34,8	35,1	18,7
5	PT. Indomarco Pristama Parung	36,8	37,2	31,3	8,5	0	38,9	40,3	35	41,3	41,6	25,2
6	PT. Indomarco Pristama Sentul	28,6	32	44,7	32,4	38,9	0	1,8	9	2,8	3,1	14,8
7	Lotte Grosir Pekansari	26,6	33,4	46,1	33,8	40,3	1,8	0	10,6	1,8	3,1	16,4
8	AEON Mall Sentul	28,4	35,1	47,7	28,5	35	9	10,6	0	11,8	12,1	10,7
9	Indogrosir Bogor	27,7	34,4	47,1	34,8	41,3	2,8	1,8	11,8	0	1	17,1
10	PT. Indomarco Pristama Cab.Bogor 2	27,9	34,6	47,4	35,1	41,6	3,1	3,1	12,1	1	0	17,5
11	Lotte Grosir Bogor	34,2	41	53,7	18,7	25,2	14,8	16,4	10,7	17,1	17,5	0

C. Pengembangan Ant Colony Optimization

Ant Colony Optimization yang dikembangkan bisa berbeda-beda walaupun masalah yang akan diselesaikan merupakan masalah yang sama. Perbedaan ini dikarenakan setiap orang mempunyai cara dan kreatifitas masing-masing dalam mengembangkan sebuah *Ant Colony Optimization*. *Ant Colony Optimization* untuk menyelesaikan *SDVRP* yang dikembangkan pada penelitian ini sangat mungkin berbeda dengan *Ant Colony Optimization* yang dikembangkan pada penelitian lainnya, walaupun tujuannya sama yaitu untuk menyelesaikan *SDVRP*.

1. *Parameters*

Parameter-parameter *Ant Colony Optimization* yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) α (Derajat Kepentingan *Pheromone*)
- b) β (Derajat Kepentingan kebalikan jarak antar titik)
- c) ρ (Derajat Penguapan *Pheromone*)
- d) m (Jumlah Semut)
- e) $\tau_{ij}(1)$ (Kepekatan *Pheromone* Pada Iterasi 1)
- f) R (Maksimal Iterasi)

Nilai-nilai parameter ini dapat mempengaruhi performansi dari *ACO*. Biasanya pengukuran performansi tersebut adalah berdasarkan solusi yang dihasilkan dan waktu perhitungan yang diperlukan. Tidak dapat diketahui nilai-nilai parameter yang dapat menjadi performansi *ACO* menjadi performansi terbaik. Penentuan

nilai-nilai parameter ini tidak ada ketentuannya, sehingga nilai-nilai ini ditentukan langsung oleh pengguna ACO. Dikarenakan hal ini, yang dapat dilakukan adalah dengan menguji beberapa nilai-nilai parameter dan kemudian membandingkan performansi ACO untuk setiap nilai-nilai parameter (Sanggala & Bisma, 2023).

Dikarenakan tidak ada ketentuan dalam menentukan nilai-nilai parameter, maka pada penelitian ini akan dilakukan 12 kali percobaan, dimana setiap percobaan akan menggunakan nilai-nilai parameter yang berbeda. Solusi dari setiap percobaan akan dibandingkan untuk kemudian diambil satu solusi yang terbaik. Pada tabel 3 dapat dilihat nilai-nilai parameter yang akan digunakan.

Tabel 3: Nilai-Nilai Parameter Yang Digunakan

Percobaan	α	β	ρ	m	τ	R
1	1	1	0,01	5	10	100
2	1	1	0,01	10	10	100
3	2	1	0,01	5	10	100
4	2	1	0,01	10	10	100
5	2	2	0,01	5	10	100
6	2	2	0,01	10	10	100
7	1	1	0,02	5	10	100
8	1	1	0,02	10	10	100
9	2	1	0,02	5	10	100
10	2	1	0,02	10	10	100
11	2	2	0,02	5	10	100
12	2	2	0,02	10	10	100

Peluang suatu jalur untuk dilewati oleh semut dapat dituliskan pada persamaan berikut ini (Gao, 2020):

$$P_{ij}^k(t) = \frac{\tau_{ij}^\alpha(t) \cdot \eta_{ij}^\beta}{\sum_{j \in N_i^k} \tau_{ij}^\alpha(t) \cdot \eta_{ij}^\beta}, \text{ if } j \in N_i^k$$

$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$$

- $P_{ij}^k(t)$: peluang semut k memilih jalur dari titik i ke titik j
- t : iterasi
- k : semut k
- i : titik i
- j : titik j
- α : derajat kepentingan *pheromone*
- β : derajat kepentingan kebalikan jarak antar titik
- N_i^k : titik-titik yang dapat dipilih oleh semut k pada saat berada di titik i
- τ_{ij} : kepekatan *pheromone* jalur dari titik i ke titik j
- η_{ij} : kebalikan jarak jalur dari titik i ke titik j
- d_{ij} : jarak antara titik i dengan titik j

Kepekatan *pheromone* pada suatu jalur setelah terjadinya penguapan *pheromone* dapat dituliskan pada persamaan berikut ini (Gao, 2020):

$$\tau_{ij}(t + 1) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t)$$

- τ_{ij} : kepekatan *pheromone* jalur titik i ke titik j
- ρ : derajat penguapan *pheromone*
- t : iterasi

Banyaknya *pheromone* yang ditinggalkan seekor semut pada suatu jalur, dapat dituliskan pada persamaan berikut ini (Gao, 2020):

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{Q}{L^k}(t), & \text{if ant } k \text{ travels on edge } (i,j) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

- $\Delta\tau_{ij}^k$: banyaknya *pheromone* yang ditinggalkan semut k pada jalur titik i ke titik j
- Q : konstanta
- L^k : panjang rute yang dilalui oleh semut k
- t : iterasi

Kepekatan *pheromone* pada suatu jalur setelah adanya *pheromone* yang ditinggalkan semut yang melaluinya, dapat dituliskan pada persamaan berikut ini (Gao, 2020):

$$\tau_{ij}(t + 1) = \tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k(t)$$

- τ_{ij} : kepekatan *pheromone* jalur titik i ke titik j
- $\Delta\tau_{ij}^k$: banyaknya *pheromone* yang ditinggalkan semut k pada jalur titik i ke titik j
- m : banyaknya semut
- t : iterasi

Proses pada persamaan-persamaan diatas akan terus berulang hingga mencapai jumlah iterasi R (Gao, 2020).

D. Menulis Program Dalam GNU Octave

Untuk membantu menyelesaikan seluruh perhitungan digunakan perangkat lunak *GNU Octave*. *GNU Octave* merupakan alat multifungsi untuk melakukan analisis numerik. Berbagai alat yang tersedia di dalam *GNU Octave* adalah sebagai berikut ini (Ramos, 2020):

1. Sekumpulan *function* untuk menyelesaikan berbagai masalah.
2. Bahasa pemrograman yang dapat digunakan untuk mengembangkan kemampuan *GNU Octave*.
3. Berbagai fasilitas untuk melakukan *plotting*.

Nama *GNU Octave* diambil dari seorang ahli kimia yang bernama Octave Levenspiel. *GNU Octave* ini merupakan proyek resmi dari *GNU* dan lisensi *source code* berada di bawah *GNU General Public License (GPL)*, sehingga siapa pun boleh menggunakannya untuk berbagai tujuan (Nagar & Nagar, 2018).

E. Menjalankan Program

Setelah *program* selesai ditulis, maka *program* tersebut dijalankan agar *Ant Colony Optimization* dapat menyelesaikan *SDVRP* di PT Sinarmas Distribusi Nusantara. Setelah dilakukan 12 kali percobaan maka diperoleh hasil yang dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4: Panjang Rute Dari 12 Kali Percobaan (Km)

Percobaan	α	β	ρ	m	τ	R	Tanggal Pengiriman Produk						
							07/06/2023	08/06/2023	09/06/2023	10/06/2023	12/06/2023	13/06/2023	14/06/2023
1	1	1	0,01	5	10	100	255,6	247,1	246,7	250,7	254,6	252,3	260,9
2	1	1	0,01	10	10	100	252,1	247,4	245,1	248,4	250,9	252,8	255,4
3	2	1	0,01	5	10	100	237,4	253,1	226,5	258,7	246,6	256,1	254,0
4	2	1	0,01	10	10	100	227,3	243,9	242,2	255,1	259,9	253,4	237,6
5	2	2	0,01	5	10	100	239,2	245,6	237,7	235,8	254,8	252,3	222,5
6	2	2	0,01	10	10	100	238,0	241,7	222,5	234,5	238,1	248,4	231,3

Tabel 4: Panjang Rute Dari 12 Kali Percobaan (Km) (Lanjutan)

Percobaan	α	β	ρ	m	τ	R	Tanggal Pengiriman Produk						
							07/06/2023	08/06/2023	09/06/2023	10/06/2023	12/06/2023	13/06/2023	14/06/2023
7	1	1	0,02	5	10	100	249,7	239,8	245,4	254,7	266,6	256,2	248,0
8	1	1	0,02	10	10	100	232,3	269,6	251,7	240,9	252,5	269,2	240,1
9	2	1	0,02	5	10	100	238,0	256,0	252,8	243,2	244,7	256,9	255,9
10	2	1	0,02	10	10	100	246,9	258,3	233,3	236,8	255,4	265,0	241,4
11	2	2	0,02	5	10	100	248,9	248,0	259,7	235,8	241,4	253,9	229,7
12	2	2	0,02	10	10	100	222,1	236,8	233,8	235,8	240,6	256,5	230,4
Panjang Rute Terpendek							222,1	236,8	222,5	234,5	238,1	248,4	222,5

Dengan demikian rute kunjungan dan banyaknya produk yang dikirimkan untuk setiap DC pada setiap tanggal dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5: Rute Kunjungan dan Banyaknya Produk Yang Dikirimkan untuk Setiap DC

07/06/2023

Rute	Urutan Kunjungan / Produk Yang Dikirimkan (Karton)	Panjang Rute (Km)	Banyaknya Produk Yang Dibawa (Karton)
Rute A	Gudang Malatek - PT Indomarco Pristama Cab.Bogor 2 (147) - Indogrosir Bogor (130) - PT Indomarco Pristama Sentul (95) - Lotte Grosir Pekansari (128) - Gudang Malatek	60,1	500
Rute B	Gudang Malatek - Lotte Grosir Pekansari (20) - AEON Mall Sentul (117) - Lotte Grosir Bogor (118) - PT Indomarco Pristama Parung (112) - PT Sumber Alfaria Triajaya (SAT) Parung (123) - Lotte Grosir Pasar Rebo (10) - Gudang Malatek	119,1	500
Rute C	Gudang Malatek - Lotte Grosir Pasar Rebo (107) - Lotte Mart Fatmawati (128) - Gudang Malatek	42,9	235
Panjang Rute		222,1	

08/06/2023

Rute	Urutan Kunjungan / Produk Yang Dikirimkan (Karton)	Panjang Rute (Km)	Banyaknya Produk Yang Dibawa (Karton)
Rute A	Gudang Malatek - Lotte Grosir Pasar Rebo (138) - Lotte Mart Fatmawati (100) - PT Indomarco Pristama Parung (130) - PT Sumber Alfaria Triajaya (SAT) Parung (132) - Gudang Malatek	83,7	500
Rute B	Gudang Malatek - Lotte Grosir Pekansari (118) - PT Indomarco Pristama Cab.Bogor 2 (156) - Indogrosir Bogor (178) - PT Indomarco Pristama Sentul (48) - Gudang Malatek	62,1	500
Rute C	Gudang Malatek - PT Sumber Alfaria Triajaya (SAT) Parung (13) - Lotte Grosir Bogor (91) - AEON Mall Sentul (153) - PT Indomarco Pristama Sentul (91) - Gudang Malatek	91	348
Panjang Rute		236,8	

Tabel 5: Rute Kunjungan dan Banyaknya Produk Yang Dikirimkan untuk Setiap DC (Lanjutan)

09/06/2023

Rute	Urutan Kunjungan / Produk Yang Dikirimkan (Karton)	Panjang Rute (Km)	Banyaknya Produk Yang Dibawa (Karton)
Rute A	Gudang Malatek - PT Sumber Alfaria Triajaya (SAT) Parung (125) - PT Indomarco Pristama Parung (115) - Lotte Grosir Bogor (103) - AEON Mall Sentul (102) - PT Indomarco Pristama Sentul (55) - Gudang Malatek	106	500
Rute B	Gudang Malatek - PT Indomarco Pristama Cab.Bogor 2 (122) - Indogrosir Bogor (115) - Lotte Grosir Bogor (135) - PT Indomarco Pristama Sentul (93) - Lotte Grosir Pasar Rebo (35) - Gudang Malatek	73,6	500
Rute C	Gudang Malatek - Lotte Grosir Pasar Rebo (99) - Lotte Mart Fatmawati (115) - Gudang Malatek	42,9	214
Panjang Rute		222,5	

10/06/2023

Rute	Urutan Kunjungan / Produk Yang Dikirimkan (Karton)	Panjang Rute (Km)	Banyaknya Produk Yang Dibawa (Karton)
Rute A	Gudang Malatek - Lotte Grosir Pasar Rebo (110) - Lotte Mart Fatmawati (190) - PT Indomarco Pristama Parung (122) - PT Sumber Alfaria Triajaya (SAT) Parung (78) - Gudang Malatek	83,7	500
Rute B	Gudang Malatek - Indogrosir Bogor (135) - PT Indomarco Pristama Cab.Bogor 2 (146) - PT Indomarco Pristama Sentul (94) - Lotte Grosir Pekansari (125) - Gudang Malatek	60,2	500
Rute C	Gudang Malatek - PT Sumber Alfaria Triajaya (SAT) Parung (100) - Lotte Grosir Bogor (154) - AEON Mall Sentul (80) - Lotte Grosir Pekansari (1) - Gudang Malatek	90,6	335
Panjang Rute		234,5	

12/06/2023

Rute	Urutan Kunjungan / Produk Yang Dikirimkan (Karton)	Panjang Rute (Km)	Banyaknya Produk Yang Dibawa (Karton)
Rute A	Gudang Malatek - PT Indomarco Pristama Sentul (133) - Lotte Grosir Pekansari (148) - Indogrosir Bogor (156) - PT Indomarco Pristama Cab.Bogor 2 (63) - Gudang Malatek	61,1	500
Rute B	Gudang Malatek - PT Indomarco Pristama Cab.Bogor 2 (61) - AEON Mall Sentul (197) - Lotte Grosir Bogor (109) - PT Indomarco Pristama Parung (100) - PT Sumber Alfaria Triajaya (SAT) Parung (33) - Gudang Malatek	108,4	500
Rute C	Gudang Malatek - Lotte Grosir Pasar Rebo (129) - Lotte Mart Fatmawati (121) - PT Sumber Alfaria Triajaya (SAT) Parung (105) - Gudang Malatek	68,6	355
Panjang Rute		238,1	

Tabel 5: Rute Kunjungan dan Banyaknya Produk Yang Dikirimkan untuk Setiap DC (Lanjutan)

13/06/2023

Rute	Urutan Kunjungan / Produk Yang Dikirimkan (Karton)	Panjang Rute (Km)	Banyaknya Produk Yang Dibawa (Karton)
Rute A	Gudang Malatek - Lotte Grosir Pekansari (149) - PT Indomarco Pristama Sentul (141) - Indogrosir Bogor (118) - AEON Mall Sentul (92) - Gudang Malatek	71,4	500
Rute B	Gudang Malatek - PT Indomarco Pristama Cab.Bogor 2 (146) - AEON Mall Sentul (5) - Lotte Grosir Bogor (152) - PT Indomarco Pristama Parung (94) - PT Sumber Alfaria Triajaya (SAT) Parung (103) - Gudang Malatek	108,4	500
Rute C	Gudang Malatek - PT Sumber Alfaria Triajaya (SAT) Parung (53) - Lotte Mart Fatmawati (103) - Lotte Grosir Pasar Rebo (145) - Gudang Malatek	68,6	301
Panjang Rute		248,4	

14/06/2023

Rute	Urutan Kunjungan / Produk Yang Dikirimkan (Karton)	Panjang Rute (Km)	Banyaknya Produk Yang Dibawa (Karton)
Rute A	Gudang Malatek - Lotte Grosir Pekansari (138) - Indogrosir Bogor (134) - PT Indomarco Pristama Cab.Bogor 2 (117) - PT Indomarco Pristama Sentul (111) - Gudang Malatek	61,1	500
Rute B	Gudang Malatek - PT Sumber Alfaria Triajaya (SAT) Parung (117) - PT Indomarco Pristama Parung (111) - Lotte Grosir Bogor (99) - AEON Mall Sentul (127) - PT Indomarco Pristama Sentul (14) - Lotte Grosir Pasar Rebo (32) - Gudang Malatek	118,5	500
Rute C	Gudang Malatek - Lotte Grosir Pasar Rebo (52) - Lotte Mart Fatmawati (178) - Gudang Malatek	42,9	230
Panjang Rute		222,5	

F. Membandingkan Rute Yang Diperoleh

Saat ini PT Sinarmas Distribusi Nusantara menggunakan rute yang sama setiap harinya, rute tersebut dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6: Rute Saat Ini

Rute Saat Ini

Rute	Urutan Kunjungan / Produk Yang Dikirimkan (Karton)	Panjang Rute (Km)
Rute A	Gudang Malatek - Lotte Grosir Pasar Rebo - Lotte Mart Fatmawati - Gudang Malatek	42,9
Rute B	Gudang Malatek - PT Sumber Alfaria Triajaya (SAT) Parung - PT Indomarco Pristama Parung - Gudang Malatek	69,3
Rute C	Gudang Malatek - PT Indomarco Pristama Sentul - Lotte Grosir Pekansari - AEON Mall Sentul - Gudang Malatek	69,4
Rute D	Gudang Malatek - Indogrosir Bogor - PT Indomarco Pristama Cab.Bogor 2 - Lotte Grosir Bogor - Gudang Malatek	80,4
Panjang Rute		262

Dikarenakan rute pada setiap tanggal yang dihasilkan oleh *Ant Colony Optimization* menghasilkan panjang rute yang lebih pendek dari pada panjang rute saat ini dan penggunaan kendaraannya pun pada setiap tanggal berkurang dari 4 kendaraan menjadi 3 kendaraan, maka rute pada setiap tanggal yang dihasilkan oleh ACO lebih baik dibandingkan rute saat ini.

4. CONCLUSION

Ant Colony Optimization dapat digunakan untuk menyelesaikan berbagai permasalahan optimasi, salah satunya adalah *Split Delivery Vehicle Routing Problem (SDVRP)*. *Ant Colony Optimization* merupakan salah satu *metaheuristic*, oleh karena itu tidak dapat langsung digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi, tetapi perlu dikembangkan terlebih dahulu sesuai dengan permasalahan yang akan diselesaikan.

Agar dapat diketahui kehandalan *Ant Colony Optimization* dalam menyelesaikan *SDVRP*, perlu dilakukan perbandingan dengan algoritma lainnya, seperti *Savings Algorithm*, *Nearest Neighbour*, *Nearest Insertion* dan lain-lain, dengan demikian dapat diketahui kehandalan *Ant Colony Optimization* dibandingkan dengan algoritma lainnya.

Dikarenakan *Ant Colony Optimization* bekerja berdasarkan *heuristic* tentunya solusi yang dihasilkan belum tentu solusi yang terbaik. Untuk meningkatkan kehandalan *Ant Colony Optimization* dapat dilakukan *hybrid* antara *Ant Colony Optimization* dengan berbagai *heuristic*, seperti *Savings Algorithm*, *Nearest Neighbour*, *Nearest Insertion* dan lain-lain.

5. REFERENCES

- Cook, W. J., Applegate, D. L., Bixby, R. E., & Chvatal, V. (2011). *The traveling salesman problem: a computational study*. Princeton university press.
- Dorigo, M., Birattari, M., & Stutzle, T. (2006). Ant colony optimization. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 1(4), 28–39.
- Gao, W. (2020). New ant colony optimization algorithm for the traveling salesman problem. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 13(1), 44–55.
- Labadie, N., Prins, C., & Prodhon, C. (2016). *Metaheuristics for vehicle routing problems*. John Wiley & Sons.
- Min, J., Jin, C., & Lu, L. (2020). Improved Sweep Algorithm-Based Approach for Vehicle Routing Problems with Split Delivery. *LISS2019: Proceedings of the 9th International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences*, 109–121.
- Nagar, S., & Nagar, S. (2018). *Introduction to Octave*. Springer.
- Ozbagin, G., Karasan, O., & Yaman, H. (2018). New exact solution approaches for the split delivery vehicle routing problem. *EURO Journal on Computational Optimization*, 6(1), 85–115.
- PT Sinarmas Distribusi Nusantara. (n.d.). Retrieved January 18, 2024, from <https://sdn.id/>
- Ramos, V. S. (2020). SIHR: a MATLAB/GNU Octave toolbox for single image highlight removal. *Journal of Open Source Software*, 5(45), 1822.
- Sanggala, E., & Bisma, M. A. (2023). Analysis of The Ant Number Effects on Ant Colony Optimization for Solving Russia-20-Nodes-SDVRP Instance. *Sainteks: Jurnal Sain Dan Teknik*, 5(2), 163–174.
- Santosa, B. (2017). *Pengantar Metaheuristik: Implementasi dengan Matlab* (Vol. 1). ITS Tekno Sains.
- Shi, J., Zhang, J., Wang, K., & Fang, X. (2018). Particle swarm optimization for split delivery vehicle routing problem. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 35(02), 1840006.