

APLIKASI ALGORITMA KOLONI LEBAH DAN METODE *NEAREST NEIGHBOUR* UNTUK PENYELESAIAN *CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM*

THE APPLICATION OF BEE COLONY ALGORITHM AND NEAREST NEIGHBOUR TO SOLVE CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM

Oleh: Arum Atika Julia Pratiwi, Eminugroho Ratna Sari

Program Studi Matematika, Jurusan Pendidikan Matematika, FMIPA UNY

arumatika94@gmail.com

Abstrak

Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) merupakan salah satu variasi paling umum dari masalah *Vehicle Routing Problem (VRP)* untuk menentukan rute yang optimal dengan penambahan kendala berupa kapasitas kendaraan yang homogen. Masalah CVRP yang dibahas yaitu menentukan rute pendistribusian roti *sandwich* Sari Roti pada CV. Jogja Transport di wilayah Bantul. Tujuan penelitian ini untuk membuat model matematika permasalahan CVRP untuk roti *sandwich* Sari Roti, menyelesaikan dengan Algoritma Koloni Lebah dan Metode *Nearest Neighbour* yang selanjutnya dilakukan analisis perbandingan untuk melihat metode mana yang menghasilkan jarak terpendek. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berdasarkan perbandingan terhadap jumlah roti yang diangkut, Metode *Nearest Neighbour* menghasilkan rute yang dapat memaksimalkan kapasitas angkut kendaraan yaitu mengangkut hingga 97,86% atau sebanyak 411 buah roti dari total kapasitas maksimum 420 roti. Berdasarkan perbandingan terhadap jarak tempuh, Algoritma Koloni lebah menghasilkan total jarak tempuh sebesar 87,1 km. Jarak tersebut lebih efektif 2,51 km dari Metode *Nearest Neighbour*.

Kata kunci: CVRP, Distribusi, Algoritma Koloni Lebah, Metode *Nearest Neighbour*

Abstract

The Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) is one of the most common variations of the Vehicle Routing Problem (VRP) to determine the optimal route using a homogeneous vehicle capacity constrain. In this research, we determine the distribution route of sandwich bread of Sari Roti in CV. Jogja Transport in Bantul. The purposes of this research are to formulate mathematical model of CVRP problem for Sari Roti sandwich bread, to solve model using Bee Colony Algorithm and Nearest Neighbor Method. In the end, comparative analysis is done to see which method produce the shortest distance. The results showed that based on the ratio of bread quantity transported, the Nearest Neighbors Method can maximizes the vehicle carrying capacity. It carry up to 97.86% or 411 loaves of bread from a maximum capacity of 420 loaves. Based on mileage comparison, Bee Colonies algorithm produces a total mileage 87.1 km. This distance is 2.51 km more effective than the Nearest Neighbor Method.

Keywords: CVRP, distribution, Bee Colony Algorithm, Nearest Neighbour Method

PENDAHULUAN

Pendistribusian barang merupakan salah satu kegiatan yang sering dilakukan oleh suatu perusahaan tertentu. Salah satu cara yang dapat dilakukan dalam proses distribusi

adalah dengan mengoptimalkan rute kendaraan agar waktu yang digunakan untuk melayani konsumen lebih efisien dan barang dapat sampai ke konsumen tepat waktu. Permasalahan optimisasi rute kendaraan

dikenal dengan vehicle routing problem (VRP).

Untuk memenuhi permintaan pelanggan dengan jumlah muatan yang tidak melebihi kapasitas kendaraan, maka digunakan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) yaitu permasalahan penentuan rute yang dibatasi dengan kapasitas kendaraan (Toth & Vigo, 2002). Tujuan dari CVRP yaitu meminimalkan jarak tempuh dan total waktu perjalanan, sehingga suatu sistem pelayanan pada penentuan rute distribusi menjadi lebih efektif, efisien, dan dapat meningkatkan kemampuan perusahaan untuk dapat memenuhi permintaan produk secara lebih cepat agar kepercayaan dan kepuasan konsumen meningkat.

Metode yang dapat diterapkan untuk menyelesaikan CVRP dan variasinya yakni Metode *Heuristik* dan Metode *Metaheuristik*. Salah satu contoh Metode *Heuristik* antara lain Metode *Nearest Neighbour* dan salah satu contoh Metode *Metaheuristik* adalah algoritma Koloni Lebah.

Algoritma koloni lebah muncul karena terinspirasi dari tingkah laku kawanan lebah dalam mencari hingga menemukan sumber-sumber makanan secara efisien. Cara lebah berkomunikasi yaitu dengan tarian. Mereka akan melakukan tarian untuk menginformasikan kepada lebah lainnya. Informasi mengenai sumber makanan terdiri dari: arah, jarak dari sarang, dan kualitas nektar. Semakin bagus kualitasnya, semakin lama durasi terian yang dilakukan oleh lebah (Nismah, 2006).

Abadi, Susanty, & Adianto (2014) mendefinisikan Metode *Nearest Neighbour* sebagai metode untuk memecahkan masalah dengan cara mempertimbangkan jarak yang terpendek. Hal tersebut dapat meminimalkan jarak tempuh dan waktu perjalanan yang digunakan kendaraan.

Penelitian ini akan membandingkan algoritma koloni lebah dan metode *nearest neighbour* pada pendistribusian Sari Roti di CV. Jogja Transport. CV. Jogja Transport merupakan salah satu dari mata rantai

perusahaan dalam pendistribusian produk Sari Roti di wilayah Yogyakarta yang beralamat di Jalan SMP 10, Bangunharjo, Sewon, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta 55153. Pada penelitian ini dibahas mengenai penyelesaian *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) pada pendistribusian produk Sari Roti di CV. Jogja Transport untuk wilayah Kabupaten Bantul, karena perusahaan belum memiliki rute tetap dalam pendistribusian Sari Roti di wilayah Bantul sedangkan pelanggan yang dilayani cukup banyak dan penyebarannya tidak di dalam satu wilayah yang berdekatan. Pengambilan data dilakukan dengan mendatangi distributor. Salesman roti harus mampu mengantarkan roti yang dibawanya dalam waktu tertentu untuk menjaga kualitas roti dan memaksimalkan waktu penjualan sebelum masa kadaluarsa. Oleh karena itu, metode *Nearest Neighbour* dan algoritma koloni lebah diharapkan mampu dijadikan bahan pertimbangan yang baik dalam membuat suatu kebijakan agar keuntungan maksimum dapat tercapai.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan rute pendistribusian produk Sari Roti di wilayah Bantul dan sekitarnya, untuk itu pada bagian ini akan dipaparkan mengenai metode yang digunakan.

Penentuan Objek Penelitian

Objek yang akan diteliti adalah rute perjalanan kendaraan pendistribusi Sari Roti ke toko-toko pelanggan yang berada di wilayah Bantul. Data yang diambil adalah data pendistribusian produk Sari Roti pada tanggal 1 Februari 2018.

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada distributor Sari Roti yang beralamat di Jl. SMP 10, Bangunharjo, Sewon, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta.

Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Tahap Pendahuluan
2. Pengambilan Data
3. Pengolahan Data

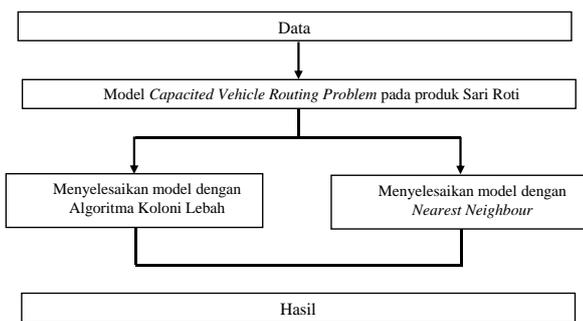
Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan oleh penulis dalam penelitian ini adalah:

1. Metode Interview (wawancara).
2. Metode menggunakan dokumen.
3. Studi Literatur.

Teknik Analisis Data

Data yang digunakan adalah data kapasitas sumber, permintaan pelanggan, dan daftar lokasi toko yang menjadi tujuan pendistribusian roti. Penelitian bertujuan untuk mendapatkan rute dalam mendistribusikan roti dari depot ke pelanggan dengan biaya dan jarak tempuh minimum. Teknik yang digunakan untuk menganalisis data tersebut menggunakan Metode *Nearest Neighbour*, dan Algoritma Koloni Lebah. Berikut ini disajikan diagram alir dari penelitian sebagai berikut:



Gambar 1 Diagram alir Penelitian

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

CV. Jogja Transport merupakan salah satu dari mata rantai perusahaan dalam pendistribusian produk Sari Roti di wilayah Yogyakarta yang beralamat di Jalan SMP 10, Bangunharjo, Sewon, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta 55153. Sari Roti merupakan sebuah produk roti yang memiliki

banyak varian jenis roti seperti roti tawar, roti sobek, *sandwich*, dan lain lain.

CV. Jogja Transport setiap harinya mendistribusikan produk Sari Roti kepada seluruh pelanggan yang tersebar di wilayah Kota Yogyakarta dan Bantul dengan menggunakan kendaraan angkut sepeda motor dan mobil. Perusahaan ini menyediakan 6 buah sepeda motor untuk mendistribusikan roti *sandwich*, sedangkan mobil digunakan untuk mendistribusikan roti-roti untuk pelanggan yang jumlah permintaannya senilai lebih dari Rp. 700.000,00-. Proses pendistribusian dimulai pada pukul 08.00 WIB dengan pengecekan semua permintaan pelanggan kemudian *packing* ke dalam rak oleh para sales. Sebuah sepeda motor dapat mengangkut maksimal 7 rak, dengan tiap rak memuat 60 buah roti *sandwich*, sehingga total roti *sandwich* yang dapat diangkut oleh sebuah sepeda motor maksimal berjumlah 420 buah roti *sandwich*. Pukul 09.00 WIB para sales mulai berangkat untuk mendistribusikan roti tersebut.

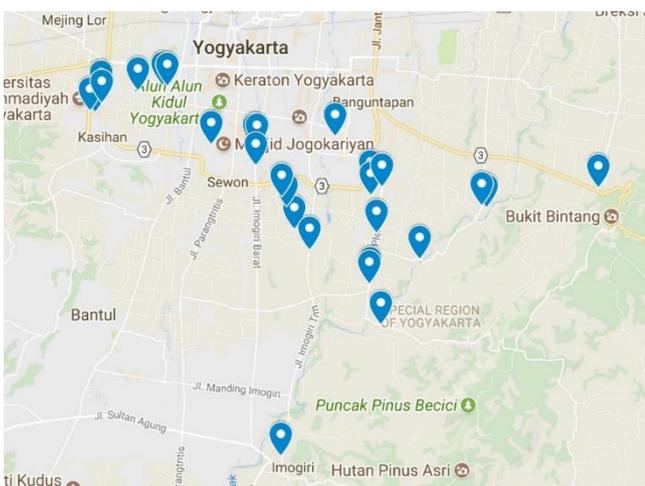
Pendistribusian yang diteliti pada skripsi ini adalah pendistribusian roti jenis *sandwich* karena roti jenis ini mempunyai permintaan paling banyak dari pelanggan. Data yang digunakan adalah data pendistribusian roti *sandwich* pada Tanggal 1 Februari 2018 di wilayah Bantul. Parameter yang digunakan adalah parameter jarak.

Tabel 1. Data pelanggan

Kode Pelanggan	Alamat	Permintaan (bungkus)
1	Jl. Grojogan	18
2	Jl. Raya Pleret	13
3	Jl. Monumen Ngoto	23
4	Jl. Monumen Perjuangan	26
5	Jl. Piyungan	18
6	Jl. Raya Pleret	15
7	Jl. Blado	18
8	Jl. Imogiri Timur	18
9	Jl. Raya Pleret	70
10	Jl. Pasopati	16

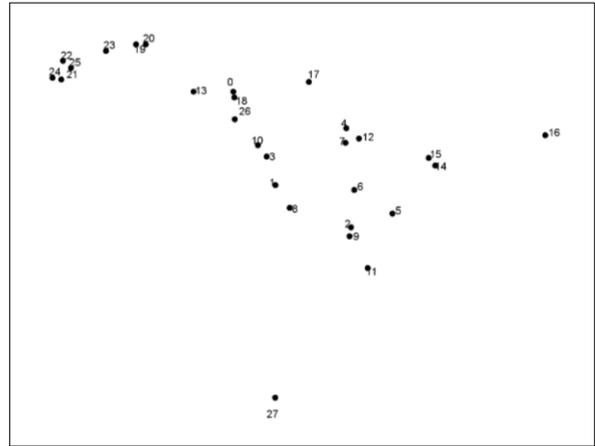
11	Jl. Segoroyoso	55
12	Jl. Raya Ngipik	13
13	Jl. Krapyak	30
14	Jl. Wonosari	35
15	Jl. Piyungan	15
16	Jl. Piyungan	20
17	Jl. Pembayun	10
18	Jl. Tritunggal	20
19	Jl. Patangpuluhan	25
20	Jl. Patangpuluhan	10
21	Jl. Garuda Gatak	10
22	Jl. Tegal Wangi	10
23	Jl. Ambarbinangun	25
24	Jl. Garuda	35
25	Jl. Sunan Kudus	35
26	Jl. Imogiri Barat	143
27	Jl. Glondong	17
Total		743

Jarak antar pelanggan yang dinotasikan oleh simpul i dan j merupakan jalur rekomendasi yang diperoleh dari aplikasi *Google Maps*, kemudian dengan bantuan *Google My Maps*, dapat diketahui lokasi simpul-simpul pelanggan yang menjadi lokasi distribusi Sari Roti seperti pada gambar 2 berikut ini:



Gambar 2 Peta Lokasi Depot dan Pelanggan

Dari Gambar 2, dapat dibuat graf kosong yang merepresentasikan seluruh lokasi pelanggan yang dikunjungi oleh sales Sari Roti seperti pada Gambar 3:



Gambar 3 Graf Kosong untuk Lokasi Depot dan Pelanggan

Permasalahan pada pendistribusian produk Sari Roti di CV. Jogja Transport termasuk dalam masalah *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)*. Masalah CVRP pada pendistribusian produk Sari Roti di CV. Jogja Transport dapat didefinisikan sebagai suatu graf $G = (V, E)$. Himpunan V terdiri atas gabungan himpunan pelanggan C dan depot, $V = \{0, 1, \dots, 28\}$. Himpunan C berupa pelanggan 1 sampai dengan 27, $C = \{1, 2, \dots, 27\}$ dan depot dinyatakan dengan 0 dan 28. Variabel q menyatakan kapasitas total kendaraan. Jaringan jalan yang dilalui oleh kendaraan dinyatakan sebagai himpunan rusuk berarah E yaitu penghubung antar pelanggan $E = \{(i, j) | i, j \in V, i \neq j\}$. Semua rute dimulai dan berakhir di depot. Setiap pelanggan i untuk setiap $i \in C$ memiliki permintaan d_i sehingga panjang rute dibatasi oleh kapasitas kendaraan. Setiap rusuk $(i, j) \in E$ memiliki jarak tempuh c_{ij} , dan juga bahwa $c_{ii} = c_{jj} = 0$.

Asumsi yang digunakan dalam permasalahan ini adalah :

1. Setiap pelanggan hanya dikunjungi satu kali, jumlah permintaan pelanggan tetap dan dapat terpenuhi.
2. Jumlah pelanggan yang dikunjungi adalah 27 pelanggan, dengan jumlah simpul pendistribusian sejumlah 28 simpul (27 simpul pelanggan dan 1 simpul depot).
3. Hanya ada 1 kendaraan yang digunakan, yaitu sepeda motor.

Setiap pelanggan terhubung satu sama lain dan jarak antar pelanggan simetris yang artinya jarak simpul i ke simpul j sama dengan jarak simpul j ke simpul i . Jarak antara simpul yang sama selalu nol. Jalur antara simpul i dan simpul j merupakan jarak tempuh rekomendasi yang diperoleh menggunakan aplikasi *google my maps*. Rute yang dipilih adalah rute dengan jarak terpendek dan tidak satu jalur, sehingga asumsi $c_{ij} = c_{ji}$ berlaku.

Didefinisikan c_{ij} merupakan jarak tempuh dari simpul i ke simpul j . Sedangkan x_{ij} mempresentasikan ada tidaknya jalur dari simpul i ke simpul j didefinisikan sebagai berikut :

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jika terdapat perjalanan dari } i \text{ ke } j \\ 0, & \text{jika tidak terdapat perjalanan dari } i \text{ ke } j \end{cases}$$

Tujuan dari permasalahan ini adalah meminimalkan jarak yang ditempuh dalam mendistribusikan permintaan Sari Roti di CV. Jogja Transport, sehingga fungsi tujuannya adalah sebagai berikut :

$$\text{Meminimumkan } Z = \sum_{i=0}^{27} \sum_{j=1}^{28} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

dengan kendala :

1. Setiap pelanggan dikunjungi tepat satu kali oleh suatu kendaraan:

$$\begin{aligned} \sum_{i=0}^{27} x_{i1} &= 1 \\ &\vdots \\ \sum_{i=0}^{27} x_{i28} &= 1 \end{aligned} \quad (2)$$

Pelanggan dengan titik asal yang sama hanya dikunjungi tepat satu kali oleh kendaraan yang sama:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^{28} x_{1j} &= 1 \\ &\vdots \end{aligned} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{28} x_{27j} = 1$$

2. Total permintaan semua pelanggan dalam satu rute tidak melebihi kapasitas kendaraan:

$$\sum_{i=0}^{27} d_i \sum_{j=1}^{28} x_{ij} \leq 420 \quad (4)$$

3. Setiap rute berawal dari depot:

$$\sum_{j=1}^{28} x_{0j} = 1 \quad (5)$$

4. Setiap sales yang mengunjungi satu pelanggan pasti akan meninggalkan pelanggan tersebut:

$$\sum_{i=0}^{27} x_{ij} - \sum_{j=1}^{28} x_{ij} = 0 \quad (6)$$

5. Setiap rute berakhir di depot:

$$\sum_{i=0}^{27} x_{i28} = 1 \quad (7)$$

6. Variabel x_{ij} merupakan variabel biner:

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall i, j \in V \quad (8)$$

Penyelesaian Model Matematika pada Pendistribusian Sari Roti di CV. Jogja Transport dengan Algoritma Koloni Lebah

1. Penentuan Parameter yang akan Digunakan

Menurut Saidah, Mahendrawathi & Soelaiman (2011), langkah pertama yang harus dilakukan dalam penyelesaian CVRP adalah menentukan parameter-parameter awal yang akan digunakan untuk langkah-langkah selanjutnya. Dalam permasalahan ini parameter-parameter yang dibutuhkan yaitu :

N_{bee} : banyaknya simpul pada permasalahan.
 N_{bee} merupakan jumlah lebah yang akan mencari dan mengeksploitasi makanan.

- α : variabel biner yang digunakan sebagai pembobot untuk *arc fitness*. Nilai yang memungkinkan adalah 0 atau 1.
- β : variabel yang berfungsi mengontrol signifikan level untuk waktu tempuh antar simpul. Nilai dari parameter ini harus positif.
- λ : menunjukkan peluang sebuah simpul yang diikuti pada rute rekomendasi. Karena parameter ini merupakan suatu probabilitas maka parameter ini bernilai antara 0 hingga 1.

Pemilihan nilai parameter disesuaikan dengan parameter yang digunakan pada penelitian sebelumnya oleh Rifpanna (2015). Nilai parameter-parameter tersebut adalah :

$N_{bee} = 28$, sesuai dengan jumlah simpul

$\alpha = 1$

$\beta = 10$

$\lambda = 0,95$

2. Penentuan Sebarang Rute Awal

Rute awal merupakan sirkuit sederhana sehingga dalam penentuan rute simpul awal sama dengan simpul akhir, sesuai dengan asumsi setiap simpul hanya dikunjungi satu kali. Rute awal yang menjadi rute rekomendasi dan akan digunakan dalam masalah pendistribusian Sari Roti di CV. Jogja Transport merupakan rute yang dibentuk secara random. Rute awal yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah :

Depot – 18 – 26 – 1 – 3 – 10 – 8 – 2
 – 9 – 6 – 4 – 5 – 7 – 12
 – *Depot*

Depot – 17 – 11 – 15 – 14 – 16 – 13
 – 19 – 20 – 23 – 21 – 24
 – 22 – 25 – 27 – *Depot*

3. Pengujian Rute Awal dengan Aturan *Forage*

Langkah ketiga yang dilakukan adalah melakukan pengujian rute awal dengan aturan *forage*. Akan dicari rute pendistribusian produk Sari Roti dengan algoritma koloni lebah dari 27 pelanggan dengan jumlah permintaan sebanyak 743 buah roti.

a. Pencarian Rute Pertama.

Iterasi 1

Proses pengujian dimulai dari awal umumnya disebut sebagai proses pada transisi pertama atau saat $n = 0$. Berdasarkan persamaan 9 diketahui:

$A_{i,n}$ = himpunan simpul yang bisa dijangkau dari simpul i pada transisi ke- n .

$F_{i,n}$ = himpunan berisi satu simpul yang direkomendasikan.

Ketika transisi pertama, himpunan $A_{i,n}$ dan $F_{i,n}$ berdasarkan rute rekomendasi θ adalah :

$A_{Depot,0} = \{18, 26, 1, 3, 10, 8, 2, 9, 6, 4, 5, 7, 12, 17, 11, 15, 14, 16, 13, 19, 20, 23, 21, 24, 22, 25, 27\}$

Dari himpunan simpul pada $A_{i,n}$ sesuai dengan rute yang digunakan dalam pendistribusian oleh salesman Sari Roti maka diambil satu simpul sebarang, yaitu:

$F_{Depot,0} = \{18\}$

Pada saat transisi pertama, *arc fitness* yang dihitung adalah nilai-nilai *arc fitness* untuk semua jalur yang mungkin dari lokasi awal Depot ke setiap elemen $A_{Depot,0}$. Berikut nilai *arc fitness* untuk proses pengujian transisi pertama:

$$\rho_{i,j,n} = \begin{cases} \lambda & , j \in F_{i,0} \\ \frac{1 - \lambda |A_{i,n} \cap F_{i,n}|}{|A_{i,n} - F_{i,n}|} > 1 & , j \notin F_{i,0} \end{cases}$$

$$\rho_{Depot,j,0} = \begin{cases} \lambda \\ \frac{1 - \lambda}{|A_{Depot,0} - F_{Depot,0}|} \end{cases}$$

$$\rho_{Depot,j,0} = \begin{cases} \lambda = 0,95 \\ \frac{1 - 0,95}{|27 - 1|} \end{cases}$$

$$\rho_{Depot,j,0} = \begin{cases} \lambda = 0,95 & , j \in F_{Depot,0} \\ \frac{0,05}{26} = \frac{1}{520} & , j \notin F_{Depot,0} \end{cases}$$

Untuk semua elemen anggota $A_{Depot,0}$, nilai *arc fitness* dari simpul Depot ke simpul 18 bernilai paling besar karena simpul 18 merupakan simpul

yang direkomendasikan dikunjungi setelah lokasi awal Depot ($18 \in F_{Depot,0}$).

Seperti halnya pada pencarian *arc fitness* di transisi pertama, Peluang untuk menentukan simpul yang akan dipilih setelah lokasi awal Depot juga dihitung untuk semua lintasan yang mungkin dari Depot ke setiap elemen anggota $A_{Depot,0}$. Simpul yang mempunyai peluang paling besar akan menjadi simpul yang dikunjungi setelah lokasi awal Depot. Penentuan besarnya peluang dari simpul Depot ke simpul $j \in F_{Depot,0}$ berdasarkan aturan pada persamaan 9.

$$P_{ij,n} = \frac{[\rho_{ij,n}]^\alpha \left[\frac{1}{d_{ij}}\right]^\beta}{\sum_{j \in A_{ij,n}} [\rho_{ij,n}]^\alpha \left[\frac{1}{d_{ij}}\right]^\beta} \quad (9)$$

ρ_{ij} = *arc fitness* antara simpul i dan j.
 d_{ij} = jarak lokasi antara simpul i dan j.

P_{ij} = peluang percabangan dari simpul i ke simpul j.

α = variabel biner yang menunjukkan pengaruh dari *arc fitness*.

β = variabel yang berfungsi untuk mengontrol signifikansi level untuk jarak lokasi antar simpul

Menggunakan matriks jarak lokasi pelanggan dan parameter-parameter yang telah diketahui pada Langkah 1, diperoleh :

$$\begin{aligned} P_{Depot,1,0} &= \frac{[\rho_{Depot,1}]^\alpha \left[\frac{1}{d_{Depot,1}}\right]^\beta}{\sum_{j \in A_{Depot,1}} [\rho_{Depot,1}]^\alpha \left[\frac{1}{d_{Depot,1}}\right]^\beta} \\ &= \frac{\left[\frac{1}{520}\right]^1 \left[\frac{1}{4,6}\right]^{10}}{160883,3439} \\ &= 2,8178^{-15} \end{aligned}$$

Penghitungan peluang dari simpul Depot ke simpul pelanggan selanjutnya dilakukan secara analog. Berikut ini adalah tabel peluang dari simpul Depot ke simpul $j \in F_{Depot,0}$.

Tabel 2. Nilai peluang antara simpul Depot dan pelanggan j.

$P_{Depot,j,0}$					
1	$2,8178^{-15}$	10	$1,4684^{-14}$	19	$2,2725^{-15}$
2	$1,8593^{-17}$	11	$3,0695^{-18}$	20	$3,5104^{-15}$
3	$2,4858^{-14}$	12	$4,2316^{-17}$	21	$8,6966^{-18}$
4	$1,498^{-15}$	13	$4,3332^{-14}$	22	$5,4013^{-18}$
5	$3,0695^{-18}$	14	$2,2838^{-19}$	23	$3,3017^{-16}$
6	$4,8865^{-17}$	15	$2,7096^{-19}$	24	$6,8342^{-18}$
7	$3,672^{-17}$	16	$4,4395^{-20}$	25	$7,7038^{-18}$
8	$8,269^{-16}$	17	$1,0617^{-13}$	26	$6,0715^{-8}$
9	$9,8319^{-18}$	18	0,9999	27	$2,099^{-19}$

Pada tabel 2 dapat diketahui bahwa nilai peluang terbesar yaitu antara simpul depot dengan pelanggan 18. Berdasarkan matriks jarak dan Tabel 2, maka rute yang terbentuk adalah 0 – 18 – 0 dengan jarak tempuh 0,3 km dan kapasitas angkut 20 buah roti $\leq q_{maks}$. Karena syarat terpenuhi maka pemilihan pelanggan 18 masuk dalam kategori layak, sehingga rute 0 – 18 – 0 dianggap layak.

Iterasi 2

Pada saat transisi kedua ($n = 1$), *arc fitness* yang dihitung adalah nilai-nilai *arc fitness* untuk semua jalur yang mungkin dari lokasi pelanggan 18 ke setiap elemen $A_{18,1}$. Berikut nilai *arc fitness* untuk proses pengujian transisi kedua:

$$\begin{aligned} \rho_{18,j,1} &= \begin{cases} \lambda \\ 1 - \lambda \end{cases} \left[\frac{1}{|A_{18,1} - F_{18,1}|} \right] \\ \rho_{18,j,1} &= \begin{cases} \lambda = 0,95 \\ 1 - 0,95 \end{cases} \left[\frac{1}{|26 - 1|} \right] \\ \rho_{18,j,1} &= \begin{cases} \lambda = 0,95 & , j \in F_{18,1} \\ \frac{0,05}{25} = \frac{1}{500} & , j \notin F_{18,1} \end{cases} \end{aligned}$$

Menggunakan matriks jarak lokasi pelanggan pada dan parameter-parameter yang telah diketahui pada Langkah 1, diperoleh :

$$P_{18,1,1} = \frac{[\rho_{18,1}]^\alpha \left[\frac{1}{d_{18,1}}\right]^\beta}{\sum_{j \in A_{18,1}} [\rho_{18,1}]^\alpha \left[\frac{1}{d_{18,1}}\right]^\beta}$$

$$= \frac{\left[\frac{1}{500}\right]^1 \left[\frac{1}{3,8}\right]^{10}}{16,86984} = 1,8884^{-10}$$

Penghitungan peluang dari simpul pelanggan 18 ke simpul pelanggan selanjutnya dilakukan secara analog. Berikut ini adalah tabel peluang dari simpul pelanggan 18 ke simpul $j \in F_{18,1}$.

Tabel 3. Nilai peluang antara simpul pelanggan 18 dan pelanggan j .

$P_{18,j,1}$					
1	$1,8884^{-10}$	10	$8,3982^{-9}$	19	$1,826^{-11}$
2	$1,6181^{-13}$	11	$2,7292^{-14}$	20	$2,2539^{-11}$
3	$2,0077^{-9}$	12	$2,4077^{-13}$	21	$9,7514^{-14}$
4	$3,9088^{-12}$	13	$4,0026^{-9}$	22	$6,7784^{-14}$
5	$6,0219^{-14}$	14	$1,4958^{-15}$	23	$2,7519^{-12}$
6	$1,2037^{-12}$	15	$1,7622^{-15}$	24	$8,6254^{-14}$
7	$1,9607^{-12}$	16	$3,0924^{-16}$	25	$9,7514^{-14}$
8	$8,2014^{-12}$	17	$1,053^{-9}$	26	0,9999
9	$1,8441^{-13}$	18	—	27	$2,4664^{-15}$

Pada tabel 3 ada lokasi pelanggan yang nilainya kosong, ini mengindikasikan bahwa tidak ada perjalanan antara lokasi tersebut dengan pelanggan 18 dikarenakan lokasi tersebut sudah masuk ke dalam rute. Dari tabel 3 dapat diketahui bahwa nilai peluang terbesar yaitu antara simpul pelanggan 18 dengan pelanggan 26. Berdasarkan matriks jarak dan Tabel 3, maka rute yang terbentuk adalah $0 - 18 - 26 - 0$ dengan jarak tempuh $1,05 \text{ km}$ dan kapasitas angkut $20 + 143 = 163 \text{ buah roti} \leq q_{maks}$. Karena syarat terpenuhi maka pemilihan pelanggan 26 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 18 - 26 - 0$ dianggap layak.

Untuk penghitungan iterasi selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama dan iterasi berhenti pada saat kapasitas angkut kendaraan tidak cukup untuk diantarkan ke lokasi pelanggan berikutnya yang artinya rute tidak dapat disisipi lagi. Dengan demikian pada masalah pendistribusian Sari Roti pada CV. Jogja Transport dengan menggunakan

Algoritma Koloni Lebah menghasilkan rute pertama yaitu $0 - 18 - 26 - 10 - 3 - 1 - 8 - 2 - 9 - 6 - 12 - 7 - 4 - 17 - 0$ dengan total jarak $20,52 \text{ km}$ dan roti yang terangkut sebanyak 403 bungkus roti. Oleh karena masih ada pelanggan yang belum dilayani, maka dibentuk rute kedua sebagai berikut.

b. Pencarian Rute Kedua.

Proses pengujian rute kedua dilakukan secara analog terhadap pencarian rute pertama dengan menghitung *arc fitness* dan peluang simpul paling besar dari simpul depot dan simpul pelanggan yang belum dilayani pada rute pertama. Sales mengawali perjalanan dari depot kemudian menuju pelanggan berturut-turut sesuai dengan kapasitas angkut maksimum kendaraan ($q_{maks} = 420$) kemudian kembali ke depot.

Pada masalah pendistribusian Sari Roti pada CV. Jogja Transport dengan menggunakan Algoritma Koloni Lebah, pencarian rute kedua dengan $A_{Depot,0} = \{5, 11, 15, 14, 16, 13, 19, 20, 23, 21, 24, 22, 25, 27\}$ rute yang dihasilkan yaitu $0 - 13 - 20 - 19 - 23 - 21 - 24 - 25 - 22 - 5 - 15 - 14 - 16 - 11 - 27 - 0$ dengan total jarak $66,79 \text{ km}$ dan roti yang terangkut sebanyak 340 bungkus roti.

Tabel 4 Hasil Penyelesaian dengan Algoritma Koloni Lebah.

No.	Rute	Jarak (km)	Roti terangkut	Penggunaan Kapasitas Kendaraan Angkut
1	$0 - 18 - 26 - 10 - 3 - 1 - 8 - 2 - 9 - 6 - 12 - 7 - 4 - 17 - 0$	87,31	403	95,95%
	$0 - 13 - 20 - 19 - 23 - 21 - 24 - 25 - 22 - 5 - 15 - 14 - 16 - 11 - 27 - 0$		340	80,95%
2	$0 - 18 - 26 - 10 - 3 - 1 - 8 - 2 - 9 - 6 - 7 - 12 - 4 - 17 - 20$	93,71	411	97,86%

	0 – 13 – 19 – 23 – 21 – 24 – 25 – 22 – 11 – 15 – 14 – 16 – 27 – 0		332	79,05%
3	0 – 18 – 26 – 10 – 3 – 1 – 8 – 2 – 9 – 6 – 12 – 4 – 7 – 5 – 0	100,9 1	413	98,33%
	0 – 17 – 20 – 19 – 23 – 21 – 24 – 25 – 22 – 13 – 11 – 15 – 14 – 16 – 27 – 0		330	78,57%
4	0 – 18 – 26 – 10 – 3 – 1 – 8 – 2 – 9 – 11 – 6 – 7 – 0	97,61	409	97,38%
	0 – 17 – 12 – 4 – 5 – 15 – 14 – 16 – 13 – 20 – 19 – 23 – 21 – 24 – 25 – 22 – 27 – 0		334	79,52%
5	0 – 18 – 26 – 10 – 3 – 1 – 8 – 2 – 9 – 11 – 6 – 12 – 0	97,26	411	97,86%
	0 – 17 – 4 – 7 – 5 – 15 – 14 – 16 – 13 – 20 – 19 – 23 – 21 – 24 – 25 – 22 – 27 – 0		332	79,05%
6	0 – 18 – 26 – 10 – 3 – 1 – 8 – 2 – 9 – 11 – 6 – 12 – 0	97,86	411	97,86%
	0 – 17 – 7 – 4 – 5 – 15 – 14 – 16 – 13 – 20 – 19 – 23 – 21 – 24 – 25 – 22 – 27 – 0		332	79,05%

Seperti halnya pada pencarian *arc fitness* di transisi pertama, Peluang untuk menentukan simpul yang akan dipilih setelah lokasi pelanggan 18 juga dihitung untuk semua lintasan yang mungkin dari pelanggan 18 ke setiap elemen anggota $A_{18,1}$. Simpul yang mempunyai peluang paling besar akan menjadi simpul yang di kunjungi setelah lokasi pelanggan 18. Penentuan besarnya peluang dari simpul Depot ke simpul $j \in F_{18,1}$ berdasarkan aturan pada persamaan 9.

Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui bahwa diperoleh 6 kemungkinan solusi penyelesaian dari model CVRP pada pendistribusian Sari Roti di CV. Jogja Transport dengan algoritma Koloni Lebah.

Kemudian dipilih satu rute dengan jarak terpendek dengan jarak tempuh 87,31 km yaitu:

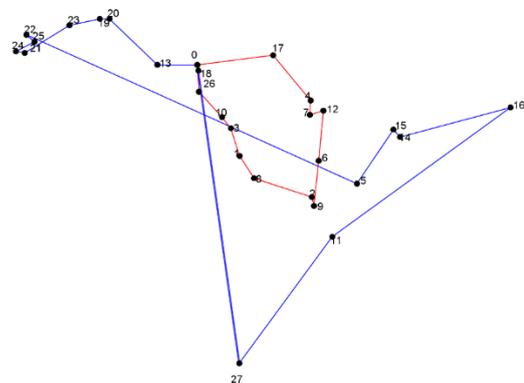
Rute 1 : 0 – 18 – 26 – 10 – 3 – 1 – 8 – 2 – 9 – 6 – 12 – 7 – 4 – 17 – 0

Depot – Toko 99 – TDS Yunus – Toko Berkah 41 – Nally Cell – Cikal Mart – Toko Glagah – Permata Mart – DM 1 – Toko Hari – Mashafa – Toko Pojok – Putra Mandiri – Rama Swalayan – Depot.

Rute 2 : 0 – 13 – 20 – 19 – 23 – 21 – 24 – 25 – 22 – 5 – 15 – 14 – 16 – 11 – 27 – 0

Depot – Al Munawir – MM Geemart – Rizma Swalayan – Kamila – Toko Ada – Java Market – Raihan – Almas – ICBB Putra – Beta – Amanda 1 – Pasar Imogiri – Depot, dengan total jarak tempuh kedua rute tersebut yaitu 87,31 km.

Rute tersebut ditampilkan dalam gambar berikut.



Gambar 4 Rute Pendistribusian dengan Algoritma Koloni Lebah

Keterangan : ——— : Rute 1
——— : Rute 2

Pada Gambar 4 terlihat bahwa pada Rute 1 jarak antar pelanggan yang dilayani cenderung berdekatan sementara pada Rute 2 terdapat beberapa pelanggan yang jaraknya berjauhan. Hal ini disebabkan oleh lokasi-lokasi pelanggan pada Rute 1 berada di tengah, mencakup jarak-jarak yang dekat dengan depot. Sementara pada Rute 2, lokasi pelanggan yang tersisa berada pada wilayah yang cukup jauh dari depot sehingga sales mengunjungi pelanggan terdekat terlebih

dahulu lalu mengunjungi pelanggan-pelanggan yang lokasinya lebih jauh.

Penyelesaian Model Matematika pada Pendistribusian Sari Roti di CV. Jogja Transport dengan Metode *Nearest Neighbour*

Metode *Nearest Neighbour* merupakan metode paling sederhana untuk menyelesaikan masalah CVRP. Rute kendaraan dimulai dari jarak yang paling dekat dengan depot, kemudian rute selanjutnya yaitu pelanggan yang paling dekat dengan pelanggan pertama (Hutasoit, Susanty, & Imran, 2014). Prosedur ini akan terus berulang hingga semua pelanggan masuk ke dalam rute perjalanan. Penentuan pelanggan tersebut berdasarkan data Matriks jarak. Kemudian rute yang terbentuk akan diuji kelayakannya terhadap kapasitas angkut sepeda motor (q). Berikut langkah-langkah pembentukan rute pendistribusian roti dengan *Metode Nearest Neighbour* menurut Pop et al (2011).

a. Pembentukan Rute Pertama

Pada pembentukan rute pertama, sales mengawali perjalanan dari depot CV. Jogja Transport (0) kemudian pelanggan berturut-turut dilayani sesuai dengan kapasitas angkut maksimum kendaraan ($q_{maks} = 420$) hingga mengakhiri perjalanan kembali ke depot. Adapun langkah-langkah pembentukan rute pertama sebagai berikut:

i. Iterasi 1

Pada langkah ini, karena sales mengawali perjalanan dari depot (0), maka dipilih pelanggan yang paling dekat dengan depot. Berdasarkan matriks jarak dan Tabel 1 pelanggan yang paling dekat dengan depot adalah pelanggan 18, maka rute yang terbentuk adalah $0 - 18 - 0$ dengan jarak tempuh 0,3 km dan kapasitas angkut 20 buah roti $\leq q_{maks}$. Karena syarat terpenuhi maka pemilihan pelanggan 18 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 18 - 0$ dianggap layak.

ii. Iterasi 2

Pada langkah ini karena lokasi terakhir yang dikunjungi sales adalah pelanggan 18, maka dipilih pelanggan yang paling dekat dengan 18. Berdasarkan matriks jarak dan Tabel 1 pelanggan yang paling dekat dengan pelanggan 18 adalah pelanggan 26, maka rute yang terbentuk adalah $0 - 18 - 26 - 0$ dengan jarak tempuh 1,05 km dan kapasitas angkut $20 + 143 = 163$ buah roti $\leq q_{maks}$. Karena syarat terpenuhi maka pemilihan pelanggan 26 masuk dalam kategori layak, sehingga rute $0 - 18 - 26 - 0$ dianggap layak.

Untuk penghitungan iterasi selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama dan iterasi berhenti pada saat kapasitas angkut kendaraan tidak cukup untuk diantarkan ke lokasi pelanggan berikutnya yang artinya rute tidak dapat disisipi lagi. Dengan demikian pada masalah pendistribusian Sari Roti pada CV. Jogja Transport dengan menggunakan metode *Nearest Neighbour* menghasilkan rute pertama yaitu $0 - 18 - 26 - 10 - 3 - 1 - 8 - 9 - 2 - 6 - 12 - 4 - 7 - 5 - 0$ dengan total jarak 26,12 km dan roti yang terangkut sebanyak 411 bungkus roti. Oleh karena masih ada pelanggan yang belum dilayani, maka dibentuk rute kedua sebagai berikut.

b. Pencarian Rute Kedua.

Proses pengujian rute kedua dilakukan secara analog terhadap pencarian rute pertama dengan menghitung jarak paling dekat dengan simpul depot dan simpul pelanggan yang belum dilayani pada rute pertama. Sales mengawali perjalanan dari depot kemudian menuju pelanggan berturut-turut sesuai dengan kapasitas angkut maksimum kendaraan ($q_{maks} = 420$) kemudian kembali ke depot.

Pada masalah pendistribusian Sari Roti pada CV. Jogja Transport dengan menggunakan metode *Nearest Neighbour*, simpul-simpul pelanggan yang belum dilayani pada rute pertama yaitu pelanggan 11,13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, dan 27. Dengan melakukan cara yang sama dengan

pencarian rute pertama, yaitu sales melakukan perjalanan dari depot menuju pelanggan berturut-turut hingga semua pelanggan telah dikunjungi diperoleh rute kedua yaitu 0 – 17 – 20 – 19 – 23 – 21 – 24 – 25 – 22 – 13 – 11 – 15 – 14 – 16 – 27 – 0 dengan total jarak 63,49 km dan roti yang terangkut sebanyak 332 bungkus roti.

Tabel 5. Hasil Penyelesaian dengan Metode *Nearest Neighbour*.

No.	Rute	Jarak (km)	Roti terangkut	Penggunaan Kapasitas Kendaraan Angkut
1	0 – 18 – 26 – 10 – 3 – 1 – 8 – 9 – 2 – 6 – 7 – 4 – 12 – 17 – 20 – 0	94,36	413	98,33%
	0 – 13 – 19 – 23 – 21 – 24 – 25 – 22 – 5 – 15 – 14 – 16 – 11 – 27 – 0		330	78,57%
2	0 – 18 – 26 – 10 – 3 – 1 – 8 – 9 – 2 – 6 – 12 – 4 – 7 – 5 – 0	89,61	411	97,86%
	0 – 17 – 20 – 19 – 23 – 21 – 24 – 25 – 22 – 13 – 11 – 15 – 14 – 16 – 27 – 0		332	79,05%
3	0 – 18 – 26 – 10 – 3 – 1 – 8 – 9 – 2 – 6 – 12 – 7 – 4 – 17 – 20 – 0	94,96	413	98,33%
	0 – 13 – 19 – 23 – 21 – 24 – 25 – 22 – 5 – 15 – 14 – 16 – 11 – 27 – 0		330	78,57%

Berdasarkan Tabel 5 dapat diketahui bahwa diperoleh 3 kemungkinan solusi penyelesaian dari model CVRP pada pendistribusian Sari Roti di CV. Jogja Transport dengan metode *Nearest Neighbour*. Kemudian dipilih satu rute dengan jarak terpendek dengan jarak tempuh 89,61 km yaitu:

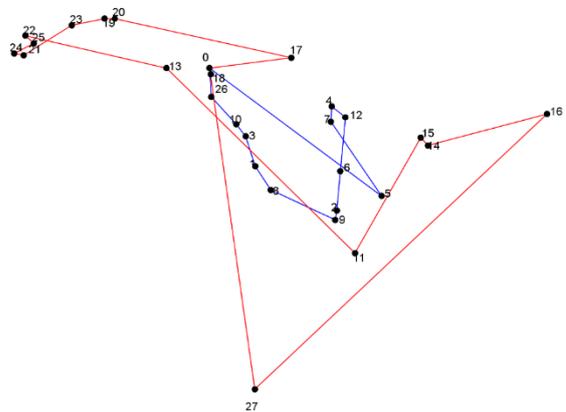
Rute 1 : 0 – 18 – 26 – 10 – 3 – 1 – 8 – 9 – 2 – 6 – 12 – 4 – 7 – 5 – 0

Depot – TDS Yunus – Toko Berkah 41 – Nally Cell – Cikal Mart – Toko Glagah – DM 1 – Permata Mart – Toko Hari – Mashafa – Putra

Mandiri – Toko Pojok – Raihan – Depot.

Rute 2 : 0 – 17 – 20 – 19 – 23 – 21 – 24 – 25 – 22 – 13 – 11 – 15 – 14 – 16 – 27 – 0

Depot – Rama Swalayan – MM Geemart – Rizma Swalayan – Kamila – Toko Ada – Java Market – Kios Damai – Kartika Mart – Al Munawir – Amanda 1 – Almas – ICBB Putra – Beta – Pasar Imogiri – Depot, dengan total jarak tempuh kedua rute tersebut yaitu 89,61 km.



Gambar 5 Rute Pendistribusian dengan Metode *Nearest Neighbour*.

Keterangan : — : Rute 1
— : Rute 2

Pada Gambar 5 terlihat bahwa pada Rute 1 jarak antar pelanggan yang dilayani cenderung berdekatan sementara pada Rute 2 terdapat beberapa pelanggan yang jaraknya berjauhan. Hal ini disebabkan oleh lokasi-lokasi pelanggan yang dikunjungi pada Rute 1 berada dalam jarak yang berdekatan satu sama lain dan hanya berada di sekeliling depot. Sementara pada Rute 2, pelanggan yang dikunjungi dimulai dari lokasi pelanggan yang terdekat dengan depot dan terdapat pelanggan yang jaraknya cukup jauh karena pelanggan yang terdekat telah dikunjungi pada rute sebelumnya sehingga tidak dapat dikunjungi lagi.

Perbandingan Penyelesaian Model menggunakan Algoritma Koloni Lebah dan Metode *Nearest Neighbour*

Perbandingan penyelesaian model CVRP pada pendistribusian Sari Roti di CV. Jogja Transport yang diperoleh dengan menggunakan Algoritma Koloni Lebah dan Metode *Nearest Neighbour*, diperlihatkan dalam Tabel 6 sebagai berikut.

Tabel 6 Perbandingan rute yang diperoleh menggunakan Algoritma Koloni Lebah dan Metode *Nearest Neighbour*.

Metode	Rute	Total Jarak (km)	Roti Terangkut
Algoritma Koloni Lebah			
Rute 1	0 – 18 – 26 – 10 – 3 – 1 – 8 – 2 – 9 – 6 – 12 – 7 – 4 – 17 – 0	87,1	403
Rute 2	0 – 13 – 20 – 19 – 23 – 21 – 24 – 25 – 22 – 5 – 15 – 14 – 16 – 11 – 27 – 0		340
Metode <i>Nearest Neighbour</i>			
Rute 1	0 – 18 – 26 – 10 – 3 – 1 – 8 – 9 – 2 – 6 – 12 – 4 – 7 – 5 – 0	89,61	411
Rute 2	0 – 17 – 20 – 19 – 23 – 21 – 24 – 25 – 22 – 13 – 11 – 15 – 14 – 16 – 27 – 0		332

Tabel 6 menunjukkan bahwa Algoritma Koloni Lebah menghasilkan total jarak tempuh yang lebih singkat dibandingkan dengan metode *Nearest Neighbour*. Algoritma Koloni lebah menghasilkan total jarak tempuh sebesar 87,1 km sedangkan Metode *Nearest Neighbour* menghasilkan total jarak tempuh sebesar 89,61 km. Total jarak dari rute yang dihasilkan kedua metode tersebut lebih singkat jika dibandingkan dengan rute yang biasanya digunakan oleh sales secara random seperti pada rute rekomendasi menggunakan Algoritma Koloni Lebah dengan jarak tempuh 109,56 km. Sehingga dapat dilihat bahwa rute usulan yang dibentuk dengan Metode *Nearest Neighbour* lebih efektif dibandingkan dengan Algoritma Koloni Lebah lebih baik daripada rute awal yang biasa digunakan. Namun jika dilihat dari

kapasitas kendaraan, Metode *Nearest Neighbour* lebih efektif dibandingkan dengan Algoritma Koloni Lebah. Metode *Nearest Neighbour* mampu mengangkut hingga 97,86% atau sebanyak 411 buah roti dari total kapasitas maksimum 420 roti. Sedangkan Algoritma Koloni Lebah memiliki keefektifitasan sebesar 95,95% atau sebanding dengan 403 buah roti dari total kapasitas maksimum 420 roti. Perbedaan ini dikarenakan Metode *Nearest Neighbour* lebih mengoptimalkan kapasitas kendaraan. Jika setiap rute memaksimalkan kapasitas kendaraan, maka jarak tempuhnya tidak optimal karena terdapat pelanggan terdekat yang tidak masuk ke dalam rute karena jumlah permintaannya melebihi sisa kapasitas. Dilihat dari segi jarak tempuh kendaraan, maka dapat dikatakan bahwa solusi yang dihasilkan Algoritma Koloni Lebah lebih baik dibandingkan Metode *Nearest Neighbour* dalam menyelesaikan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) pada pendistribusian Sari Roti di CV. Jogja Transport. Namun Metode *Nearest Neighbour* lebih baik dari segi keefektifitasan kendaraan dalam mengangkut barang.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan perbandingan efektivitas terhadap roti yang diangkut, Metode *Nearest Neighbour* menghasilkan rute yang dapat memaksimalkan kapasitas angkut kendaraan yaitu mengangkut hingga 97,86% atau sebanyak 411 buah roti dari total kapasitas maksimum 420 roti. Berdasarkan perbandingan efektivitas terhadap jarak tempuh, Algoritma Koloni lebah menghasilkan total jarak tempuh sebesar 87,1 km. Jarak tersebut lebih efektif 2,51 km dari Metode *Nearest Neighbour*. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa berdasarkan perbandingan efektivitas terhadap roti yang diangkut Metode *Nearest Neighbour* lebih efektif dari Algoritma Koloni Lebah, sedangkan berdasarkan perbandingan efektivitas terhadap jarak tempuh Algoritma

Koloni Lebah lebih efektif dari Metode *Nearest Neighbour*.

Saran

Pada penelitian skripsi ini, baru dilakukan pembahasan mengenai Algoritma Koloni Lebah dan Metode *Nearest Neighbour* sebagai metode penyelesaian *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP), maka perlu dilakukan penyelesaian dengan algoritma dan metode *heuristik* lainnya seperti algoritma semut, *tabu search*, *stochastic local search*, algoritma *dijkstra*, *simulated annealing*, dan lain-lain. Dengan demikian akan terlihat algoritma mana yang paling mendekati optimal untuk *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP). Dalam penelitian selanjutnya juga diharapkan dapat mengembangkan Algoritma Koloni Lebah dan Metode *Nearest Neighbour* dengan menggunakan program komputer agar proses pencarian solusi optimal dapat dilakukan dengan lebih cepat dan efisien. Dan juga saran untuk peneliti selanjutnya untuk menggunakan kendaraan dengan kapasitas yang berbeda-beda dikarenakan kapasitas yang digunakan dalam penelitian ini bersifat homogen.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, C., Susanty, S., & Adianto, H. 2014. Penentuan Rute Kendaraan Distribusi Produk Roti Menggunakan Metode *Nearest Neighbor* dan Metode *Sequential Insertion*. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*. 1, 154.
- Hutasoit, S.C., Susanty, Susy & Imran, Arif. 2014. Penentuan Rute Distribusi Es Balok Menggunakan Algoritma *Nearest Neighbour* dan *Local Search*. *Jurnal Online Insitut Teknologi Nasional*. Vol.2 No.2, ISSN 2338-5081: Bandung.
- Nismah. 2006. *Evaluasi Perilaku Antara Lebah Pekerja Apis Cerana Javana FABR Untuk Menginformasikan*

- Pop, P.C., Sitar, C.P., Zelina, I., et al. 2011. Heuristic algorithms for solving the generalized vehicle routing problem. *International Journal of Computers Communications & Control*. 6, 161.
- Rifpanna, L. A. 2015. Aplikasi Algoritma Koloni Lebah dan Algoritma Genetika dalam Pendistribusian Hasil Produksi UKM Kerupuk Metuk. *Skripsi*. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Saidah, N.H., Mahendrawathi, & Soelaiman, Rully. 2011. Implementasi Algoritma Optimasi *Bee Colony* untuk Penjadwalan *Job Shop*. *Jurnal Sistem Informasi Institut Sepuluh November*. 6-8.
- Toth, P. & Vigo, D. 2002. *The Vehicle Routing Problem*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.