

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas deskripsi masalah, tahapan penelitian, metode *K-Means Clustering*, dan langkah kerja algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) dalam menyelesaikan CVRP.

3.1 Deskripsi Masalah

Penelitian ini membahas *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP), yaitu masalah penentuan rute pendistribusian bagi sejumlah kendaraan dari sebuah depot ke sejumlah pelanggan. Setiap pelanggan memiliki sejumlah permintaan yang harus dipenuhi. Setiap kendaraan memiliki batasan kapasitas pengangkutan. Setiap pelanggan hanya boleh dikunjungi tepat satu kali dan setiap kendaraan memulai perjalanannya dari depot dan kembali lagi ke depot.

Untuk menyelesaikan CVRP, para pelanggan akan dibagi menjadi beberapa kluster berdasarkan lokasi geografis untuk menentukan jumlah kendaraan yang akan dipakai menggunakan metode *K-Means Clustering*. Selanjutnya dari setiap kluster yang telah dibagi akan dibuat urutan pelanggan yang harus dikunjungi agar kendaraan memiliki rute distribusi terpendek. Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) akan diterapkan untuk menentukan rute optimal bagi kendaraan.

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan yang dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Dalam penelitian ini, studi literatur dilakukan dengan mempelajari teori-teori dari berbagai jurnal nasional dan internasional yang membahas tentang Optimisasi CVRP menggunakan metode *K-Means Clustering* dan *Particle Swarm Optimization* (PSO).

2. Pengumpulan data

Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data sekunder dari sebuah perusahaan es krim di Kota Bandung. Data tersebut diperoleh dari penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Firmansyah (2020). Data tersebut telah

disesuaikan dengan kebutuhan penelitian ini. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

a. Data depot

Perusahaan hanya memiliki satu depot. Setiap kendaraan yang digunakan berangkat dari depot dan kembali ke depot.

b. Data kendaraan

Jumlah kendaraan yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan rute yang terbentuk. Setiap kendaraan yang digunakan memiliki kapasitas maksimal 300 paket es krim dalam sekali pendistribusian.

c. Data permintaan

Pada penelitian ini, data permintaan berasal dari pelanggan yang terdiri dari berbagai minimarket dan supermarket di Kota Bandung dan Kota Cimahi.

d. Data lokasi depot dan pelanggan

Pada penelitian ini, data lokasi depot dan pelanggan yang digunakan berupa kordinat lokasi yang diperoleh dari Google Maps. Data tersebut digunakan untuk menentukan jarak antara depot dengan pelanggan dan jarak antara pelanggan dengan pelanggan.

3. Formulasi Model Optimisasi

Pada tahap ini akan diformulasikan model optimisasi CVRP dengan menentukan variabel keputusan, membentuk fungsi tujuan, dan menetapkan kendala-kendala dari model CVRP.

4. Penyelesaian Model

Pada tahap ini, akan diuraikan langkah-langkah penyelesaian permasalahan dengan menggunakan algoritma K-Means Clustering untuk membentuk kluster para pelanggan. Selanjutnya, algoritma PSO akan diimplementasikan untuk menentukan rute yang optimal.

5. Validasi

Pada tahap ini dilakukan proses validasi terhadap metode dan model yang digunakan. Validasi dilakukan untuk menguji apakah metode dan model yang digunakan sudah benar atau tidak. Validasi dilakukan dengan cara

membandingkan solusi optimal yang diperoleh pada contoh kasus dengan solusi optimal yang dihasilkan dari implementasi teknik penyelesaian menggunakan bahasa pemrograman.

6. Implementasi

Model dan metode penyelesaian yang telah divalidasi, selanjutnya akan diimplementasikan untuk menyelesaikan masalah pendistribusian es krim pada perusahaan es krim di Kota Bandung.

7. Penarikan Kesimpulan

Pada tahap akhir penelitian akan dilakukan penarikan kesimpulan terhadap penyelesaian masalah yang telah dilakukan.

3.3 Model CVRP

Model CVRP dibangun dengan menggunakan asumsi-asumsi berikut:

1. Setiap pelanggan dikunjungi tepat satu kali oleh satu kendaraan.
2. Setiap kendaraan hanya mengunjungi satu kluster.
3. Setiap kendaraan mempunyai batasan kapasitas yang sama.
4. Tidak ada permintaan yang melebihi kapasitas kendaraan.
5. Setiap pelanggan terhubung satu sama lain dan jarak antara pelanggan i ke j sama dengan jarak dari pelanggan j ke i .
6. Kendaraan yang tersedia cukup untuk memenuhi semua permintaan.
7. Fungsi tujuan yang digunakan adalah meminimumkan total jarak tempuh kendaraan.

Tahapan pertama dalam formulasi model CVRP adalah mendefinisikan himpunan dan parameter yang digunakan pada model sebagai berikut:

- S : himpunan pelanggan
 D : himpunan depot
 K : himpunan kendaraan
 Q : kapasitas kendaraan
 d_i : permintaan pelanggan ke i
 c_{ij} : jarak dari i ke j , dimana $i, j \in S \cup D$

Variabel keputusan pada model didefinisikan untuk menentukan ada tidaknya perjalanan antar dua pelanggan oleh suatu kendaraan. Variabel keputusan tersebut adalah sebagai berikut:

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{jika terdapat perjalanan dari } i \text{ ke } j \text{ dengan kendaraan } k \\ 0, & \text{yang lainnya} \end{cases}$$

$$y_i^k = \begin{cases} 1, & \text{jika kendaraan } k \text{ mengunjungi pelanggan } i \\ 0, & \text{yang lainnya} \end{cases}$$

Penyelesaian CVRP bertujuan untuk mencari rute terpendek dalam melakukan distribusi barang dari depot ke pelanggan lalu kembali ke depot menggunakan sejumlah k kendaraan sehingga permintaan setiap pelanggan terpenuhi. Oleh karena itu, fungsi tujuan dari model CVRP diekspresikan sebagai berikut:

Meminimumkan:

$$z = \sum_{k \in K} \sum_{j \in S} \sum_{i \in S} c_{ij} x_{ij}^k \quad (3.1)$$

Adapun kendala-kendala dari model CVRP adalah sebagai berikut:

- 1) Setiap pelanggan hanya dikunjungi oleh satu kendaraan.

Kendala ini dituliskan sebagai:

$$\sum_{k \in K} y_i^k = 1, \forall i \in S \quad (3.2)$$

- 2) Jumlah kendaraan yang digunakan sebanyak $|K|$

Kendala ini dituliskan sebagai:

$$\sum_{j \in S} x_{0j} = \sum_{j \in S} x_{j0} = K, 0 \in D \quad (3.3)$$

- 3) Setiap kendaraan mengunjungi pelanggan paling banyak satu kali.

Kendala ini diekspresikan sebagai:

$$\sum_{j \in S} x_{ij}^k = \sum_{j \in S} x_{ji}^k = y_i^k, \forall i, j \in S \cup D, \forall k \in K \quad (3.4)$$

- 4) Setiap kendaraan memiliki batasan kapasitas Q sehingga total permintaan pelanggan yang diangkut oleh kendaraan tidak boleh melebihi kapasitas maksimum kendaraan.

Kendala ini diekspresikan sebagai:

$$\sum_{i \in S} d_i y_i^k \leq Q, \forall k \in K \quad (3.5)$$

Batasan variabel adalah sebagai berikut:

$$x_{ij}, y_{ij} = \{0,1\} \quad (3.6)$$

3.4 Teknik Penyelesaian CVRP

Pada penelitian ini, CVRP akan diselesaikan dengan menggunakan algoritma *K-Means Clustering* dan PSO. Algoritma *K-Means Clustering* telah banyak digunakan dalam penyelesaian masalah dengan klusterisasi. Algoritma *K-Means Clustering* pernah digunakan oleh Siriapichart (2022) pada penyelesaian VRPLD. Algoritma PSO pertama kali dikembangkan oleh Eberhart dan Kennedy Reong dkk (2022) serta digunakan oleh Marinakis dkk. (2017) pada penyelesaian VRP. Tahap pertama dalam penyelesaian CVRP ini adalah membagi lokasi pelanggan menjadi beberapa kluster menggunakan algoritma K-Means Clustering berdasarkan data koordinat pelanggan dan depot. Setelah klusterisasi, proses penyelesaian dilanjutkan dengan membuat rute distribusi yang optimal dari depot ke pelanggan menggunakan algoritma PSO. Algoritma K-Means Clustering dan PSO dirancang untuk menghasilkan solusi optimal berupa rute terpendek distribusi barang dari depot ke sejumlah pelanggan.

3.4.1 K-Means Clustering

Pada penelitian ini lokasi pelanggan dan lokasi depot akan disajikan dalam bentuk kordinat (x,y) . Tahapan dalam pengklusteran menggunakan *K-Means Clustering* sebagai berikut:

- 1) Inisialisasi jumlah k kluster secara acak dan menentukan titik *centroid* secara acak.

- 2) Hitung jarak setiap *centroid* terhadap lokasi pelanggan menggunakan rumus jarak *Euclidean* (D):

$$D(x_2, x_1) = \sqrt{\sum p_j = (x_2 - x_1)^2} \quad (3.7)$$

di mana:

p : *dimensi data*

j : *indeks ke – j*

x_1 : *lokasi centroid*

x_2 : *lokasi pelanggan*

- 3) Kelompokkan data sehingga terbentuk k buah kluster dan titik centroid dari setiap kluster dengan memilih jarak terkecil dari setiap pelanggan dengan masing-masing centroid.
- 4) Perbarui nilai titik centroid dengan rumus berikut:

$$\mu_k = \frac{1}{N_k} \sum_{q=1}^{N_k} x_q \quad (3.8)$$

di mana:

μ_k : *titik centroid dari kluster ke – k*

N_k : *banyaknya data pada kluster ke – k*

x_q : *data ke – q pada kluster ke – k*

3.4.2 Particle Swarm Optimization

Data pelanggan yang telah terbentuk menjadi sejumlah kluster selanjutnya akan ditentukan rute terpendek kendaraan yang berangkat dari depot ke setiap pelanggan dalam satu kluster kemudian kembali ke depot. Langkah kerja algoritma PSO dalam menyelesaikan CVRP adalah sebagai berikut:

- 1) Inisialisasi parameter PSO

Langkah awal dalam algoritma PSO yaitu menentukan parameter-parameter yang akan digunakan. Parameter yang ditetapkan di awal antara lain, jumlah partikel, iterasi maksimum, nilai koefisien C_1 dan C_2 , nilai r_1 dan r_2 berupa nilai random 0-1, serta bobot inersia w . Setiap Partikel direpresentasikan

sebagai urutan pelanggan yang harus dikunjungi kendaraan dalam satu kluster. Dimensi partikel menyatakan jumlah pelanggan dalam satu kluster.

2) Pembangkitan populasi awal

Populasi awal dibangkitkan dengan membentuk sejumlah partikel secara acak, di mana setiap partikel mewakili sebuah solusi awal berupa urutan pelanggan yang dikunjungi kendaraan dalam satu kluster. Kecepatan partikel direpresentasikan sebagai daftar operasi swap yang menggambarkan perubahan posisi dari urutan saat ini. Kecepatan awal partikel berupa daftar swap kosong.

3) Evaluasi nilai *fitness* setiap partikel

Nilai *fitness* terbaik dalam partikel akan menjadi *pbest* dan nilai *fitness* terbaik dalam satu populasi akan dijadikan sebagai *gbest*. Untuk setiap partikel, nilai awal *pbest* akan sama dengan posisi awal.

Fitness setiap partikel ditentukan berdasarkan total jarak tempuh dalam satu kluster. Nilai *fitness* ditentukan melalui persamaan berikut :

$$Fitness = \sum_{i=0}^n d(x_i, x_{i+1}) \quad (3.9)$$

di mana :

$d(x_i, x_{i+1})$: jarak dari pelanggan i ke pelanggan $i + 1$

n : jumlah pelanggan dalam kluster

4) Penentuan kecepatan dan posisi

Dalam kasus ini posisi partikel berupa urutan pelanggan sehingga untuk memperbarui posisi partikel menggunakan operasi *swap* yaitu pertukaran posisi dua elemen dalam urutan partikel untuk mendekati solusi ke *pbest* atau *gbest*. Operasi *swap* dilakukan berdasarkan perhitungan probabilitas mengikuti rumus berikut:

$$P_{swap} = \omega P_v + C_1 r_1 P_{pbest} + C_2 r_2 P_{gbest} \quad (3.10)$$

di mana :

P_v = probabilitas dari kecepatan sebelumnya

P_{pbest} = probabilitas mendekati *pbest*

P_{gbest} = probabilitas mendekati $gbest$

ω = momen inersia

C_1 dan C_2 = nilai konstanta positif

r_1 dan r_2 = nilai random (0 – 1)

Nilai P_v ditetapkan 1 jika terjadi swap sebelumnya dan 0 jika tidak ada swap sebelumnya. Nilai P_{pbest} ditetapkan 1 jika posisi saat ini sama dengan $pbest$ dan 0 jika berbeda dengan $pbest$. Nilai P_{gbest} ditetapkan 1 jika posisi saat ini sama dengan $gbest$ dan 0 jika berbeda dengan $gbest$. Swap dilakukan jika nilai $P_{swap} > 1$. Jika tidak, swap tidak dilakukan dimana 1 merupakan nilai pembandingan terhadap hasil perhitungan.

5) Pembaruan kecepatan dan posisi

Setelah mendapatkan *fitness* setiap partikel, tentukan partikel berdasarkan nilai *fitness* yang terkecil di seluruh partikel untuk dijadikan sebagai $gbest$ dimana $pbest$ awal merupakan posisi awal. Perbarui $pbest$ dengan membandingkan nilai *fitness* partikel pada iterasi saat ini dengan *fitness* sebelumnya. Jika nilai *fitness* saat ini lebih kecil dari *fitness* sebelumnya maka $pbest$ diperbarui dengan nilai *fitness* saat ini. Selanjutnya, nilai $gbest$ diperoleh dengan mengambil nilai *fitness* terkecil dari seluruh $pbest$ yang ada pada iterasi tersebut.

$$pbest_i = \begin{cases} X_i^t, & \text{jika } fitness(X_i^t) < fitness(pbest_i) \\ pbest_i, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (3.11)$$

$$gbest = \min(fitness(pbest_1), fitness(pbest_2), \dots, fitness(pbest_n)) \quad (3.12)$$

di mana :

X_i^t = posisi partikel ke – i pada iterasi ke – t

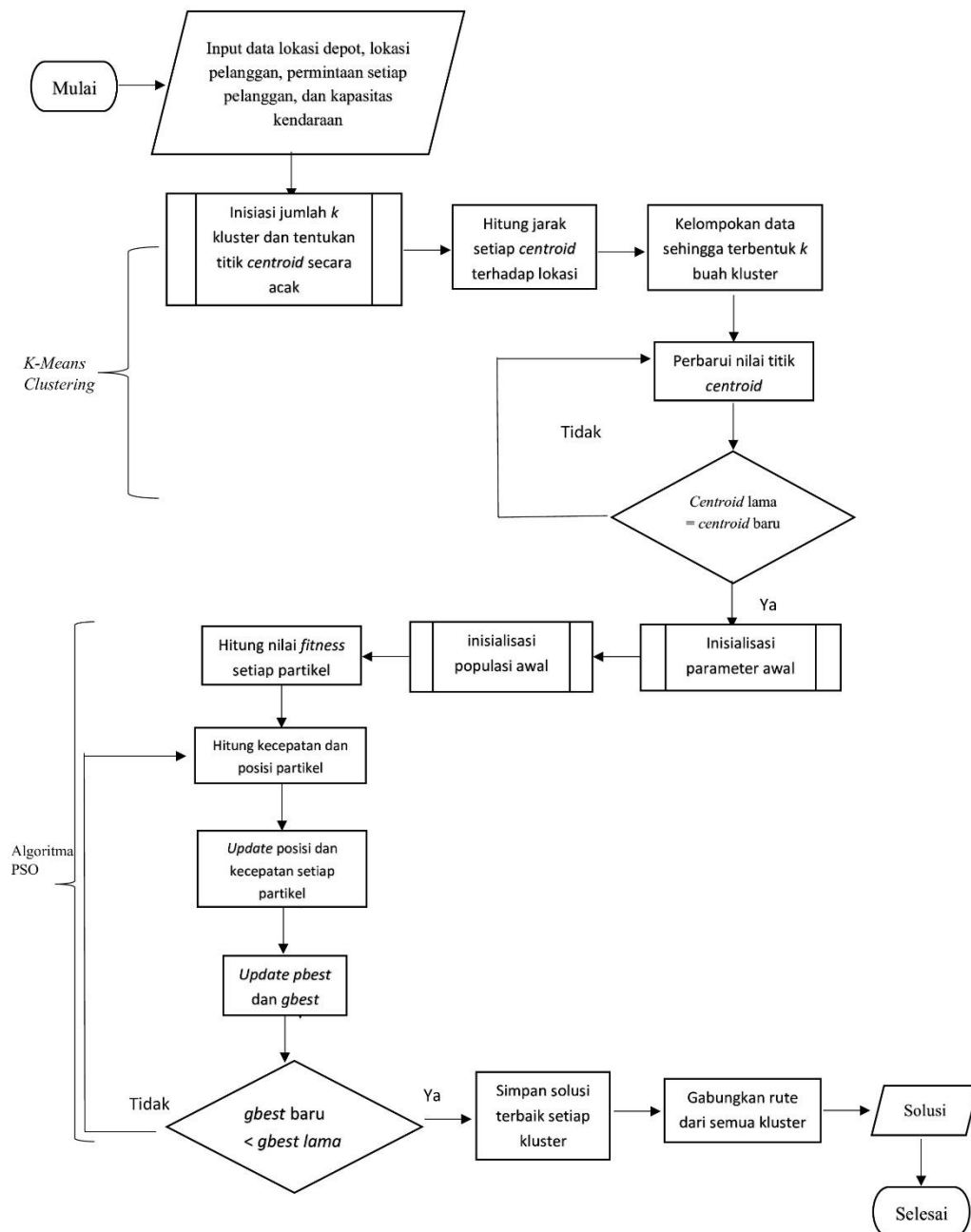
$pbest_i$ = personal best partikel ke – i

$gbest$ = global best seluruh partikel

n = jumlah partikel

Apabila nilai $pbest$ baru lebih kecil dari $pbest$ sebelumnya maka perbarui $pbest$ pada partikel tersebut. Nilai $pbest$ terkecil dalam kluster menjadi $gbest$ pada kluster. Proses iterasi selesai ketika nilai $pbest$ setiap partikel konvergen ke nilai $gbest$.

Tahapan penyelesaian *Capacitated Vehicle Routing Problem* menggunakan *K-Means Clustering* dan algoritma *Particle Swarm Optimization* dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Flowchart K-Means Clustering dan algoritma PSO