

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

Bab ini membahas metodologi yang digunakan untuk menyelesaikan masalah CDVRP yang diawali dengan mendeskripsikan masalah, menjelaskan tahapan penelitian, membangun model matematika, dan penyelesaiannya dengan IACO.

#### **3.1 Deskripsi masalah**

Penelitian ini membahas CDVRP, yaitu masalah penentuan rute pendistribusian barang dari depot ke sejumlah pelanggan untuk memenuhi permintaan pelanggan. Pendistribusian dilakukan oleh sejumlah kendaraan dengan batasan kapasitas tertentu. Rute kendaraan selalu dimulai dari depot dan berakhir di depot. Setiap pelanggan hanya dilayani oleh satu kendaraan. Permintaan pelanggan dapat berubah setiap saat sehingga dapat mengakibatkan rute yang sedang dijalankan oleh kendaraan mengalami perubahan.

Tujuan yang ingin dicapai dari penyelesaian masalah ini adalah untuk menentukan rute pendistribusian dengan total jarak terpendek agar waktu perjalanan dalam proses distribusi lebih cepat. Dalam penelitian ini, masalah CDVRP akan diselesaikan dengan menggunakan IACO.

#### **3.2 Tahapan Penelitian**

Penelitian ini dilakukan melalui tahapan berikut:

##### **1. Studi Pustaka**

Pada tahapan ini, dilakukan studi pustaka dengan cara mempelajari teori-teori yang berkaitan dengan penelitian ini dari buku, jurnal, maupun sumber lainnya. Untuk melakukan penelitian ini, beberapa konsep pembelajaran yang dipelajari meliputi teori dasar graf, CVRP, dan ACO. Kemudian, dilakukan pengumpulan informasi yang relevan dan sumber kajian ilmiah untuk pemahaman lebih lanjut mengenai IACO dan CDVRP.

##### **2. Pengumpulan Data**

Pada tahapan ini, akan dilakukan pengumpulan data yang dibutuhkan untuk analisis. Data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini meliputi data kendaraan

yang terdiri dari banyaknya kendaraan dan batasan kapasitasnya, dan data pelanggan yang terdiri dari banyaknya permintaan dan lokasi pelanggan.

### 3. Representasi Graf

Data-data yang sudah diperoleh pada tahapan pengumpulan data akan direpresentasikan ke dalam bentuk graf yang terdiri dari simpul, sisi, dan bobot. Simpul dari graf mewakili lokasi pelanggan, sisi dari graf akan mewakili jalur yang dilalui oleh kendaraan, dan bobot dari graf merupakan banyaknya permintaan pada setiap lokasi.

### 4. Pembangunan Model Optimisasi

Pada tahapan ini, akan dibangun model optimisasi berupa model CDVRP dengan mendefinisikan beberapa asumsi pada model.

### 5. Penyelesaian Model Optimisasi

Pada tahapan ini, model optimisasi akan diselesaikan dengan menggunakan Algoritma IACO.

### 6. Validasi

Pada bagian ini, model matematika yang sudah dibangun akan divalidasi dengan cara menyelesaikan suatu kasus CDVRP dengan skala kecil menggunakan metode IACO. Validasi dilakukan dengan cara membandingkan solusi hasil perhitungan manual dengan solusi hasil implementasi IACO pada pemrograman. Jika solusi yang dihasilkan sama, maka tahapan akan dilanjutkan dengan implementasi. Jika solusi yang dihasilkan berbeda, maka tahapan akan diulang dari pembangunan model optimisasi.

### 7. Implementasi

Pada tahapan ini, model optimisasi dan teknik penyelesaiannya akan diimplementasikan pada proses pendistribusian produk *skincare* suatu Perusahaan.

### 8. Penarikan Kesimpulan

Pada tahapan ini, akan ditarik kesimpulan berdasarkan analisis hasil yang didapatkan.

### 3.3 Asumsi

CDVRP merupakan variasi CVRP yang mempertimbangkan perubahan dinamis, seperti perubahan permintaan, waktu perjalanan, dan ketersediaan kendaraan. Penelitian ini hanya membahas perubahan permintaan. Terdapat sejumlah pelanggan yang memerlukan kunjungan dari sebuah kendaraan. Setiap saat, permintaan dapat berubah seiring bertambahnya waktu. Berikut adalah komponen-komponen yang terlibat dalam CDVRP:

#### 1. Pelanggan

Pelanggan adalah pemasok yang memerlukan layanan penangkutan dari kendaraan. Pelanggan dapat memiliki waktu penyediaan layanan dan batas waktu pengiriman atau pengambilan.

#### 2. Kendaraan

Kendaraan adalah aset yang digunakan untuk melakukan penangkutan barang ke pelanggan. Kendaraan memiliki kapasitas yang terbatas dan harus memenuhi batas waktu pengiriman atau pengambilan.

#### 3. Jadwal

Jadwal berisi gabungan pelanggan yang akan dikunjungi oleh kendaraan pada waktu tertentu.

#### 4. Permintaan baru

Permintaan baru adalah suatu permintaan pelanggan pada waktu tertentu. Permintaan ini dapat muncul setiap saat.

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Supir kendaraan dan depot selalu berkomunikasi untuk memberi informasi terkait permintaan baru dari pelanggan, rute setiap kendaraan, dan posisi kendaraan (Luo dkk., 2010).
2. Jarak antara titik A ke titik B sama dengan jarak dari titik B ke titik A.
3. Setiap kendaraan memiliki batasan kapasitas dan jarak tempuh maksimum yang sama dan diketahui.
4. Banyaknya pelanggan tetap tetapi permintaan pelanggan dapat berubah setiap saat.
5. Setiap kendaraan selalu tersedia di depot dan dapat digunakan kapan saja.

6. Hanya terdapat satu depot.

### 3.4 Teknik Penyelesaian

CDVRP merupakan masalah penentuan rute kendaraan dalam situasi yang berubah secara dinamis. Algoritma umum untuk CDVRP merupakan pendekatan komputasional yang dirancang untuk mengoptimalkan rute. Secara umum, algoritma CDVRP mencakup beberapa langkah utama, yaitu; (1) Pengumpulan data *real-time* tentang permintaan dan kondisi lingkungan, (2) Perhitungan rute optimal menggunakan metode IACO secara berkelanjutan berdasarkan perubahan yang terjadi, dan (3) Memastikan bahwa semua permintaan pelanggan terpenuhi.

Dalam penelitian ini, CDVRP akan diselesaikan dengan menggunakan metode IACO. Metode IACO adalah pengembangan dari metode *Ant Colony Optimization* (ACO), di mana ada pembaruan *pheromone* pada setiap iterasi untuk menghindari terjadinya minimum lokal. Parameter-parameter dalam metode IACO yang digunakan untuk menyelesaikan CDVRP, seperti Alpha, Beta, dan Q memiliki kaitan yang erat dengan elemen-elemen di dunia nyata. Interpretasi parameter tersebut ke dalam dunia nyata terdapat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Interpretasi Parameter IACO di Dunia Nyata

Parameter	Definisi dalam IACO	Interpretasi di Dunia Nyata
<i>Pheromone</i> ( $\tau_{ij}$ )	Informasi yang ditinggalkan oleh semut pada jalur yang telah dilalui, yang akan digunakan oleh semut lain sebagai panduan pemilihan jalur.	Riwayat data atau informasi yang digunakan dalam sistem navigasi kendaraan untuk menentukan rute terbaik.
<i>Visibility</i> ( $\eta_{ij}$ )	Informasi tambahan yang membantu semut dalam memilih jalur, dalam hal ini jarak.	Faktor <i>real-time</i> yang mempengaruhi pengambilan keputusan, seperti kondisi lalu lintas, cuaca, atau prioritas pengiriman.
Alpha ( $\alpha$ )	Mengontrol pengaruh tingkat <i>pheromone</i> dalam pemilihan	Seberapa besar pengaruh riwayat data atau pengalaman

	jalur oleh semut. Nilai $\alpha$ yang lebih tinggi berarti <i>pheromone</i> memiliki pengaruh yang lebih besar dalam pemilihan jalur.	sebelumnya dalam penentuan rute. Contohnya, kepercayaan pada rute yang telah terbukti efektif sebelumnya.
Beta ( $\beta$ )	Mengontrol pengaruh <i>visibility</i> dalam pemilihan jalur. Nilai $\beta$ yang lebih tinggi berarti nilai <i>visibility</i> memiliki pengaruh yang lebih besar dalam pemilihan jalur.	Seberapa besar faktor <i>real-time</i> , seperti jarak, kondisi jalan, atau kondisi lalu lintas dipertimbangkan dalam pemilihan rute.
Q	Menentukan jumlah <i>pheromone</i> yang disimpan oleh semut di jalur yang telah dilewati untuk meningkatkan kualitas solusi. Nilai Q yang lebih besar akan membuat jalur yang lebih baik semakin cepat mencapai solusi optimal. Namun, jika nilai Q terlalu besar, maka algoritma mungkin akan terjebak di solusi minimum lokal.	Mewakili keuntungan yang diperoleh dari rute tertentu, seperti penghematan biaya, pengurangan waktu tempuh, atau peningkatan efisiensi operasi.
Tingkat penguapan <i>pheromone</i> ( $\rho$ )	Mengontrol seberapa cepat <i>pheromone</i> menguap, sehingga informasi lama tidak mendominasi pilihan jalur.	Pengurangan relevansi data lama, seperti informasi rute yang tidak lagi sesuai dengan kondisi saat ini. Contohnya perubahan kondisi jalan atau kondisi lalu lintas.

Langkah kerja IACO dalam menyelesaikan masalah CDVRP dapat dirincikan sebagai berikut:

1. Inisialisasi

Tahapan awal IACO dimulai dengan menginisialisasi parameter yang terdiri dari tingkat *pheromone*, *visibility*, tingkat penguapan *pheromone*, parameter pengontrol *pheromone* dan *visibility*, banyaknya iterasi, dan populasi semut. *Visibility* dalam masalah ini berkaitan dengan jarak kendaraan. Nilai-nilai dari parameter tersebut, kecuali nilai *visibility*, akan ditentukan oleh penulis. Deskripsi parameter-parameter yang akan digunakan tertera pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Parameter dalam metode IACO

Parameter	Keterangan
$\tau_{ij}$	Jumlah <i>pheromone</i> dari titik <i>i</i> ke <i>j</i>
$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$	<i>Visibility</i> dari <i>i</i> ke <i>j</i> dimana $d_{ij}$ adalah jarak dari titik <i>i</i> ke titik <i>j</i>
$\rho \in [0, 1]$	Tingkat penguapan <i>pheromone</i>
$\alpha \geq 0$	Parameter yang mengontrol intensitas <i>pheromone</i>
$\beta \geq 0$	Parameter yang mengontrol <i>visibility</i>
<i>S</i>	Jumlah semut $S = \{1, 2, \dots, s\}$
iterasi	Banyaknya iterasi

2. Penempatan Semut

Tempatkan semua semut pada depot.

3. Konstruksi solusi

Setelah semua semut diletakkan pada depot, setiap semut memilih lintasan berdasarkan probabilitas tertinggi pada setiap pemilihan titik selanjutnya. Dalam konteks CDVRP, kumpulan semut mewakili lintasan atau rute yang akan dilalui oleh suatu kendaraan.

4. Melakukan *2-opt local search*

Tahapan ini bertujuan untuk memperbaiki solusi awal dan menghindari solusi yang terjebak pada minimum lokal. Cara kerjanya adalah: (1) Inisialisasi solusi

awal yang diperoleh dari tahapan konstruksi rute, (2) Pilih dua tepi yang berbeda pada rute, baik secara acak maupun secara sistematis, (3) Balik urutan titik-titik antara kedua tepi yang dipilih, (4) Hitung kembali total jarak rute baru, (5) Perbarui rute jika jarak rute baru lebih pendek dari jarak rute sebelumnya, kemudian (6) Ulangi langkah 2 sampai tidak ada lagi perbaikan yang dapat dilakukan.

#### 5. Pembaruan *Pheromone* Lokal

Setelah semua semut menyelesaikan lintasan, tingkat *pheromone* diperbarui berdasarkan kinerja solusi yang dihasilkan. Ketika semut  $s$  selesai mengunjungi jalur dari  $i$  ke  $j$ , semut tersebut akan mengeluarkan *pheromone* yang menyebabkan semut selanjutnya memilih jalur dengan intensitas *pheromone* yang lebih tinggi. Hal tersebut mengakibatkan terjadinya penguapan *pheromone* di jalur yang tidak dilalui semut tersebut (Karjono dkk., 2016; Yang dan Zhuang, 2010). Oleh karena itu, akan dilakukan pembaruan *pheromone* lokal dengan rumus:

$$\tau_{ij} = (1 - \rho)\tau_{ij} + \sum_{s \in S} \Delta\tau_{ij}(s)$$

di mana:

$\Delta\tau_{ij}(m) = \frac{Q}{L_s}$  di mana  $Q$  adalah tetapan perjalanan semut, sedangkan  $L_s$  adalah total jarak yang ditempuh semut  $s$ . Nilai  $Q$  ditentukan oleh penulis.

#### 6. Pemeriksaan permintaan

Setelah semua semut menemukan lintasan terbaiknya, akan diperiksa apakah ada perubahan pada banyaknya permintaan pelanggan. Jika tidak ada, maka algoritma akan dilanjutkan ke tahapan berikutnya. Namun jika ada, maka data banyaknya permintaan akan diperbarui. Kemudian, algoritma akan dilanjutkan dengan permintaan baru sesuai dengan kondisi lintasan.

#### 7. Evaluasi Solusi

Solusi yang dihasilkan dievaluasi berdasarkan fungsi tujuan yang diberikan. Solusi yang didapat haruslah memenuhi setiap fungsi kendala (*feasible*). Jika

solusi yang didapat tidak memenuhi fungsi kendala, maka solusi tersebut akan diabaikan dan akan dipilih solusi lain yang memenuhi.

#### 8. Pemilihan Solusi Terbaik

Solusi terbaik dari semua semut dipilih berdasarkan kinerja solusi yang dihasilkan. Solusi terbaik dipilih dengan memperhatikan nilai fungsi tujuan yang minimum dan memenuhi setiap fungsi kendala.

#### 9. Pembaruan Global *Pheromone*

Tingkat *pheromone* secara global diperbarui berdasarkan solusi terbaik yang ditemukan. Ketika seekor semut menemukan jalur terpendek, maka semut tersebut akan memperbarui kepadatan jejak *pheromone* yang selanjutnya disebut sebagai pembaruan global *pheromone* (Yang dan Zhuang, 2010).

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho)\tau_{ij} + \rho \sum_{m \in M} \Delta\tau_{ij}(m)$$

di mana

$$\Delta\tau_{ij}(m) = \frac{1}{L_{best}} = \text{jumlah } \textit{pheromone} \text{ yang dihasilkan dari titik } i \text{ ke titik } j$$

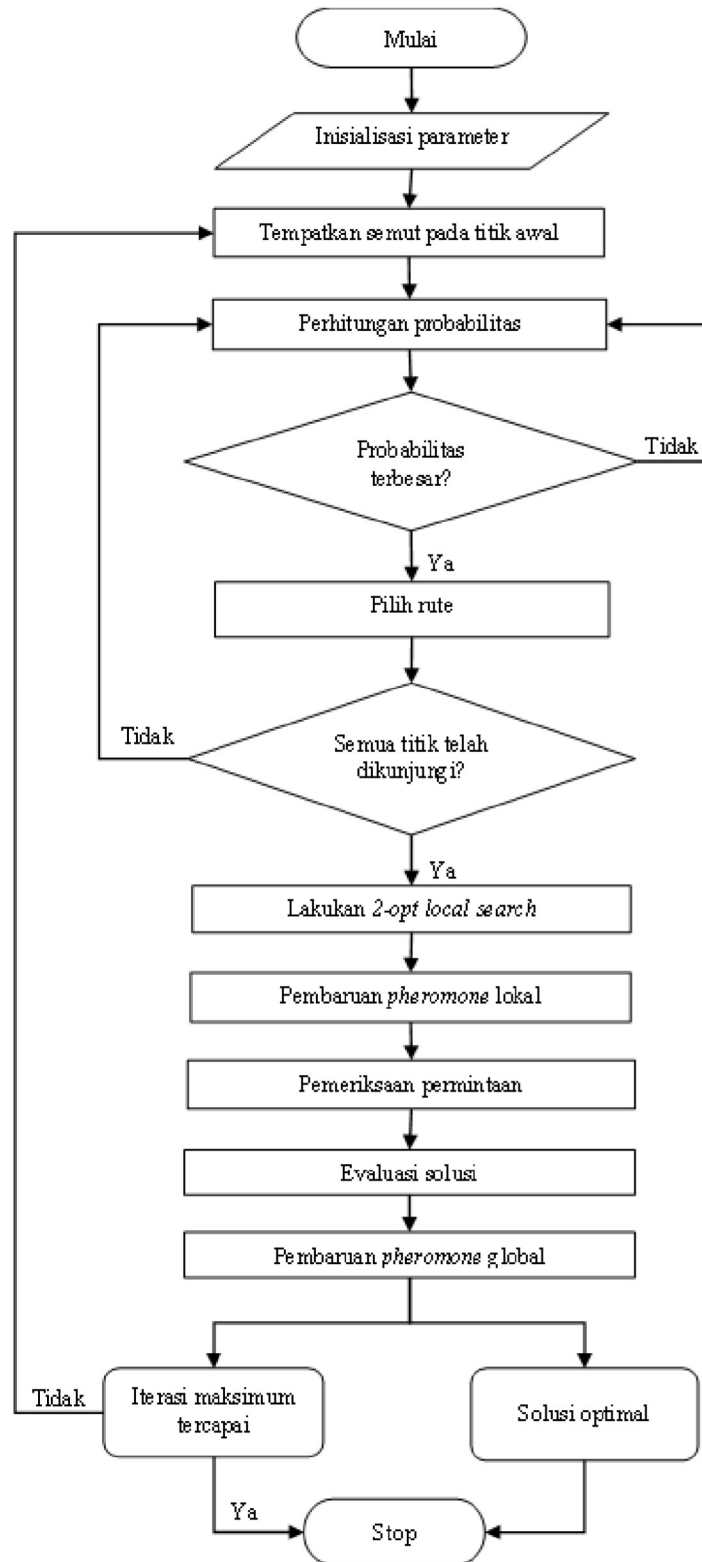
ketika semut  $m$  berjalan dengan jarak terpendek secara global  $L_{best}$

#### 10. Iterasi

Langkah 2 hingga 9 diulang sebanyak iterasi yang ditentukan atau hingga kriteria pemberhentian terpenuhi, yaitu ketika solusi yang didapat pada iterasi tersebut tidak lebih optimal dari solusi pada iterasi sebelumnya.

Algoritma CDVRP dengan metode IACO adalah sebuah pendekatan canggih yang memanfaatkan kecerdasan koloni semut untuk mencari rute terpendek pengiriman dalam kondisi yang dinamis. Algoritma ini memungkinkan sebuah perbaikan pada setiap iterasi seperti penyesuaian *pheromone* sehingga dapat meningkatkan akurasi dan efisiensi algoritma. Berikut adalah *flowchart* yang akan menggambarkan algoritma CDVRP dengan metode IACO secara visual.





Gambar 3. 1 *Flowchart* CDVRP dengan metode IACO