

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas tentang metodologi penelitian yang digunakan untuk menyelesaikan masalah *Split Delivery Vehicle Routing Problem* (SDVRP) dengan menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO), dan contoh masalah SDVRP beserta penyelesaiannya menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization*.

3.1 Deskripsi Masalah

Penelitian ini membahas masalah optimisasi pendistribusian barang dari salah satu perusahaan. Perusahaan mendistribusikan sebanyak n barang dari sebuah gudang yang disebut depot ke m pelanggan dengan menggunakan k buah kendaraan yang diketahui kapasitasnya. Setiap kendaraan harus kembali lagi ke depot. Setiap pelanggan dapat memiliki permintaan yang kurang dari atau sama dengan atau lebih besar dari kapasitas kendaraan. Apabila banyaknya permintaan pelanggan dalam satu rute melebihi kapasitas angkut kendaraan atau sisa angkut kendaraan maka barang tersebut akan dibagi ke kendaraan yang lain yang masih cukup kapasitasnya. Masalah distribusi di atas merupakan perluasan dari VRP yang dikenal dengan sebutan *Split Delivery VRP* (SDVRP), yaitu barang yang akan didistribusikan ke pelanggan dikirim secara terpisah (*split*) dengan menggunakan lebih dari satu kendaraan. Tujuan dari penyelesaian SDVRP adalah untuk meminimumkan total jarak perjalanan dari kendaraan sehingga perlu ditentukan rute setiap kendaraan dari depot ke pelanggan. Penelitian ini akan menyelesaikan masalah SDVRP dengan menggunakan Algoritma *Ant Colony Optimization*.

3.2 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan berikut:

1. Studi Pustaka

Dalam tahap ini dilakukan studi pustaka dengan cara mempelajari beberapa literatur seperti artikel dan buku serta sumber lainnya yang berkaitan dengan konsep dan penggunaan VRP, SDVRP dan Algoritma *Ant Colony Optimization*.

2. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data depot, data pelanggan, data jumlah permintaan pelanggan, data jarak dari depot ke pelanggan, data jarak dari pelanggan ke pelanggan, dan data kendaraan beserta kapasitasnya.

3. Pembangunan Model Optimisasi

Pada bagian ini dibahas model optimisasi dalam masalah SDVRP dengan mendefinisikan asumsi-asumsi, himpunan, parameter, variabel keputusan, fungsi tujuan serta kendala yang digunakan.

4. Penyelesaian Model Optimisasi

Dalam tahap ini, model diselesaikan dengan menggunakan Algoritma *Ant Colony Optimization*.

5. Validasi

Pada tahap ini akan dibandingkan solusi optimal dari contoh kasus sederhana. Data sederhana dihitung manual, kemudian dibandingkan dengan perhitungan menggunakan *software*. Jika solusi keduanya sama, maka dilanjutkan ke tahap implementasi. Jika diperoleh solusi yang berbeda, maka tahapan akan diulang mulai dari pemodelan.

6. Implementasi

Setelah dipastikan bahwa solusi yang dihasilkan valid, dilakukan implementasi algoritma ke dalam studi kasus pendistribusian barang. Dari implementasi algoritma ini akan dianalisis hasilnya dalam menyelesaikan masalah SDVRP.

7. Penarikan Kesimpulan

Tahap terakhir yaitu akan ditarik kesimpulan dari jawaban rumusan masalah yang telah dirumuskan sebelumnya dan hasil dari implementasinya.

3.3 Model Optimisasi

Pada bagian ini akan dibahas model optimisasi dari SDVRP. Adapun asumsi-asumsi yang digunakan dalam pemodelan ini adalah sebagai berikut:

1. Hanya terdapat satu depot.
2. Pelanggan dapat dikunjungi oleh kendaraan lebih dari satu kali.
3. Kendaraan yang digunakan memiliki kapasitas yang sama.
4. Kendaraan tersedia dalam jumlah yang cukup untuk memenuhi permintaan pelanggan.

5. Jarak dari depot ke konsumen dan antar konsumen bersifat simetris, artinya jarak dari A ke B sama dengan jarak dari B ke A.

Untuk memodelkan SDVRP terlebih dahulu akan didefinisikan himpunan, parameter, dan variabel keputusan sebagai berikut (Archetti & Speranza, 2012):

1. Himpunan

$S = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ adalah himpunan lokasi depot dan pelanggan

$K = \{1, 2, \dots, m\}$ adalah himpunan kendaraan

2. Parameter

c_{ij} adalah jarak dari pelanggan i ke pelanggan j

d_i adalah jumlah permintaan pelanggan

q_i^k adalah banyaknya barang yang dikirim ke i pelanggan pada kendaraan k

V adalah kapasitas kendaraan

Z adalah fungsi objektif untuk meminimumkan jarak

3. Variabel Keputusan

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

y_{ik} adalah banyaknya permintaan pelanggan i yang dikirim kendaraan k

Fungsi tujuan dalam penelitian ini adalah untuk meminimumkan total jarak perjalanan. Fungsi ini dituliskan sebagai berikut:

Meminimumkan:

$$Z = \sum_{k=1}^m \sum_{j=0}^n \sum_{i=0}^n c_{ij} x_{ijk}$$

Kendala dari model SDVRP memenuhi kondisi berikut:

1. Setiap pelanggan dikunjungi minimal satu kali.

$$\sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} \geq 1, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n$$

2. Setiap kendaraan yang mengunjungi dan melayani pelanggan juga meninggalkan pelanggan

$$\sum_{i=0}^n x_{ipk} - \sum_{j=0}^n x_{pjk} = 0, \quad p = 0, \dots, n; k = 1, \dots, m$$

3. Kendala eliminasi *subtour*

Regita Choirun Nisa, 2023

PENYELESAIAN SPLIT DELIVERY VEHICLE ROUTING PROBLEM MENGGUNAKAN ALGORITMA ANT COLONY OPTIMIZATION (Studi Kasus: Penentuan Rute Distribusi Air Mineral di Kabupaten Bandung)

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1, \quad k = 1, \dots, m; S \subseteq K - \{0\}$$

4. Pelanggan i dilayani oleh kendaraan k hanya jika kendaraan k mengunjungi pelanggan i

$$y_{ik} \leq d_i \sum_{j=0}^n x_{ijk}, \quad i = 1, 2, \dots, n; k = 1, \dots, m$$

5. Seluruh permintaan pelanggan terpenuhi

$$\sum_{k=1}^m y_{ik} = d_i, \quad i = 1, \dots, n$$

6. Barang yang dibawa tidak melebihi kapasitas kendaraan

$$\sum_{k=1}^m y_{ik} \leq V, \quad k = 1, \dots, m$$

Batasan dari variabel adalah sebagai berikut:

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, i = 0, \dots, n; j = 0, \dots, n; k = 1, \dots, m$$

$$y_{ik} \geq 0, \quad i = 1, \dots, n; k = 1, \dots, m$$

Selengkapnya, model optimisasi dari SDVRP adalah sebagai berikut:

Meminimumkan:

$$Z = \sum_{k=1}^m \sum_{j=0}^n \sum_{i=0}^n c_{ij} x_{ijk}$$

Terhadap:

$$\sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} \geq 1, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ipk} - \sum_{j=0}^n x_{pjk} = 0, \quad p = 0, \dots, n; k = 1, \dots, m$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1, \quad k = 1, \dots, m; S \subseteq K - \{0\}$$

$$y_{ik} \leq d_i \sum_{j=0}^n x_{ijk}, \quad i = 1, 2, \dots, n; k = 1, \dots, m$$

$$\sum_{k=1}^m y_{ik} = d_i, \quad i = 1, \dots, n$$

Regita Choirun Nisa, 2023

PENYELESAIAN SPLIT DELIVERY VEHICLE ROUTING PROBLEM MENGGUNAKNA ALGORITMA ANT COLONY OPTIMIZATION (Studi Kasus: Penentuan Rute Distribusi Air Mineral di Kabupaten Bandung)

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

$$\sum_{k=1}^m y_{ik} \leq V, \quad k = 1, \dots, m$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, i = 0, \dots, n; j = 0, \dots, n; k = 1, \dots, m$$

$$y_{ik} \geq 0, \quad i = 1, \dots, n; k = 1, \dots, m$$

Model di atas termasuk dalam kategori model *binary integer programming*. Pada sub bab selanjutnya akan dibahas teknik penyelesaian dari model di atas.

3.4 Penyelesaian Model dengan Menggunakan Algoritma *Ant Colony Optimization*

Penelitian ini menggunakan Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) untuk menyelesaikan masalah SDVRP. ACO seringkali digunakan dalam menyelesaikan masalah optimalisasi diskrit dan kompleks yang melibatkan banyak variabel. Meskipun tidak menghasilkan solusi yang optimal, tetapi algoritma ini memberikan solusi yang mendekati optimal dalam waktu komputasi yang cepat (Karjono dkk., 2016).

ACO terinspirasi dari perilaku kawanan semut dalam mencari makanan, dengan menggunakan zat kimia bernama feromon untuk berkomunikasi. Semakin banyak semut yang melewati suatu jalur, maka semakin tinggi nilai feromon di jalur tersebut. Semut secara probabilistik mengeksplorasi solusi dan menghasilkan solusi sementara. Solusi sementara ini akan diperbarui dan dievaluasi berdasarkan feromon yang terkait dengan solusi. Secara umum, tahapan ACO dalam menyelesaikan SDVRP terdiri dari inialisasi, konstruksi solusi, pembaruan feromon, dan evaluasi. Berikut adalah penjelasan dari setiap tahapan.

1. Inialisasi

Tahapan inialisasi terdiri dari langkah berikut:

a. Inialisasi parameter awal

Parameter awal yang digunakan terdiri dari:

- Intensitas jejak feromon semut (τ_{ij}).
- Jarak antar kota (d_{ij}).

Jika diketahui titik koordinat maka jarak ditentukan oleh rumus:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}.$$

- Visibilitas antar kota (η_{ij}) = $\frac{1}{d_{ij}}$.
- Tetapan pengendali intensitas jejak semut ($\alpha > 0$).
- Tetapan pengendali visibilitas ($\beta > 0$).
- Tetapan siklus semut (Q).
- Jumlah semut (m).
- Tetapan penguapan jejak feromon ($0 < \rho \leq 1$).
- Jumlah iterasi maksimum ($NCmax$).
- *Tabu list* dalam keadaan kosong.
- Muatan awal kendaraan adalah 0.

Untuk penguapan jejak feromon akan ditetapkan sebesar 0,6. Hal ini berdasarkan penelitian dari Ochelska-Mierzejewska (2020) menghasilkan solusi yang terbaik. Sedangkan nilai $\alpha = 1$ dan $\beta = 2$ berdasarkan rekomendasi dari (Stützle & Dorigo, 2004).

- b. Inisialisasi titik pertama setiap semut.

Inisialisasi dilakukan dengan menempatkan sejumlah semut di kota awal dimulainya rute yang dalam hal ini adalah depot.

2. Konstruksi Solusi

Konstruksi solusi dilakukan menggunakan langkah berikut:

- a. Isi *tabu list* yang kosong dengan memasukkan depot dan pelanggan.

Tabu list digunakan untuk menampung pelanggan-pelanggan yang sudah dikunjungi oleh semut. Pengisian *tabu list* pertama dari setiap semut adalah depot, pengisian dilanjutkan dengan memasukkan pelanggan satu per satu ke dalam *tabu list* hingga penuh.

- b. Hitung persamaan probabilitas untuk menentukan pelanggan selanjutnya menggunakan persamaan:

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum_{l \in N_i} [\tau_{il}]^{\alpha} [\eta_{il}]^{\beta}}, & \text{jika } j \in N_i \\ 0, & \text{lainnya.} \end{cases}$$

di mana nilai η_{ii} yang berupa suatu bilangan tidak terdefinisi (*undefined*) tidak menimbulkan masalah karena tidak digunakan pada tahap selanjutnya.

p_{ij} adalah probabilitas semut mengunjungi kota i ke j dengan $i \neq j$.

N_i merupakan himpunan simpul tetangga dari i yang belum dikunjungi semut yang mencakup semua simpul yang mungkin dapat dituju semut saat berada di simpul i . Setiap semut yang berada di kota awal selanjutnya akan siap mengunjungi pelanggannya masing-masing. Setelah memilih pelanggan kedua semut akan melakukan perjalanannya untuk mengunjungi pelanggan ketiga dan selanjutnya dengan memilih pelanggan yang belum ada di dalam *tabu list*.

- c. Bangkitkan bilangan acak r (0,1) untuk setiap semut.

Bilangan acak r ini akan digunakan dalam menentukan pelanggan tertentu. Oleh karena itu, sebelumnya perlu dilakukan penentuan *range* probabilitas kumulatif yang berkaitan dengan pemilihan pelanggan. Jika terdapat p nilai variabel, maka terdapat pula p pilihan *range* probabilitas. Pelanggan dengan indeks terkecil dari jumlah kumulatif dari probabilitas yang memiliki nilai peluang lebih besar dari atau sama dengan r mempunyai peluang untuk terpilih.

- d. Pilih pelanggan selanjutnya dan masukkan pelanggan ke dalam *tabu list*. Tahapan ini dilakukan dengan cara menghitung kapasitas kendaraan dengan menggunakan rumus:

$$\text{Sisa kapasitas kendaraan} = \text{Total kapasitas maksimal} - \text{muatan terisi.}$$

- Jika $\text{permintaan pelanggan} \leq \text{sisa kapasitas kendaraan}$, maka semua barang dimuat di kendaraan dan pelanggan dimasukkan ke dalam *tabu list*.
- Jika $\text{permintaan} > \text{sisa kapasitas kendaraan}$, maka dilakukan *split*. Barang disimpan di kendaraan sebelumnya atau di *tabu list* sebelumnya dan ditambahkan kendaraan lain untuk membuat rute baru dan menampung barang sisanya.

- e. Cek kapasitas kendaraan.

Pengecekan dilakukan dengan melihat apakah kapasitas kendaraan sudah penuh atau belum.

- Jika $\text{sisa kapasitas kendaraan} = 0$, maka kendaraan langsung menuju depot.

- Jika *sisa kapasitas kendaraan* $\neq 0$, kembali ke langkah b konstruksi solusi.

f. Bentuk rute solusi.

Total jarak dihitung dari rute yang diperoleh dengan menjumlahkan semua jarak dari rute yang telah dilalui oleh setiap semut. Jarak dihitung dimulai dari jarak depot ke pelanggan, jarak antar pelanggan dan jarak pelanggan terakhir ke depot. Setelah semua rute masing-masing semut dihitung, maka dipilih solusi dengan jarak minimum.

3. Perbaharui Feromon

Untuk meningkatkan kualitas solusi perlu dilakukan pembaruan feromon. Terdapat dua pembaruan feromon, yaitu pembaruan feromon lokal dan pembaruan feromon global. Pembaruan feromon lokal dilakukan saat semut dalam proses pencarian jalur, sedangkan dalam pembaruan feromon global terjadi penguapan feromon dan dilakukan setelah langkah konstruksi dalam satu iterasi sudah maksimal (Suhendra & Priyambodo, 2017). Intensitas jejak feromon yang diperbarui ini digunakan untuk iterasi selanjutnya. Matriks jejak feromon antar kota diperbarui dengan rumus:

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{\text{jarak}}, & \text{untuk } (i, j) \in \text{kota asal dan kota tujuan dalam } \textit{tabu list} \\ 0, & \text{lainnya.} \end{cases}$$

Sedangkan perubahan feromon global untuk semua semut merupakan total dari matriks perubahan feromon setiap semut yang dihitung dengan rumus:

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k$$

di mana:

$\Delta\tau_{ij}^k$ adalah perubahan jejak feromon semut kota i ke j pada semut k

$\Delta\tau_{ij}$ adalah perubahan jejak feromon pada semua semut kota i ke j

Q adalah tetapan siklus semut

jarak adalah nilai jarak semua semut k

Harga intensitas feromon pada semua jalur antar kota kemungkinan berubah karena adanya penguapan serta perbedaan m jumlah semut yang lewat. Harga intensitas jejak kaki semut antar kota untuk selanjutnya dihitung dengan rumus:

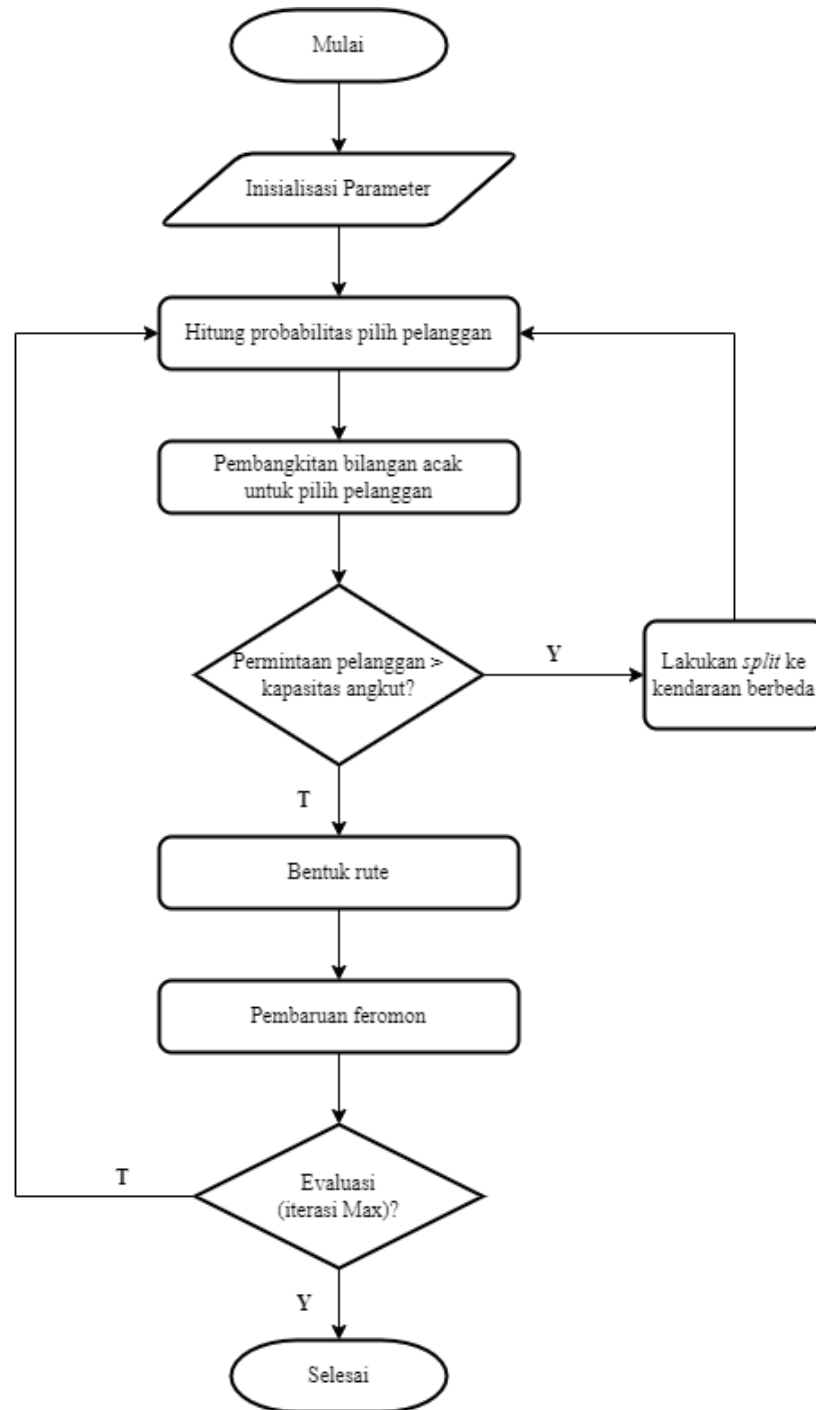
$$\tau_{ij}(n + 1) = (1 - \rho)\tau_{ij}(n) + \Delta\tau_{ij}$$

di mana $\tau_{ij}(n + 1)$ adalah nilai feromon baru, $\tau_{ij}(n)$ nilai feromon sebelumnya, dan $\rho \in (0,1]$ adalah laju penguapan.

4. Evaluasi

Iterasi dihentikan apabila sudah mencapai iterasi maksimal atau telah terjadi solusi yang konvergen. Jika belum mencapai iterasi maksimal, maka kosongkan *tabu list* untuk menentukan rute yang baru.

Tahapan-tahapan algoritma *ant colony optimization* untuk menyelesaikan SDVRP digambarkan pada diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alir ACO untuk SDVRP

3.5 Contoh Kasus dan Penyelesaiannya

Pada sub bab ini diberikan contoh kasus SDVRP dan penyelesaiannya menggunakan algoritma *ant colony optimization*. Misalkan Perusahaan A akan mengirimkan barang dari sebuah depot ke 8 pelanggan yang lokasi dan jumlah

permintaannya disajikan dalam Tabel 3.1 menggunakan 9 kendaraan berkapasitas angkut 100 buah.

Tabel 3. 1 Data Koordinat Depot dan Pelanggan serta Permintaan Pelanggan.

Kode	Tempat	X	Y	Permintaan
0	Depot	0	0	0
1	Pelanggan 1	1	0	110
2	Pelanggan 2	0	1	100
3	Pelanggan 3	-1	0	50
4	Pelanggan 4	0	-1	80
5	Pelanggan 5	2	0	60
6	Pelanggan 6	0	2	50
7	Pelanggan 7	-2	0	60
8	Pelanggan 8	0	-2	90

Berdasarkan kasus di atas, langkah-langkah yang dilakukan untuk menyelesaikan masalah sebagai berikut.

Langkah 1: Inisialisasi parameter awal.

Misalkan ditetapkan:

- Intensitas jejak feromon (τ_{ij}) = 0,125.
- Tetapan pengendali intensitas jejak semut ($\alpha > 0$) = 1.
- Tetapan pengendali visibilitas ($\beta > 0$) = 2.
- Tetapan siklus semut (Q) = 1.
- Jumlah semut (m) = 9.
- Tetapan penguapan jejak feromon ($0 < \rho \leq 1$) = 0,6.
- Jumlah iterasi maksimum ($NCmax$) = 1.
- Hitung jarak antar depot dan antar pelanggan.

Berdasar data pada Tabel 3.1 diketahui bahwa lokasi dari depot dan pelanggan merupakan koordinat, maka untuk mengetahui jaraknya diperlukan perhitungan dengan rumus:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}.$$

Sehingga diperoleh jarak seperti pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Jarak antar lokasi.

d_{ij}	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	1	1	1	1	2	2	2	2
1	1	0	1,41	2	1,41	1	2,24	3	2,24
2	1	1,41	0	1,41	2	2,24	1	2,24	3
3	1	2	1,41	0	1,41	3	2,24	1	2,24
4	1	1,41	2	1,41	0	2,24	3	2,24	1
5	2	1	2,24	3	2,24	0	2,83	4	2,83
6	2	2,24	1	2,24	3	2,83	0	2,83	4
7	2	3	2,24	1	2,24	4	2,83	0	2,83
8	2	2,24	3	2,24	1	2,83	4	2,83	0

- Perhitungan visibilitas (η_{ij}) = $\frac{1}{d_{ij}}$.

Nilai visibilitas diperoleh dari *invers* jarak antar lokasi yang diketahui pada Tabel 3.2. Nilai visibilitas didapat dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\eta_{01} = \frac{1}{d_{01}} = \frac{1}{1} = 1$$

$$\eta_{05} = \frac{1}{d_{05}} = \frac{1}{2} = 0,5$$

dan seterusnya. Selengkapnya, nilai visibilitas disajikan visibilitas pada Tabel 3.3.

Langkah selanjutnya, tetapkan:

- Tabu list = []
- Muatan awal = 0

Langkah 2: Inisialisasi node pertama, yaitu depot ke dalam *tabu list* sehingga *tabu list*-nya menjadi.

Semut 1: [0]

Semut 2: [0]

Semut 3: [0]

Semut 4: [0]

Regita Choirun Nisa, 2023

PENYELESAIAN SPLIT DELIVERY VEHICLE ROUTING PROBLEM MENGGUNAKAN ALGORITMA ANT COLONY OPTIMIZATION (Studi Kasus: Penentuan Rute Distribusi Air Mineral di Kabupaten Bandung)

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Semut 5: [0]

Semut 6: [0]

Semut 7: [0]

Semut 8: [0]

Semut 9: [0]

Tabel 3. 3 Nilai Visibilitas.

η_{ij}	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5
1	1	0	0,71	0,5	0,71	1	0,45	0,33	0,45
2	1	0,71	0	0,71	0,50	0,45	1	0,45	0,33
3	1	0,5	0,71	0	0,71	0,33	0,45	1	0,45
4	1	0,71	0,5	0,71	0	0,45	0,33	0,45	1
5	0,5	1	0,45	0,33	0,45	0	0,35	0,25	0,35
6	0,5	0,45	1	0,45	0,33	0,35	0	0,35	0,25
7	0,5	0,33	0,45	1	0,45	0,25	0,35	0	0,35
8	0,5	0,45	0,33	0,45	1	0,35	0,25	0,35	0

Langkah 3: Pilih pelanggan selanjutnya dengan menghitung probabilitas, probabilitas kumulatif, dan membangkitkan bilangan acak r dari masing-masing pelanggan. Nilai probabilitas dan probabilitas kumulatif memilih pelanggan berturut-turut disajikan pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5.

- Semut 1 dengan node pertama = 0, $\alpha = 1$, $\beta = 2$.

$$\begin{aligned} \sum_{j=1, j \neq 0}^9 [\tau_{ij}]^{\alpha} [\eta_{ij}]^{\beta} &= \tau_{01}[\eta_{01}]^{\beta} + \tau_{02}[\eta_{02}]^{\beta} + \tau_{03}[\eta_{03}]^{\beta} + \dots + \tau_{08}[\eta_{08}]^{\beta} \\ &= 0,125 * 1^2 + 0,125 * 1^2 + 0,125 * 1^2 + \dots + 0,125 * 0,5^2 \\ &= 0,125 + 0,125 + 0,125 + \dots + 0,03125 = 0,625 \end{aligned}$$

$$\text{Probabilitas memilih pelanggan 1: } p_{ij} = \frac{\tau_{01}[\eta_{01}]^2}{0,625} = \frac{0,125}{0,625} = 0,2.$$

$$\text{Probabilitas memilih pelanggan 2: } p_{ij} = \frac{\tau_{02}[\eta_{02}]^2}{0,625} = \frac{0,125}{0,625} = 0,2.$$

$$\text{Probabilitas memilih pelanggan 3: } p_{ij} = \frac{\tau_{03}[\eta_{03}]^2}{0,625} = \frac{0,125}{0,625} = 0,2.$$

$$\text{Probabilitas memilih pelanggan 4: } p_{ij} = \frac{\tau_{04}[\eta_{04}]^2}{0,625} = \frac{0,125}{0,625} = 0,2.$$

$$\text{Probabilitas memilih pelanggan 5: } p_{ij} = \frac{\tau_{05}[\eta_{05}]^2}{0,625} = \frac{0,03125}{0,625} = 0,05.$$

$$\text{Probabilitas memilih pelanggan 6: } p_{ij} = \frac{\tau_{06}[\eta_{06}]^2}{0,625} = \frac{0,03125}{0,625} = 0,05.$$

$$\text{Probabilitas memilih pelanggan 7: } p_{ij} = \frac{\tau_{07}[\eta_{07}]^2}{0,625} = \frac{0,03125}{0,625} = 0,05.$$

$$\text{Probabilitas memilih pelanggan 8: } p_{ij} = \frac{\tau_{08}[\eta_{08}]^2}{0,625} = \frac{0,03125}{0,625} = 0,05.$$

Dan seterusnya untuk semut-semut yang lain.

Tabel 3. 4 Probabilitas Semut Memilih Pelanggan.

Semut	Probabilitas pilih pelanggan								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05
2	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05
3	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05
4	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05
5	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05
6	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05
7	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05
8	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05
9	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,05	0,05	0,05	0,05

Tabel 3. 5 Probabilitas Kumulatif Semut Memilih Pelanggan.

Semut	Probabilitas kumulatif pilih pelanggan									r	Pelanggan Terpilih
	0	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,8555	6
2	0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,8917	6
3	0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,0292	1
4	0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,8447	5
5	0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,2929	2
6	0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,4252	3
7	0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,9771	8
8	0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,7652	4

Regita Choirun Nisa, 2023

PENYELESAIAN SPLIT DELIVERY VEHICLE ROUTING PROBLEM MENGGUNAKNA ALGORITMA ANT COLONY OPTIMIZATION (Studi Kasus: Penentuan Rute Distribusi Air Mineral di Kabupaten Bandung)

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

9	0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,85	0,9	0,95	1	0,6154	4
---	---	-----	-----	-----	-----	------	-----	------	---	--------	---

Langkah 4: Pilih pelanggan selanjutnya berdasarkan probabilitas dan masukkan ke dalam *tabu list* dengan mempertimbangkan kondisi *split*, serta hitung kapasitas kendaraan. Dalam kondisi di atas, bilangan acak r pada semut 1, yaitu $0,85 < r = 0,8555 < 0,9$ sehingga pelanggan yang terpilih adalah pelanggan 6, dengan permintaan pelanggan sebesar 50. Karena sisa kapasitas angkut kendaraan 100 maka permintaan pelanggan 6 dapat tertampung seluruhnya. Untuk semut 3 terpilih pelanggan 1 dengan jumlah permintaan 110. Namun karena permintaan tersebut melebihi sisa kapasitas angkut kendaraan maka dilakukan *split*. Lalu hitung kembali sisa daya angkutnya. Begitupun seterusnya bagi semut-semut yang lainnya. Maka diperoleh pelanggan masing-masing semut selanjutnya:

Semut 1: [0 – 6]	Muatan terisi = 50	Sisa kapasitas = 50
Semut 2: [0 – 6]	Muatan terisi = 50	Sisa kapasitas = 50
Semut 3: [0 – 1], [0 - 1]	Muatan terisi = 100, 10	Sisa kapasitas = 90
Semut 4: [0 – 5]	Muatan terisi = 60	Sisa kapasitas = 40
Semut 5: [0 – 2]	Muatan terisi = 100	Sisa kapasitas = 0
Semut 6: [0 – 3]	Muatan terisi = 50	Sisa kapasitas = 50
Semut 7: [0 - 8]	Muatan terisi = 90	Sisa kapasitas = 10
Semut 8: [0 - 4]	Muatan terisi = 80	Sisa kapasitas = 20
Semut 9: [0 - 4]	Muatan terisi = 80	Sisa kapasitas = 20

Langkah 5: Ulangi pemilihan pelanggan seperti Langkah 3 dan sesuaikan dengan kondisi kapasitas kendaraan untuk dilakukan *split*.

Langkah 6: Kontruksi solusi dan hitung total jarak masing-masing semut.

Semut 1: [0 – 6 – 3 – 0], [0 – 1 – 0], [0 – 1 – 2 – 0], [0 – 2 – 8 – 0], [0 – 7 – 4 – 0], [0 – 4 – 5 – 0]. Total jarak = 27,12.

Semut 2: [0 – 6 – 1 – 0], [0 – 1 – 2 – 0], [0 - 2 – 4 – 0], [0 – 4 – 5 – 0], [0 – 3 – 8 – 0], [0 – 8 – 7 – 0]. Total jarak = 29,95.

Semut 3: [0 – 1 – 0], [0 – 1 – 5 – 3 – 0], [0 – 3 – 7 – 8 – 0], [0 – 8 – 4 – 0], [0 – 4 – 2 – 0], [0 – 2 – 6 – 0]. Total jarak = 26,83.

Semut 4: [0 – 5 – 6 – 0], [0 – 6 – 1 – 0], [0 – 1 – 4 – 0], [0 – 3 – 8 – 0], [0 – 8 – 2 – 0], [0 – 2 – 7 – 0]. Total jarak = 31,95.

Semut 5: [0 – 2 – 0], [0 – 4 – 1 – 0], [0 – 1 – 6 – 0], [0 – 6 – 3 – 8 – 0], [0 – 8 – 7 – 0], [0 – 7 – 5 – 0]. Total jarak = 33,95.

Semut 6: [0 – 3 – 2 – 0], [0 – 2 – 4 – 0], [0 – 4 – 1 – 0], [0 – 1 – 8 – 0], [0 – 8 – 6 – 7 – 0], [0 – 7 – 5 – 0]. Total jarak = 34,89.

Semut 7: [0 – 8 – 7 – 0], [0 – 7 – 5 – 0], [0 – 5 – 1 – 0], [0 – 1 – 2 – 0], [0 – 2 – 6 – 3 – 0], [0 – 3 – 4 – 0]. Total jarak = 30,89.

Semut 8: [0 – 4 – 2 – 0], [0 – 2 – 1 – 0], [0 – 1 – 5 – 0], [0 – 5 – 7 – 0], [0 – 7 – 3 – 6 – 0], [0 – 6 – 8 – 0]. Total jarak = 34,65.

Semut 9: [0 – 4 – 7 – 0], [0 – 7 – 3 – 1 – 0], [0 – 1 – 0], [0 – 2 – 0], [0 – 8 – 5 – 0], [0 – 5 – 6 – 0]. Total jarak = 28,89.

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan di atas, didapatkan rute dan total jarak dari masing-masing semut. Dengan demikian, dapat ditentukan solusi terbaik dengan memilih total jarak yang paling pendek. Rute terpendek adalah rute yang dihasilkan oleh semut 3 dengan total jarak 26,83.

Langkah 7: Perbarui feromon untuk digunakan dalam perhitungan iterasi selanjutnya.

$$\tau_{ij}^1 = (1 - \rho)\tau_{ij}^0 + \sum_{k=1}^9 \Delta\tau_{ij}^k$$

- Pasangan (0,1) atau (1,0)

$$\begin{aligned} \tau_{01}^1 &= (1 - \rho)\tau_{01}^0 + \Delta\tau_{01} = (1 - \rho)\tau_{01}^0 + \sum_{k=1}^9 \Delta\tau_{01}^k \\ &= (1 - 0,6) * 0,125 + \Delta\tau_{01}^1 + \Delta\tau_{01}^2 + \Delta\tau_{01}^3 + \Delta\tau_{01}^4 + \Delta\tau_{01}^5 \\ &\quad + \Delta\tau_{01}^6 + \Delta\tau_{01}^7 + \Delta\tau_{01}^8 + \Delta\tau_{01}^9 \\ \tau_{01}^1 &= (1 - \rho)\tau_{01}^0 + \sum_{k=1}^9 \Delta\tau_{01}^k \\ &= 0,05 + \frac{1}{27,12} + \frac{1}{27,12} + \frac{1}{29,95} + \frac{1}{29,95} + \frac{1}{26,83} + \frac{1}{26,83} \\ &\quad + \frac{1}{31,95} + \frac{1}{31,95} + \frac{1}{33,95} + \frac{1}{33,95} + \frac{1}{34,89} + \frac{1}{34,89} + \frac{1}{30,89} \\ &\quad + \frac{1}{30,89} + \frac{1}{34,65} + \frac{1}{34,65} + \frac{1}{28,89} + \frac{1}{28,89} = 0,6356. \end{aligned}$$

- Pasangan (0,2) atau (2,0)

Regita Choirun Nisa, 2023

PENYELESAIAN SPLIT DELIVERY VEHICLE ROUTING PROBLEM MENGGUNAKNA ALGORITMA ANT COLONY OPTIMIZATION (Studi Kasus: Penentuan Rute Distribusi Air Mineral di Kabupaten Bandung)

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

$$\begin{aligned}
\tau_{02}^1 &= (1 - \rho)\tau_{02}^0 + \Delta\tau_{02} = (1 - \rho)\tau_{02}^0 + \sum_{k=1}^9 \Delta\tau_{02}^k \\
&= (1 - 0,6) * 0,125 + \Delta\tau_{02}^1 + \Delta\tau_{02}^2 + \Delta\tau_{02}^3 + \Delta\tau_{02}^4 + \Delta\tau_{02}^5 \\
&\quad + \Delta\tau_{02}^6 + \Delta\tau_{02}^7 + \Delta\tau_{02}^8 + \Delta\tau_{02}^9 \\
\tau_{02}^1 &= (1 - \rho)\tau_{02}^0 + \sum_{k=1}^9 \Delta\tau_{02}^k \\
&= 0,05 + \frac{1}{27,12} + \frac{1}{27,12} + \frac{1}{29,95} + \frac{1}{29,95} + \frac{1}{26,83} + \frac{1}{26,83} \\
&\quad + \frac{1}{31,95} + \frac{1}{31,95} + \frac{1}{33,95} + \frac{1}{34,89} + \frac{1}{34,89} + \frac{1}{30,89} + \frac{1}{30,89} \\
&\quad + \frac{1}{34,65} + \frac{1}{34,65} + \frac{1}{28,89} = 0,5715.
\end{aligned}$$

- Pasangan (0,3) atau (3,0)

$$\begin{aligned}
\tau_{03}^1 &= (1 - \rho)\tau_{03}^0 + \Delta\tau_{03} = (1 - \rho)\tau_{03}^0 + \sum_{k=1}^9 \Delta\tau_{03}^k \\
&= (1 - 0,6) * 0,125 + \Delta\tau_{03}^1 + \Delta\tau_{03}^2 + \Delta\tau_{03}^3 + \Delta\tau_{03}^4 + \Delta\tau_{03}^5 \\
&\quad + \Delta\tau_{03}^6 + \Delta\tau_{03}^7 + \Delta\tau_{03}^8 + \Delta\tau_{03}^9 \\
\tau_{03}^1 &= (1 - \rho)\tau_{03}^0 + \sum_{k=1}^9 \Delta\tau_{03}^k \\
&= 0,05 + \frac{1}{27,12} + \frac{1}{29,95} + \frac{1}{26,83} + \frac{1}{26,83} + \frac{1}{31,95} + \frac{1}{34,89} \\
&\quad + \frac{1}{30,89} + \frac{1}{30,89} = 0,3195.
\end{aligned}$$

dan seterusnya. Selengkapnya hasil dari perhitungan feromon baru dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Langkah 8: Penarikan kesimpulan.

Berdasarkan langkah-langkah perhitungan di atas diperoleh total jarak terpendek yang ditunjukkan oleh semut 3 dengan total jarak 26,83 dan rute kendaraan adalah sebagai berikut:

Rute kendaraan 1: 0 – 1 – 0

Rute kendaraan 2: 0 – 1 – 5 – 3 – 0

Rute kendaraan 3: 0 – 3 – 7 – 8 – 0

Regita Choirun Nisa, 2023

PENYELESAIAN SPLIT DELIVERY VEHICLE ROUTING PROBLEM MENGGUNAKAN ALGORITMA ANT COLONY OPTIMIZATION (Studi Kasus: Penentuan Rute Distribusi Air Mineral di Kabupaten Bandung)

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Rute kendaraan 4: 0 – 8 – 4 – 0

Rute kendaraan 5: 0 – 4 – 2 – 0

Rute kendaraan 6: 0 – 2 – 6 – 0.

Tabel 3. 6 Feromon Baru.

τ_{ij}	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	0.6356	0.5715	0.3195	0.479	0.4014	0.3341	0.4595	0.5029
1	0.6356	0	0.1815	0.0846	0.1394	0.1485	0.1441	0.05	0.0787
2	0.5715	0.1815	0	0.0787	0.1782	0.05	0.1196	0.0813	0.1182
3	0.3195	0.0846	0.0787	0	0.0824	0.0873	0.1776	0.1219	0.1441
4	0.479	0.1394	0.1782	0.0824	0	0.1203	0.05	0.1215	0.0873
5	0.4014	0.1485	0.05	0.0873	0.1203	0	0.1159	0.1693	0.0846
6	0.3341	0.1441	0.1196	0.1776	0.05	0.1159	0	0.0787	0.1075
7	0.4595	0.05	0.0813	0.1219	0.1215	0.1693	0.0787	0	0.1825
8	0.5029	0.0787	0.1182	0.1441	0.0873	0.0846	0.1075	0.1825	0