Algoritma Spotted Hyena Optimizer pada Capacitated Vehicle Routing Problem

Prayoga Yudha Pamungkas[1], Nur Mayke Eka Normasari[2]
Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta[1,2]
e-mail: prayoga.yudha@mail.ugm.ac.id[1]

ABSTRACT

Transportation is used in the delivery of goods from one location to another, contributing costs to the final price of a product or service. Efficiency is needed to reduce transportation costs, one of which can be done by optimizing transportation routes. Vehicle Routing Problem (VRP) is a problem that is often referred to to find the optimal route from a source to several points at minimal cost. VRP is evolving into a complex problem as the number of consumers to visit increases. This complexity causes VRP to be included in the combinatorial optimization which has a lot of configuration in finding the shortest route. In this study, VRP was completed with a metaheuristic approach using the Spotted Hyena Optimizer (SHO) algorithm. The use of SHO in capacitated vehicle routing problems (CVRP) is based on the results of research by the originator of SHO which is able to achieve convergent rate faster than other algorithms. SHO on CVRP produces better solutions or shorter total distances than genetic algorithms, ant colony, and particle swarm optimization by using the Augeraat dataset as a comparison of the final results in each algorithm.
Keywords: *Capacitated Vehicle Routing Problem, Metaheuristic, Spotted Hyena Optimizer*

ABSTRAK

Transportasi sering digunakan untuk mengirim barang dari satu lokasi ke lokasi lain yang turut berkontribusi atas nilai akhir suatu produk atau jasa. Upaya efisiensi perlu dilakukan untuk menekan biaya transportasi, salah satunya dapat dilakukan dengan mengoptimalkan rute transportasi. *Vehicle Routing Problem* (VRP) merupakan permasalahan yang sering dirujuk untuk mencari rute yang optimal dari suatu sumber ke beberapa titik dengan biaya minimal. VRP berkembang menjadi masalah yang kompleks seiring meningkatnya jumlah konsumen yang dikunjungi. Kompleksitas ini menyebabkan VRP tergolong ke dalam optimasi kombinatorial yang memiliki banyak konfigurasi dalam menemukan rute terpendek. Pada penelitian ini, VRP diselesaikan dengan pendekatan metaheuristik menggunakan algoritma *Spotted Hyena Optimizer* (SHO). Penggunaan SHO dalam *Capacitated Vehilce Routing Problem* (CVRP) didasarkan pada hasil penelitian Dhiman yang diklaim mampu mencapai convergent rate lebih cepat dibandingkan algoritma lainnya. Algoritma SHO pada CVRP menghasilkan solusi yang lebih baik atau jarak total yang lebih pendek daripada algoritma genetika, *ant colony*, dan *particle swarm optimization* dengan menggunakan dataset Augeraat sebagai pembanding hasil akhirnya.
Kata kunci: *Capacitated Vehicle Routing Problem, Metaheuristik, Spotted Hyena Optimizer*

PENDAHULUAN

Vehicle Routing Problem (VRP) termasuk ke dalam *combinatorial optimization* yang merupakan proses pencarian fungsi objektif minimum atau maksimum dengan nilai diskrit dan jumlah konfigurasi yang sangat banyak [1]. Banyaknya konfigurasi solusi yang dihasilkan menyebabkan waktu yang cukup lama untuk menyelesaikan permasalahan dengan skala menengah dan besar [2]. Kasus tersebut dapat diselesaikan dengan menerapkan metode konvensional (*brute force*) dan metaheuristik [3]. Metode *brute force* akan membangkitkan semua kemungkinan solusi yang ada, kemudian dari semua solusi tersebut dipilih yang terbaik. Sedangkan metode metaheuristik memberikan perkiraan solusi yang mendekati optimal, sehingga proses perhitungan menjadi lebih cepat daripada metode konvensional [4].

Metaheuristik merupakan pendekatan yang digunakan untuk mencari solusi yang sebaik mungkin dalam waktu yang secepat mungkin [5]. Teknik metaheuristik sering dipakai oleh peneliti pada proses pencarian karena *convergence speed*, solusi akhir yang mendekati nilai optimal, dan

pemrograman yang sederhana [6]. Meskipun algoritma metaheuristik tidak serta merta menemukan solusi optimal ketika dijalankan setiap waktu, namun dapat menghasilkan solusi yang dapat diterima dalam waktu yang ditentukan [7]. Secara umum metaheuristik dapat menghasilkan solusi yang lebih baik dibandingkan dengan algoritma heuristik konvensional (antara 3% hingga 7%) [8].

Salah satu algoritma metaheuristik yang cukup baru dalam pengembangannya adalah *Spotted Hyena Optimizer* (SHO) yang terinspirasi dari cara berburu hiena tutul. SHO pertama kali dikembangkan oleh Dhiman & Kumar [9] dan mendapatkan hasil yang superior jika dibandingkan dengan algoritma metaheuristik klasik lainnya. SHO dapat mencapai nilai konvergen lebih cepat dan dapat mempertahankannya hingga global optima.

Algoritma-algoritma metaheuristik yang telah diteliti masih memiliki *gap* terhadap nilai optimal metode eksak dalam menyelesaikan kasus VRP, sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengembangkan algoritma yang lebih baik untuk mendapatkan solusi yang lebih baik dan waktu penyelesaian yang layak. Hal tersebut mendorong penulis untuk mengusulkan penggunaan *Spotted Hyena Optimize*r untuk menyelesaikan kasus VRP klasik yang disebut juga sebagai *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP).

TINJAUAN PUSTAKA

Capacitated Vehicle Routing Problem

Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) adalah penentuan sebuah set rute yang masing-masing rute tersebut dilakukan oleh sebuah armada kendaraan yang memulai perjalanan dari depot dan kembali lagi ke depot untuk memenuhi permintaan customer dengan keterbatasan pada kapasitas kendaraan [10]. Kapasitas masing-masing kendaraan pada CVRP harus homogen. CVRP menjadi model masalah transportasi yang jauh lebih luas atas generalisasi *The Truck Dispacthing Problem* [11]. Batasan-batasan yang harus dipenuhi dalam CVRP yaitu Semua rute berawal dan berakhir di depot, Setiap konsumen dikunjungi tepat satu kali dan hanya oleh satu kendaraan, dan jumlah permintaan konsumen pada masing-masing rute tidak melebihi kapasitas masing-masing kendaraan [10].

Spotted Hyena Optimizer

Spotted Hyena Optimizer (SHO) merupakan salah satu algoritma metaheuristik terbaru yang terinspirasi dari cara berburu hiena tutul yang hidup dan berburu dalam kelompok yang memiliki lebih dari 100 anggota [12]. Langkah-langkah SHO meliputi proses mengitari mangsa (*encircling*), berburu (*hunting*), dan menyerang mangsa (*attacking*). Dimulai dari *encircling* dengan cara mengelilingi mangsa yang dimodelkan secara matematis pada persamaan 1 dan 2.

$$\vec{D}_h = | \vec{B} \cdot \vec{P}_p(\mathrm{x}) - \vec{P}(\mathrm{x}) | \quad (1)$$

$$\vec{P}(\mathrm{x}+1) = \vec{P}_p(\mathrm{x}) - \vec{E} \cdot \vec{D}_h \quad (2)$$

$\vec{D}_h$ merupakan jarak antara mangsa dengan hiena tutul, x merupakan iterasi saat ini, $\vec{B}$ dan $\vec{E}$ merupakan vektor koefisien, $\vec{P}_p$ merupakan vektor posisi dari mangsa, $\vec{P}$ merupakan vektor posisi dari hiena. Vektor $\vec{B}$ dan $\vec{E}$ dihitung dengan persamaan 4 dan 5 yang dipengaruhi oleh komponen $\vec{h}$ yang secara linier berkurang dari angka 5 hingga 0, sedangkan r$\vec{d}_1$ dan r$\vec{d}_2$ merupakan bilangan acak antara 0 dan 1.

$$\vec{B} = 2 \cdot \mathrm{r}\vec{d}_1 \quad (3)$$

$$\vec{E} = 2\vec{h} \cdot \mathrm{r}\vec{d}_2 - \vec{h} \quad (4)$$

$$\vec{h} = 5 - (\text{iterasi} * (5/\text{MaxIterasi})) \quad (5)$$

Perilaku berburu hiena dimodelkan secara matematis atas dugaan bahwa agen terbaik mengenali lokasi mangsa, sedangkan agen lainnya membuat kluster untuk mendekati agen terbaik. Solusi terbaik yang diperoleh sejauh ini kemudian disimpan untuk mengupdate posisi tiap agen.

$$\vec{D}_h = | \vec{B} \cdot \vec{P}_h - \vec{P}_\mathrm{k} | \quad (6)$$

$$\vec{P}_\mathrm{k} = \vec{P}_h - \vec{D}_h \quad (7)$$

$$\vec{C}_h = \vec{P}_\mathrm{k} + \vec{P}_{\mathrm{k+1}} + \vec{P}_{\mathrm{k+2}} + \ldots + \vec{P}_{\mathrm{k+N}} \quad (8)$$

$\vec{P}_h$ merupakan posisi agen terbaik, $\vec{P}_\mathrm{k}$ merupakan posisi agen hiena lainnya, sedangkan $\vec{C}_h$ merupakan kelompok solusi optimal. Proses menyerang mangsa dimodelkan dengan mengurangi nilai vector $\vec{h}$ secara linier dari 5 hingga 0 sesuai dengan rasio iterasi yang sedang berjalan. Vektor $\vec{E}$ juga dipengaruhi oleh nilai $\vec{h}$, sehingga nilai $\vec{E}$ pada tiap iterasi iterasi akan semakin kecil yang mengindikasikan posisi agen hiena semakin dekat dengan mangsa. Pada posisi yang tepat, agen hiena dapat mulai menyerang mangsa yang dimodelkan dengan persamaan di bawah ini.

$$\vec{P}(\mathrm{x+1}) = \frac{\vec{C}h}{N} \quad (9)$$

METODE

Penelitian ini dilakukan *review* model matematis yang relevan terhadap CVRP sebagai basis untuk mengembangkan algoritma SHO pada kasus terkait. Hasil akhir dari SHO dibandingkan dengan algoritma lain menggunakan dataset Augeraat.

Review Model Matematis

Model matematis yang digunakan pada penelitian CVRP memiliki variabel keputusan berupa apakah sebuah rute dilalui atau tidak. Fungsi tujuan pada persamaan (10) adalah minimasi jarak tempuh. Batasan (11) dan (12) digunakan untuk memastikan bahwa sebuah toko hanya dikunjungi satu kali saja. Persamaan (13) digunakan untuk memastikan pengiriman dimulai dan diakhiri di depot. Persamaan (14) merupakan batasan agar jumlah permintaan yang dikirim tidak melebihi kapasitas kendaraan.

$$\min \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} \sum_{k=1}^{K} c_{ijk}\, x_{ijk} \quad (10)$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} x_{ijk} = 1, \qquad j = 2,3,\ldots,N \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^{N} x_{ijk} - \sum_{j=1}^{N} x_{ijk} = 0, \qquad k = 1,2,\ldots,K \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^{N} x_{1jk} = 1, \qquad \sum_{i=1}^{N} x_{i1k} = 1, \qquad k = 1,2,\ldots,K \quad (13)$$

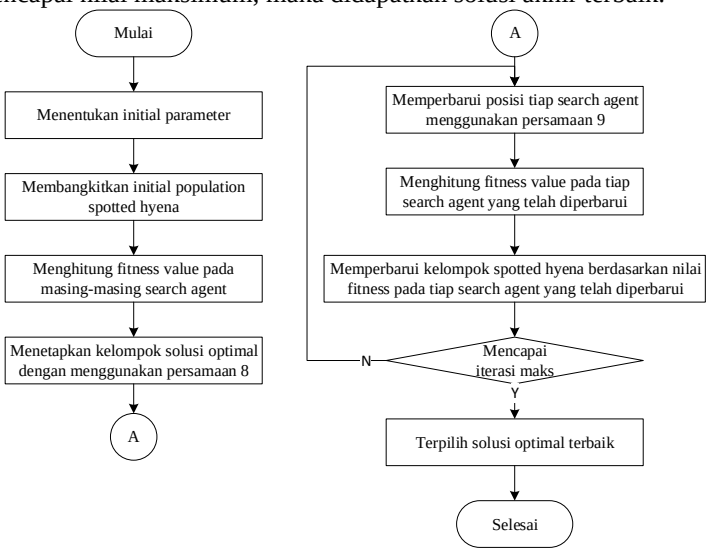
$$\sum_{j=2}^{N} d_j \sum_{i=1}^{N} x_{ijk} \le Q, \qquad k = 1,2,\ldots,K \quad (14)$$

$$\sum_{I=1}^{N} \sum_{j=2}^{N} x_{ijk} \le |S| - 1, \qquad |S| \ge 2, \qquad k = 1,2,..K \quad (15)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konstuksi Algoritma

Algoritma SHO dimulai dari inisiasi parameter dan membangkitkan solusi awal secara acak untuk dihitung nilai solusi pada setiap agen. Solusi awal yang masih acak kemudian dimodifikasi berdasarkan posisi masing-masing agen untuk didapatkan kelompok solusi terbaik menggunakan persamaan 8 yang berfungsi untuk menjumlahkan seluruh posisi agen hiena termasuk agen terbaik yang telah didapatkan. Seluruh posisi agen diperbarui menggunakan persamaan 9 sebagai basis pencarian solusi pada iterasi selanjutnya dengan mambagi hasil dari persamaan 8 dengan jumlah agen hiena. Hasil dari persamaan 9 kemudian dihitung nilai fitness valuenya dengan menggunakan persamaan 10 yang merupakan total jarak dari seluruh lintasan yang dilewati oleh seluruh kendaraan. Ketika iterasi mencapai nilai maksimum, maka didapatkan solusi akhir terbaik.



Gambar 1. Diagram alir *Spotted Hyena Optimizer*

Dataset CVRP milik Augeraat [13] digunakan untuk membandingkan performansi algoritma SHO dengan algoritma lainnya. Spesifikasi dataset yang terdapat pada penelitian ini adalah 1 depot, 31 konsumen, dan 5 kendaraan yang memiliki kapasitas angkut sebesar 100 unit.

Pembahasan

Algoritma *Spotted Hyena Optimizer* (SHO) ditulis menggunakan bahasa pemrograman python dengan menggunakan parameter jumlah agen dan jumlah iterasi yang memiliki nilai seperti tertulis pada tabel 1 di bawah ini.

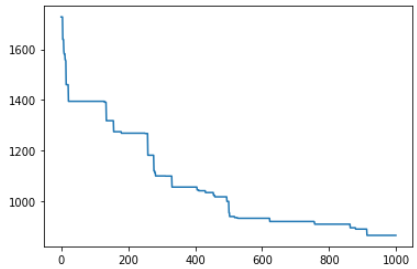
Tabel 1. Parameter SHO pada CVRP

Parameter	Nilai
Jumlah agen	100
Jumlah iterasi	1000

Proses pencarian solusi CVRP dengan menggunakan SHO dimulai dengan membangkitkan solusi awal yang berisi urutan kunjungan konsumen secara acak yang disesuaikan dengan batasan

kapasitas kendaraan. Rute yang telah terbentuk kemudian dihitung total jaraknya yang digunakan sebagai solusi awal sebelum dilakukan modifikasi solusi menggunakan SHO. Solusi awal yang telah terbentuk kemudian diacak urutannya berdasarkan urutan indeks pada posisi setiap agen hiena yang telah dibangkitkan pada algoritma SHO. Agen yang mendapatkan nilai solusi terbaik akan dijadikan agen terbaik sebagai panutan bagi agen lainnya dalam mengubah posisi berburu. Setiap posisi agen dikonversi menjadi solusi diskret dan dihitung nilai solusinya. Agen yang memiliki nilai solusi terbaik akan menjadi agen terbaik pada iterasi selanjutnya. Apabila solusi baru yang ditawarkan oleh agen terbaik saat ini lebih baik daripada solusi sebelumnya, maka solusi baru akan diperbarui sebagai basis pembanding solusi di iterasi selanjutnya. Jika ternyata solusi baru yang ditawarkan lebih buruk daripada solusi sebelumnya, maka solusi yang diambil adalah solusi pada iterasi sebelumnya.

Nilai solusi setiap iterasi digambarkan pada gambar 2 yang dimulai dari solusi awal dengan nilai yang cukup buruk dan terus diperbaiki hingga iterasi ke-1000. Mengacu pada pergerakan nilai solusi pada gambar 2, proses eksplorasi solusi baru terlihat cukup agresif yang ditunjukkan dengan penurunan nilai cukup tajam pada awal iterasi dan meneruskan trennya hingga iterasi ke-500.



Gambar 2. Convergence rate SHO pada CVRP

Setelah iterasi ke-500, SHO masuk pada tahap eksplorasi dimana perbaikan solusi terihat cukup lambat. Meskipun demikian, solusi akhir yang didapatkan SHO dalam menyelesaikan kasus CVRP ini cukup memuaskan. Rute yang terbentuk pada masing-masing kendaraan dapat dilihat pada tabel 2 yang juga ditampilkan mengenai jarak tempuh pada masing-masing kendaraan dan total jarak tempuh sebesar 864.98.

Tabel 2. Rute yang terbentuk menggunakan SHO

Kendaraan	**Rute**	**Jarak**
1	27-24-18-9-22-15-29	223.81
2	30-26-16-1-12	80.01
3	7-21-31-19-17-13	157.41
4	10-25-5-20	174.54
5	14-28-11-4-23-2-3-6	229.21
	Total Jarak	864.98

Langkah terakhir untuk menguji performansi algoritma SHO pada CVRP ini adalah dengan membandingkan nilai solusi akhir SHO dengan algoritma lainnya. Algoritma yang dibandingkan adalah Algoritma Genetika (GA) dan Optimasi Koloni Semut (ACO) [14], serta *Particle Swarm Optimization* (PSO) [15]. Komparasi SHO dengan algoritma lainnya ditampilkan pada tabel 3 yang menunjukkan bahwa algoritma SHO mampu menyelesaikan kasus CVRP lebih baik dibandingkan algoritma lain seperti GA, ACO, dan PSO.

Tabel 3. Komparasi hasil SHO dengan algoritma lainnya

Algoritma	**Jarak**

GA	882
ACO	897
PSO	882
SHO	864.98

KESIMPULAN

Algoritma *Spotted Hyena Optimizer* telah diimplementasikan ke dalam *Capacitated Vehicle Routing Problem* dengan 2 nilai parameter yaitu 100 agen hiena dan 1000 iterasi. Solusi awal dibangkitkan secara acak sebanyak 31 konsumen. Solusi CVRP yang telah terbentuk kemudian dimodifikasi menggunakan algoritma SHO dan didapatkan hasil yang lebih baik dibandingkan algoritma genetika, *ant colony*, dan *particle swarm optimization*. Pada kasus CVRP, SHO unggul pada tahap eksplorasi tetapi cukup lambat dalam tahap eksploitasi solusi yang lebih dalam. Atas kelebihan dan kekurangan tersebut, harapannya terdapat penelitian lebih lanjut mengenai pemanfaatan algoritma SHO yang disokong oleh pendekatan lain untuk meningkatkan performa SHO pada tahap eksploitasi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Davies, S. (n.d.). *Combinatorial Optimization*. Retrieved Agustus 29, 2021, from Computer Science Carnegie Mellon University.

[2] Horowitz, E., Sahni, S., & Rajasekaran, S. (1997). *Computer Algorthms.* New York: Computer Science Press.

[3] Pop, P. C., Zelina, I., Lupşe, V., Sitar, C. P., & Chira, C. (2011). Heuristic Algorithms for Solving the Generalized Vehicle Routing Problem. *International Journal Computers Comunication & Control, 6*(1), 158-165.

[4] Glover, F., & Kochenberger, G. A. (2003). *Handbook of Metaheuristics.* New York: Kluwer Academic Publisher.

[5] Weise, T. (n.d.). *Metaheuristic Optimization*. Retrieved September 29, 2021, from Institute of Applied Optimization Hefei University.

[6] Quintero-Duran, M., Candelo, J. E., & Sousa, V. (2017). Recent Trends of the Most Used Metaheuristic Techniques for Distribution Network Reconfiguration. *Journal Of Engineering Science and Technology Review, 10*(5), 159-173.

[7] Talbi, E.-G. (2009). *Metaheuristics: From Design to Implementation* (Vol. 42). Hoboken, New Jersey, USA: Wiley.

[8] Gilbert, L., & Semet, F. (2002). Classical Heuristics for the Capacitated VRP. In *The Vehicle Routing Problem* (pp. 109-128). Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.

[9] Dhiman, G., & Kumar, V. (2017). Spotted hyena optimizer: A novel bio-inspired based metaheuristic technique for engineering applications. *Advances in Engineering Software, 114*, 48-70.

[10] Toth, P., & Vigo, D. (2002). An Overview of Vehicle Routing Problems. In *The vehicle routing problem* (pp. 1-26). Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.

[11] Togatoro, Y. S. (2018). *Penyelesaian Capacitated Vehicle Routing Problem Menggunakan Algoritma Sweep.* Medan: Universitas Sumatera Utara.

[12] Ilany, A., Booms, A. S., & Holekamp, K. E. (2015). Topological effects of network structure on long-term social network dynamics in a wild mammal. *Ecology Letters, 18*(7).

[13] Augerat, P. (1995). *Approche polyèdrale du problème de tournées de véhicules.* Français: Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG,.

[14] Peya, Z. J., Akhand, M. A., Sultana, T., & Rahman, M. M. (2019). Distance based Sweep Nearest Algorithm to Solve Capacitated Vehicle Routing Problem. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 259-264.

[15] Akhand, M. A., Peya, Z. J., & Murase, K. (2017). Capacitated Vehicle Routing Problem Solving using Adaptive Sweep and Velocity Tentative PSO. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 8*(12), 288-295.