

Penyelesaian Masalah Pendistribusian Barang Menggunakan Algoritma *Bee Colony Optimization*

Agnes Adventia*, Khusnul Novianingsih, Husty Serviana
Departemen Pendidikan Matematika FPMIPA UPI
*agnesadventia@student.upi.edu

ABSTRAK. Artikel ini membahas penyelesaian masalah pendistribusian barang agar diperoleh sebuah rute dengan jarak terpendek menggunakan Algoritma *Bee Colony Optimization*. Masalah pendistribusian yang dibahas adalah masalah pendistribusian dengan satu distributor dan banyak konsumen. Algoritma *Bee Colony Optimization* diadaptasi dari kehidupan koloni lebah dalam mencari makanan. Lebah pekerja akan mengambil makanan dan melakukan tarian untuk mengajak lebah pencari agar ikut mengambil makanan di suatu sumber makanan. Ketika sumber makanan habis, lebah pekerja akan berubah menjadi lebah pengintai untuk mencari sumber makanan baru. Hasil implementasi menunjukkan bahwa Algoritma *Bee Colony Optimization* berhasil diterapkan untuk menyelesaikan masalah pendistribusian barang dan dapat menghasilkan solusi yang cukup baik.

Kata Kunci: Pendistribusian Barang, *Travelling Salesman Problem*, Algoritma *Bee Colony Optimization*, Solusi Optimal.

Solving the Distribution Problem Using Bee Colony Optimization Algorithm

ABSTRACT. In this paper, a distribution problem in order to get an optimum route with shortest distance using *Bee Colony Optimization Algorithm* is solved. We consider a distribution problem with a single distributor and multi consumer. The *bee colony optimization algorithm* is an algorithm which is adapted from the behaviour of colony of bees in searching their food. Employed bees will collecting food and doing bee dance to invite onlooker bees to collect food in a source. When there's no food left in the food source, employed bees will become scouts to search for a new source. The result shows that the algorithm successfully applied to solve the distribution problem and can produce an optimum solution.

Keywords: *Product Distribution, Travelling Salesman Problem, Bee Colony Optimization, Optimum Solution.*

1. PENDAHULUAN

Pendistribusian barang adalah kegiatan yang dilakukan distributor untuk menyalurkan barang agar sampai kepada konsumen. Masalah yang banyak ditemui dalam kegiatan pendistribusian barang adalah meminimumkan biaya pendistribusian dan jarak tempuh. Oleh karena itu, distributor perlu mengetahui rute terpendek yang bisa dilalui agar jarak tempuh pendistribusian dapat diminimumkan.

Masalah pendistribusian barang dapat dipandang sebagai masalah *Travelling Salesman Problem*. *Travelling Salesman Problem* (TSP) adalah salah satu bentuk masalah optimisasi yang bertujuan untuk menemukan rute perjalanan mulai dari lokasi awal, mengunjungi beberapa lokasi yang telah ditentukan, kemudian kembali lagi ke lokasi asal sedemikian rupa sehingga jarak total yang ditempuh minimum dan setiap lokasi dikunjungi tepat satu kali. Pencarian rute perjalanan dengan jumlah lokasi yang sedikit dapat dengan mudah diselesaikan dengan metode penyelesaian klasik seperti *Nearest Neighbor*, namun pencarian rute perjalanan dengan jumlah lokasi yang banyak akan sulit jika menggunakan metode penyelesaian klasik.

Salah satu algoritma yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah pendistribusian barang adalah algoritma *Bee Colony Optimization*. Algoritma *Bee Colony Optimization* diadaptasi dari perilaku koloni lebah dalam mencari makanan. Ada 3 pembagian kerja lebah dalam mencari makanan yaitu *employed bees* (lebah pekerja), *onlooker bees* (lebah pencari), dan *scout bees* (lebah pengintai). Lebah pengintai akan mencari sumber makanan. Ketika sumber makanan ditemukan, mereka akan menjadi lebah pekerja dan mengambil makanan di sumber makanan tersebut. Saat kembali ke sarang, lebah pekerja akan melakukan tarian (*waggle dance*) untuk mengajak lebah pencari untuk pergi ke sumber makanannya. Tarian lebah berisi informasi mengenai sumber yang terdiri dari tiga hal yaitu arah, jarak dari sarang, dan kualitas sumber makanan tersebut. Semakin baik kualitas sumber makanan maka semakin lama durasi tariannya sehingga semakin banyak lebah pencari yang mengikutinya. Saat sumber makanan sudah habis, lebah pekerja akan berubah menjadi lebah pencari atau lebah pengintai yang akan mencari sumber makanan baru di wilayah tertentu yang belum pernah dikunjungi sebelumnya. Penelitian ini akan mengimplementasikan algoritma *Bee Colony Optimization* untuk menyelesaikan masalah pendistribusian barang.

2. METODOLOGI

2.1 Model Optimisasi Masalah Pendistribusian Barang

Masalah pendistribusian barang dapat dimodelkan sebagai model optimisasi dengan sebuah fungsi tujuan dan beberapa kendala. Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Jarak tempuh dari lokasi i ke j sama dengan jarak tempuh dari lokasi j ke i
2. Hanya terdapat satu distributor

Untuk memodelkan masalah pendistribusian barang, terlebih dahulu didefinisikan himpunan, parameter, dan variabel keputusan. Misalkan I adalah himpunan kota dan d_{ij} adalah jarak tempuh dari kota i ke kota j . Variabel keputusan x_{ij} menentukan apakah distributor melakukan perjalanan dari kota i ke kota j atau tidak. Variabel keputusan tersebut didefinisikan sebagai berikut. Misal

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

Misal z adalah fungsi tujuan dari model optimisasi pendistribusian barang yang bertujuan untuk meminimumkan jarak tempuh dalam pendistribusian. Fungsi tujuan dari model optimisasi masalah pendistribusian barang adalah

Meminimumkan:

$$z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in I} d_{ij} x_{ij}$$

Kendala dari model adalah batasan yang harus dipenuhi dalam menentukan rute yang dilalui. Kendala tersebut menentukan bahwa setiap lokasi hanya dapat dikunjungi tepat satu kali. Kendala yang pertama adalah kendala yang menjamin bahwa hanya ada satu jalur menuju setiap kota. Kendala ini diekspresikan dengan

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1, \quad \forall j \in I$$

Kendala kedua menjamin bahwa jalur yang keluar dari setiap kota juga hanya ada satu. Kendala ini diekspresikan dengan

$$\sum_{j \in I} x_{ij} = 1, \quad \forall i \in I$$

Selengkapnya, model optimisasi pendistribusian barang adalah sebagai berikut:

Meminimumkan:

$$z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in I} d_{ij} x_{ij}$$

dengan kendala:

$$\begin{aligned} \sum_{i \in I} x_{ij} &= 1, \quad j \in I \\ \sum_{j \in I} x_{ij} &= 1, \quad i \in I \\ x_{ij} &\in \{0,1\}, \quad \forall i, j \in I \end{aligned}$$

2.2 Algoritma *Bee Colony Optimization*

Algoritma *Bee Colony Optimization* adalah salah satu algoritma yang telah terbukti berhasil menyelesaikan masalah pendistribusian barang. Algoritma *Bee Colony Optimization* diadaptasi dari perilaku koloni lebah dalam mencari makanan. Dalam Algoritma *Bee Colony Optimization*, sumber makanan merepresentasikan kemungkinan solusi dari masalah. Nilai *fitness* merepresentasikan kualitas dari sebuah sumber makanan. Jumlah makanan yang ada di sumber makanan i direpresentasikan oleh P_{fi} . Tahapan yang harus dilakukan dalam Algoritma *Bee Colony Optimization* adalah sebagai berikut:

1. Pembentukan rute awal. Rute awal diperoleh dengan menggunakan metode *Nearest Neighbor*.
2. Tahap *Forage*. Pada tahap ini, lebah akan memilih sumber makanan yang akan dikunjungi selanjutnya yang bergantung pada nilai *arc fitness* dan jarak antar sumber makanan.
3. Tahap *Waggle Dance*. Pada tahap ini, lebah pekerja akan menari untuk mengajak lebah pencari agar ikut mengambil makanan di sumber makanannya.

2.2.1 Pembentukan rute awal

Pembentukan rute awal ini menggunakan metode *Nearest Neighbor*. Algoritma *Nearest Neighbor* dimulai dimulai pada suatu lokasi dan secara berulang mengunjungi lokasi terdekat dari lokasi saat ini hingga semua lokasi dikunjungi tepat satu kali.

2.2.2 Tahap *Forage*

Pada tahap ini, lebah akan memilih sumber makanan mana yang akan mereka pilih. Pemilihan tersebut bergantung pada *arc fitness* dan jarak antar sumber makanan. *Arc fitness* dihitung untuk setiap kemungkinan lebah bergerak dari sumber makanan i ke sumber makanan j pada transisi (iterasi) ke- n , yaitu

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

dengan:

- λ : peluang dari sebuah kota yang dikunjungi seekor lebah
- $A_{i,n}$: deretan sumber makanan yang belum dikunjungi yang dapat dicapai dari i pada transisi (iterasi) ke- n
- $F_{i,n}$: himpunan sumber makanan yang dapat dikunjungi berdasarkan rekomendasi *preferred path*.

Besar kemungkinan lebah bergerak dari sumber makanan i ke sumber makanan j setelah transisi ke- n dihitung melalui persamaan berikut:

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

dengan:

- $\rho_{ij,n}$: *arc fitness* dari sumber makanan i ke sumber makanan j setelah transisi ke- n
- d_{ij} : jarak antara sumber makanan i dengan sumber makanan j
- $A_{i,n}$: deretan sumber makanan yang belum dikunjungi yang dapat dicapai dari i pada transisi ke- n
- α : faktor skalar pengendali *arc fitness* (biner)
- β : faktor skalar pengendali jarak antar sumber makanan

2.2.3 Tahap Waggle Dance

Setelah lebah mendapatkan rute lengkap (rute dari lokasi awal, mengunjungi setiap lokasi tepat satu kali, lalu kembali ke lokasi awal), lebah pekeja akan kembali ke sarang dan melakukan tarian untuk mengajak lebah pencari agar ikut mengambil makanan di sumber makanannya. Tarian lebah berlangsung dalam durasi tertentu. Durasi tarian lebah bergantung pada jumlah makanan yang ditemukan oleh lebah dari sumber makanan ke- i dan profitabilitas koloni lebah tersebut. Jumlah makanan dari suatu sumber makanan diekspresikan melalui persamaan berikut:

$$P_{fi} = \frac{1}{L_i}$$

dengan L_i adalah panjang rute lengkap dari lebah i . P_{fi} merepresentasikan kualitas makanan atau jumlah makanan yang dikumpulkan oleh lebah i . Semakin pendek

jarak sumber makanan ke sarang, maka jumlah makanan yang dikumpulkan akan semakin banyak.

Profitabilitas koloni lebah diekspresikan melalui persamaan berikut:

$$P_{f_{colony}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_{f_i}$$

Lama durasi tarian lebah dinotasikan sebagai D_i dengan K adalah faktor skalar yang mengendalikan panjang durasi tarian. Lama durasi tarian lebah diekspresikan melalui persamaan berikut:

$$D_i = K \frac{P_{f_i}}{P_{f_{colony}}}$$

Setelah lebah pencari melihat tarian lebah pekerja, lebah pencari akan memilih sumber makanan mana yang akan dituju menggunakan probabilitas P_{follow} . Probabilitas P_{follow} disesuaikan mengikuti nilai profitabilitas lebah dan koloninya. Nilai P_{follow} dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Nilai P_{follow}

Nilai Probabilitas	P_{follow}
$P_{f_i} < 0.95 P_{f_{colony}}$	0.8
$0.95 P_{f_{colony}} \leq P_{f_i} < 0.975 P_{f_{colony}}$	0.2
$0.975 P_{f_{colony}} \leq P_{f_i} < 0.99 P_{f_{colony}}$	0.02
$0.99 P_{f_{colony}} \leq P_{f_i}$	0

3. HASIL IMPLEMENTASI

Model pendistribusian barang dan algoritma yang sudah dijelaskan pada Bagian 2 selanjutnya diimplementasikan pada masalah pendistribusian produk dari suatu perusahaan minuman di Kota Bandung. Dalam mendistribusikan produk oleh dealer, perusahaan menggunakan mobil *pick up*. Mobil tersebut berkeliling ke setiap toko dan rumah makan yang sudah terdaftar. Daerah yang harus dikunjungi dealer adalah Cibeureum, Cimindi, Cihanjuang, Gunung Batu, Sarijadi, Sukajadi, Pasteur, dan Geger Kalong dengan gudang (depot) yang berada di Jendral Sudirman. Jarak antar lokasi (km) dapat dilihat dalam Tabel 2. Data jarak antar lokasi diperoleh menggunakan aplikasi *Googlemap*.

Tabel 2. Jarak Tempuh Antar Lokasi (dalam km).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	4	6	7	3	4	7	8	3	11	7	8	8	8	8	8	4	7	7	7
2	4	0	8	9	2	3	6	7	1	9	6	8	7	10	7	9	2	6	9	8
3	6	8	0	3	8	7	4	5	8	4	7	14	3	6	4	3	10	4	3	2
4	7	9	3	0	7	4	1	2	7	5	6	11	2	7	3	4	7	1	1	4
5	3	2	8	7	0	1	5	5	2	8	5	6	5	8	7	7	1	7	7	8
6	4	3	7	4	1	0	4	4	3	7	5	6	4	10	6	6	5	3	4	7
7	7	6	4	1	5	4	0	2	10	5	6	12	2	7	3	5	8	1	1	5
8	8	7	5	2	5	4	2	0	8	3	5	9	1	9	4	5	8	1	2	5
9	3	1	8	7	2	3	10	8	0	10	6	8	6	8	8	8	4	7	7	8
10	11	9	4	5	8	7	5	3	10	0	4	8	3	10	3	4	11	4	5	4
11	7	6	7	6	5	5	6	5	6	4	0	4	4	13	3	7	5	5	6	7
12	8	8	14	11	6	6	12	9	8	8	4	0	8	15	8	11	6	9	11	11
13	8	7	3	2	5	4	2	1	6	3	4	8	0	9	1	4	8	1	2	3
14	8	10	6	7	8	10	7	9	8	10	13	15	9	0	9	6	14	8	7	7
15	8	7	4	3	7	6	4	4	8	3	3	8	1	9	0	5	10	2	3	4
16	8	9	3	4	7	6	5	5	8	4	7	11	4	6	5	0	10	5	4	1
17	4	2	10	7	1	1	8	8	4	11	5	6	8	14	10	10	0	8	7	11
18	7	6	4	1	7	3	1	1	7	4	5	9	1	8	2	5	8	0	1	4
19	7	9	3	1	7	4	1	2	7	5	6	11	2	7	3	4	7	1	0	3
20	7	8	2	4	8	7	5	5	8	4	7	11	3	7	4	1	11	4	3	0

keterangan:

1. Jendral Sudirman (pos awal)
2. Toko 23
3. Bakso Artomoro
4. Bakso Laman

5. RM Kiambang Raya
6. Moro Seneng
7. Surya Sumantri
8. RM Jari Manis
9. D'Besto Kebon Kopi
10. Geger Kalong

11. Airin Cihanjuang
12. Toko Furqon
13. Mi Ayam Jamur
14. Pasar Gerlong
15. Pasar Sarijadi
16. Pasar Sederhana

17. Pasar Cimindi
18. Cibogo
19. BTC
20. Cipedes.

Selanjutnya, Algoritma *Bee Colony Optimization* digunakan untuk mengoptimalkan rute awal yang diperoleh melalui metode *Nearest Neighbor* sehingga diperoleh rute dengan jarak terpendek. Rute awal yang terbentuk melalui metode *Nearest Neighbor* adalah Sudirman – Sukajadi – Geger Kalong – Sarijadi – Cimindi – Cibeureum – Gunung Batu – Pasteur – Cihanjuang – Sudirman dengan total jarak 45 km.

Rute di atas selanjutnya dioptimalkan dengan menggunakan Algoritma *Bee Colony Optimization*. Dengan menggunakan nilai parameter $n = 9$ karena jumlah lokasi ada 9, $\alpha = 1$, $\beta = 1$, $\lambda = 0.2$, dan $K = 1$, diperoleh rute optimal dari pendistribusian barang yaitu Sudirman – Sukajadi – Geger Kalong – Sarijadi – Cimindi dengan total jarak 39 km.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Algoritma *Bee Colony Optimization* diadaptasi dari perilaku koloni lebah dalam mencari makanan. Lebah pekerja akan mengambil makanan di sumber makanan. Saat kembali ke sarang, lebah pekerja akan melakukan tarian (*waggle dance*) untuk mengajak lebah pencari untuk pergi ke sumber makanannya. Lebah pencari akan berubah menjadi lebah pekerja dan memutuskan untuk mengambil makanan dari suatu sumber makanan. Saat makanan di sumber makanan habis, lebah pekerja akan berubah menjadi scout dan pergi mencari sumber makanan lainnya.
2. Algoritma *Bee Colony Optimization* berhasil diimplementasikan untuk menyelesaikan masalah pendistribusian barang. Implementasi Algoritma *Bee Colony Optimization* untuk menyelesaikan masalah pendistribusian barang terdiri dari tiga tahapan. Tahap pertama adalah pembentukan rute awal menggunakan metode *Nearest Neighbor*. Rute awal ini akan dioptimalkan pada tahap berikutnya. Tahap kedua adalah tahap *Forage*. Pada tahap ini, lebah memilih sumber makanan (lokasi) mana yang akan dituju. Tahap ketiga adalah tahap *waggle dance*. Pada tahap ini, lebah melakukan tarian untuk mengajak lebah lainnya untuk mengambil makanan di sumber makanannya. Hasil implementasi menunjukkan bahwa Algoritma *Bee Colony Optimization* dapat memberikan solusi yang cukup baik.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kusumah, R & Lesmono, J. (2016). Penerapan algoritma bee colony untuk menyelesaikan traveling salesman problem. *Prosiding : Seminar Nasional Matematika*, 11, hlm. MS 33-40.

- [2] Li, L., Cheng, Y., Tan, L., & Niu, B. (2012). Discrete artificial bee colony optimization for TSP problem. *Lecture Notes in Computer Science*, 6840, hlm. 566-573.
- [3] Li, L., Low, M.Y.H., Chong, C.S. (2008). A bee colony optimization algorithm for travelling salesman problem. *Proceedings of Second Asia International Conference on Modelling & Simulation (AMS 2008)*, hlm 818-823.
- [4] Pathak, N. & Tiwari, S.P. (2012). Travelling salesman problem using bee colony with SPV. *IJSCE*, 2, hlm. 410-414.
- [5] Taha, H.A. (2010). *Operations Research: An Introduction*. New Jersey: Pearson Education.
- [6] Wong, L.P., Low, M.Y.H., & Chong C.S. (2009). An efficient bee colony optimization algorithm for traveling salesman problem using frequency-based pruning. *IEEE International Conference on Industrial Informatics*, 7, hlm. 775-782.