

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan optimasi rute dalam bidang distribusi dan logistik menjadi salah satu topik penting karena berkaitan dengan efisiensi waktu dan biaya pengiriman. Kompleksitas persoalan ini meningkat seiring bertambahnya jumlah pelanggan dan keterbatasan armada yang tersedia. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan optimasi yang mampu menghasilkan solusi rute secara efektif pada permasalahan berskala besar. Salah satu model yang digunakan untuk merepresentasikan permasalahan tersebut adalah *Multiple Traveling Salesman Problem* (MTSP). *Multiple Traveling Salesman Problem* (MTSP) merupakan permasalahan optimasi kombinatorial yang merupakan perluasan dari *Traveling Salesman Problem* (TSP), di mana terdapat m salesman yang harus mengunjungi n kota dengan ketentuan setiap kota dikunjungi oleh salesman tepat satu kali. Tujuan MTSP adalah menentukan pembagian rute dan urutan kunjungan kota bagi seluruh salesman sehingga total jarak tempuh atau biaya perjalanan minimum. Permasalahan ini termasuk kategori *NP-hard* [1], karena seiring bertambahnya jumlah kota maupun salesman, waktu komputasi yang dibutuhkan untuk mencapai solusi optimal semakin meningkat. Secara matematis, MTSP tidak hanya melibatkan permutasi urutan kunjungan kota, tetapi juga kombinasi pembagian n kota ke dalam m rute, sehingga ruang solusi bertambah secara kombinatorial dan jauh lebih besar dibandingkan TSP. Akibatnya, pencarian solusi optimal secara eksak menjadi tidak efisien untuk skala besar, terlebih karena MTSP juga sering mempertimbangkan keseimbangan beban kerja antar-salesman.

Meskipun *Multiple Traveling Salesman Problem* (MTSP) mampu merepresentasikan pembagian rute kunjungan pada beberapa salesman secara optimal, model ini masih memiliki keterbatasan dalam menggambarkan kondisi distribusi yang lebih realistis. Dalam formulasi dasarnya, MTSP hanya berfokus pada penentuan pembagian rute dan urutan kunjungan tanpa mempertimbangkan adanya kendala operasional lain yang sering dijumpai dalam praktik, salah satunya adalah batasan kapasitas kendaraan. Akibatnya, setiap salesman dalam model

MTSP diasumsikan dapat melayani seluruh pelanggan yang ditugaskan kepadanya tanpa adanya pembatasan jumlah permintaan yang dapat diangkut. Padahal, dalam sistem distribusi nyata, setiap kendaraan memiliki kapasitas maksimum tertentu yang tidak dapat dilampaui, sehingga jumlah permintaan pelanggan yang dapat dilayani dalam satu rute harus disesuaikan dengan kapasitas tersebut. Batasan ini menjadi faktor penting karena secara langsung memengaruhi penyusunan rute distribusi, dan apabila diabaikan, solusi yang dihasilkan berpotensi tidak aplikatif untuk diterapkan dalam kondisi nyata. Oleh karena itu, diperlukan suatu model yang lebih representatif yang tidak hanya mempertimbangkan pembagian rute dan urutan kunjungan, tetapi juga mengakomodasi batasan kapasitas kendaraan, yaitu *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)*.

Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) merupakan pengembangan dari *Vehicle Routing Problem (VRP)*, yang secara eksplisit mempertimbangkan batas kapasitas kendaraan yang digunakan untuk mengantarkan barang ke pelanggan. Pada CVRP, sejumlah kendaraan yang berangkat dari depot yang sama harus melayani sekumpulan pelanggan dengan permintaan tertentu, di mana setiap pelanggan harus dikunjungi tepat satu kali dan total permintaan dalam satu rute tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan. Tujuan utama dari CVRP adalah menentukan rute distribusi yang optimal sehingga total jarak tempuh atau biaya transportasi dapat diminimalkan, dengan tetap memenuhi seluruh kendala yang ada. Seiring dengan bertambahnya jumlah pelanggan dan kendaraan, kompleksitas permasalahan CVRP meningkat secara signifikan, sehingga termasuk dalam kategori *NP-hard* [2]. Hal ini menyebabkan metode penyelesaian secara eksak menjadi kurang efisien untuk digunakan pada permasalahan berskala besar karena membutuhkan waktu komputasi yang sangat tinggi. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan alternatif yang mampu menghasilkan solusi yang mendekati optimal dalam waktu komputasi yang efisien.

Salah satu pendekatan yang banyak digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi yang kompleks, khususnya yang termasuk dalam kategori *NP-hard*, adalah metode metaheuristik. Metaheuristik merupakan metode pencarian solusi yang bersifat umum dan fleksibel, sehingga dapat diterapkan pada berbagai jenis permasalahan optimasi serta mampu menghasilkan solusi mendekati optimal dalam waktu komputasi yang lebih efisien dibandingkan metode eksak. Berbagai algoritma yang termasuk dalam kategori ini antara lain *Genetic Algorithm*, *Simulated Annealing*, *Tabu Search*, *Ant Colony Optimization*, *Particle Swarm Optimization*, dan *Artificial Bee Colony* [3]. Meskipun demikian, metode metaheuristik memiliki

keterbatasan, seperti tidak adanya jaminan kinerja optimal untuk semua jenis permasalahan, ketergantungan terhadap parameter dan penyesuaian algoritma, serta perlunya keseimbangan antara eksplorasi dan eksploitasi dalam proses pencarian solusi [4]. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan atau modifikasi metode untuk meningkatkan kinerja algoritma dalam menghasilkan solusi yang lebih optimal.

Salah satu metode metaheuristik yang dapat diterapkan adalah *Bees Algorithm* (BA), yang terinspirasi dari perilaku koloni lebah dalam mencari sumber makanan [5]. Algoritma ini memiliki mekanisme eksplorasi global dan eksploitasi lokal yang memungkinkan pencarian solusi dilakukan secara luas sekaligus intensif pada solusi yang menjanjikan. Beberapa penelitian telah menerapkan *Bees Algorithm* dalam berbagai permasalahan optimasi dan menunjukkan hasil yang cukup baik. Namun demikian, performa *Bees Algorithm* masih dapat ditingkatkan, terutama dalam memperbaiki kualitas solusi pada tahap eksploitasi lokal. Oleh karena itu, diperlukan penambahan mekanisme pencarian lokal yang lebih efektif untuk meningkatkan kinerja algoritma.

Pengembangan *Bees Algorithm* telah banyak dilakukan untuk meningkatkan kualitas solusi dalam permasalahan optimasi. Salah satu penelitian mengombinasikan *Bees Algorithm* dengan metode *nearest neighbor* untuk menyelesaikan permasalahan *Traveling Salesman Problem* (TSP), yang mampu meningkatkan kualitas solusi serta mempercepat proses pencarian rute [6]. Namun demikian, pendekatan ini masih terbatas pada permasalahan tanpa mempertimbangkan kendala kapasitas kendaraan. Selanjutnya, penelitian lain mengusulkan pengurangan kompleksitas parameter yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi algoritma [7]. Meskipun pendekatan ini mampu memberikan kinerja yang lebih stabil, pengurangan parameter dapat membatasi fleksibilitas algoritma dalam mengeksplorasi ruang solusi yang lebih luas.

Selain itu, penelitian yang menerapkan *Bees Algorithm* pada permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) menunjukkan bahwa algoritma ini mampu menghasilkan solusi yang cukup baik dengan mempertimbangkan kendala kapasitas kendaraan [8]. Namun demikian, penelitian tersebut belum mengintegrasikan mekanisme pencarian lokal yang spesifik untuk meningkatkan kualitas solusi secara lebih optimal. Lebih lanjut, penelitian berjudul *A New Local Search for the Bees Algorithm to Optimize Multiple Traveling Salesman Problem* mengusulkan penambahan operator pencarian lokal SBESTSO pada *Bees Algorithm* untuk memperbaiki struktur rute pada permasalahan *Multiple Traveling Salesman*

Problem (MTSP). Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan kualitas solusi, namun pendekatan tersebut belum diterapkan pada permasalahan dengan kendala kapasitas kendaraan seperti CVRP.

Dalam penelitian ini, dikembangkan suatu pendekatan operator pencarian lokal untuk meningkatkan kualitas solusi pada *Bees Algorithm* dalam menyelesaikan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP). Penelitian ini mengacu pada pengembangan operator *Subtour of Beginning or End of a Salesman Tour Swapping Operator* (SBESTSO) yang sebelumnya diterapkan pada masalah *Multiple Traveling Salesman Problem* (MTSP) [1]. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang berfokus pada MTSP tanpa mempertimbangkan batasan kapasitas kendaraan, penelitian ini mengadaptasi mekanisme SBESTSO ke dalam CVRP dengan memperhatikan kendala kapasitas (Q). Selain itu, sebagai bentuk pengembangan, penelitian ini memodifikasi operator SBESTSO dengan menambahkan evaluasi orientasi rute (*reversed*) pada subtour yang dipertukarkan untuk mengoptimalkan urutan kunjungan dan memperluas ruang pencarian solusi. Integrasi SBESTSO yang dimodifikasi ini diharapkan mampu meningkatkan proses eksploitasi lokal secara lebih efektif. Oleh karena itu, penelitian ini mengangkat judul **“BEES ALGORITHM DENGAN OPERATOR PENCARIAN LOKAL SBESTSO PADA CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM (CVRP)”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan di atas, maka penelitian ini memiliki beberapa rumusan masalah yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana penerapan *Bees Algorithm* dengan operator pencarian lokal SBESTSO dalam menyelesaikan masalah *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP)?
2. Bagaimana perbandingan kinerja *Bees Algorithm* dalam menyelesaikan CVRP dengan dan tanpa penambahan operator pencarian lokal SBESTSO ditinjau dari kualitas solusi dan efisiensi komputasi?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini membahas *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) dengan depot tunggal sebagai awal dan akhir perjalanan setiap kendaraan
2. Setiap kendaraan memiliki kapasitas maksimum tertentu dan setiap pelanggan memiliki permintaan yang harus dipenuhi tanpa melebihi kapasitas kendaraan
3. Data yang digunakan merupakan data sekunder dari CVRPLIB sebagai dataset standar permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP)
4. Implementasi algoritma yang digunakan menggunakan bahasa pemrograman *Python*, dengan evaluasi kinerja difokuskan pada nilai fungsi objektif berupa total jarak tempuh dan waktu komputasi.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang serta rumusan masalah yang diuraikan sebelumnya, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Menerapkan *Bees Algorithm* dengan penambahan operator pencarian lokal SBESTSO dalam menyelesaikan permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP).
2. Menganalisis perbandingan kinerja *Bees Algorithm* dengan dan tanpa penambahan operator pencarian lokal SBESTSO dalam menghasilkan solusi CVRP yang lebih optimal ditinjau dari nilai fungsi objektif dan waktu komputasi.

Adapun manfaat dalam penelitian ini adalah:

1. Memberikan pemahaman mengenai penerapan *Bees Algorithm* dengan operator pencarian lokal SBESTSO dalam menyelesaikan masalah *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP).
2. Menambah referensi dalam pengembangan metode metaheuristik, khususnya *Bees Algorithm* dengan operator pencarian lokal, serta dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya pada permasalahan optimasi rute kendaraan.

1.5 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Pada tahap studi literatur, dilakukan pengumpulan dan pengkajian materi terkait konsep dasar *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP), *Bees Algorithm*, serta operator pencarian lokal *Subtour of Beginning or End of Salesman Tour Swapping Operator* (SBESTSO). Referensi diperoleh dari buku, jurnal ilmiah, artikel, dan skripsi dari penelitian sebelumnya yang relevan dengan permasalahan optimasi rute dan algoritma metaheuristik. Studi ini bertujuan untuk memahami karakteristik CVRP yang mempertimbangkan kendala kapasitas kendaraan, mekanisme kerja *Bees Algorithm* dalam proses eksplorasi dan eksploitasi solusi, serta peran operator pencarian lokal dalam meningkatkan kualitas solusi. Salah satu referensi utama yang digunakan adalah penelitian oleh Hamza, Ali, Ahmed Haj Darwish, dan Omar Rihawi dalam jurnal berjudul “A New Local Search for the Bees Algorithm to Optimize Multiple Traveling Salesman Problem” yang membahas integrasi mekanisme pencarian lokal pada *Bees Algorithm*.

2. Simulasi

Tahap simulasi dilakukan dengan mengimplementasikan *Bees Algorithm* yang telah ditambahkan operator pencarian lokal SBESTSO menggunakan bahasa pemrograman *Python*. Dataset yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder dari CVRPLIB, yang merupakan kumpulan dataset standar untuk pengujian permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem*. Implementasi dilakukan dengan merepresentasikan solusi dalam bentuk rute kendaraan, menghitung fungsi objektif berupa total jarak tempuh, serta memastikan bahwa setiap solusi memenuhi kendala kapasitas kendaraan yang telah ditentukan.

3. Analisis

Analisis difokuskan pada permasalahan CVRP dengan depot tunggal, tanpa mempertimbangkan kendala waktu (*time windows*), serta dengan batasan kapasitas kendaraan yang harus dipenuhi pada setiap rute. Evaluasi dilakukan dengan mengukur nilai fungsi objektif berupa total jarak tempuh minimum yang dihasilkan serta waktu komputasi yang dibutuhkan untuk mencapai solusi terbaik. Selain itu, dilakukan perbandingan antara *Bees Algorithm* tanpa operator SBESTSO dan *Bees Algorithm* dengan operator SBESTSO untuk mengetahui sejauh mana penambahan mekanisme pencarian lokal mampu meningkatkan performa algoritma dalam menghasilkan solusi yang lebih optimal pada dataset CVRPLIB yang digunakan.

1.6 Sistematika Penulisan

Berdasarkan sistematika penulisannya, tugas akhir ini terdiri atas lima bab serta daftar pustaka, di mana dalam setiap bab terdapat beberapa subbab sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bagian ini dijelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II : LANDASAN TEORI

Bab ini menjelaskan tentang teori-teori yang melandasi pembahasan inti yang saling berkaitan dan sebagai dasar dalam penelitian, seperti optimasi, *Traveling Salesman Problem* (TSP), *Multiple Traveling Salesman Problem* (MTSP), *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP), *Bees Algorithm*, serta operator pencarian lokal (*local search*) seperti 2-opt dan Ext SO.

BAB III : BEES ALGORITHM DENGAN TAMBAHAN OPERATOR PENCARIAN LOKAL SUBTOUR OF BEGINNING OR END OF A SALESMAN TOUR SWAPPING OPERATOR (SBESTSO) UNTUK CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM (CVRP)

Pada bab ini diuraikan langkah-langkah dalam menyelesaikan masalah *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) menggunakan *Bees Algorithm* dengan tambahan operator pencarian lokal *Subtour of Beginning or End of a Salesman Tour Swapping Operator* (SBESTSO).

BAB IV : STUDI KASUS DAN ANALISIS

Bab ini akan membahas secara detail proses eksperimen, mulai dari parameter yang digunakan, hingga operator pencarian lokal (*local search*), operator *Subtour of Beginning or End of a Salesman Tour Swapping Operator* (SBESTSO) serta metode *selection* yang diterapkan. Selanjutnya akan dipaparkan hasil dari berbagai pengujian yang dilakukan, termasuk performa algoritma dalam menyelesaikan masalah optimasi yang dihadapi.

BAB V : PENUTUP

Bab penutupan berisi hasil kesimpulan dari rumusan masalah yang telah dijelaskan dan berisi saran yang diperuntukkan untuk penelitian berikutnya sebagai pengembangan dari penyelesaian CVRP menggunakan *Bees Algorithm*.

DAFTAR PUSTAKA

