

BAB I

PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan hal-hal yang fundamental dalam penelitian, meliputi latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

1.1 Latar Belakang Masalah

Optimasi merupakan permasalahan yang berhubungan dengan pengoptimalan melalui proses pencarian solusi terbaik [1]. Persoalan optimasi pada dasarnya adalah menentukan berbagai nilai variabel dari suatu fungsi menjadi optimum, baik itu maksimum ataupun minimum dengan memperhatikan batasan-batasan yang ada. Salah satu bentuk optimisasi yang terus berkembang adalah optimisasi kombinatorial, yang merupakan penyelesaian optimasi pada struktur diskrit. Salah satu jenis optimisasi kombinatorial yang sering dibahas adalah TSP atau *Traveling Salesman Problem* [2]. TSP merupakan permasalahan di mana seorang *salesman* harus mengunjungi semua kota dan setiap kota harus dikunjungi sekali serta harus mulai dari dan kembali ke kota asal. Tujuannya adalah untuk menentukan rute dengan total jarak atau biaya yang paling minimum [3].

Pada penerapannya, terdapat banyak kasus di dunia nyata yang tidak hanya memerlukan satu orang *salesman* saja, tetapi membutuhkan beberapa *salesman* untuk menyelesaikan suatu pekerjaan. Permasalahan seperti ini dikategorikan ke dalam *Multiple Traveling Salesman Problem* (MTSP) [4]. *Multiple Traveling Salesmen Problem* (MTSP) juga merupakan perluasan dari *Traveling Salesman Problem* (TSP) [5], di mana lebih dari satu *salesman* dapat digunakan dalam solusi. Dalam MTSP, terdapat m orang *salesman* yang memulai perjalanan dari kota asal (depot), kemudian masing-masing *salesman* mengunjungi sejumlah kota dan kembali ke depot, sehingga semua kota dikunjungi satu kali oleh salah satu *salesman* dan setiap *salesman* membentuk rutenya masing-masing [6]. Tujuan dari MTSP adalah meminimalkan total biaya, yang dapat diukur berdasarkan waktu, jarak tempuh, atau faktor lainnya.

MTSP sangat berguna dalam berbagai masalah riil, misalnya pada masalah perutean dan penjadwalan. Beberapa aplikasi utama MTSP dalam penelitian sebelumnya mencakup penjadwalan percetakan, seperti yang dikaji oleh Gorenstein [7], di mana MTSP digunakan untuk mengatur urutan pencetakan berbagai edisi majalah dan surat kabar, serta dalam penjadwalan iklan pre-print untuk koran oleh Carter dan Ragsdale [8]. Dalam penjadwalan kunjungan lapangan, misalnya pada penelitian Svestka dan Huckfeldt [9] yang menerapkan MTSP untuk menentukan rute pengangkutan deposit antar bank dan Zhang dkk [10] untuk penjadwalan tim fotografer ke berbagai sekolah. Selain itu, terdapat perencanaan rute bus sekolah yang dikembangkan oleh Angel dkk [11] untuk mempertimbangkan jumlah bus, jarak tempuh, dan kapasitas maksimal. Di perusahaan logistik, terdapat penelitian mengenai perencanaan rute pengiriman barang oleh perusahaan logistik, di mana beberapa kurir harus mengunjungi sejumlah lokasi pengiriman dengan tujuan meminimalkan total jarak tempuh, seperti yang dikaji oleh Sianturi dkk [1]. Hal ini dapat membantu perusahaan dalam memaksimalkan keuntungan atau manfaat dan sumber daya yang tersedia dengan biaya yang minimum, seperti yang dijelaskan oleh Silvia Yang [12].

Meskipun penting dalam berbagai aplikasi, MTSP merupakan masalah *Non-deterministic Polynomial Hard* (NP-Hard) [13], Ini adalah kategori permasalahan yang dicirikan oleh kompleksitas algoritma, yaitu ukuran waktu komputasi yang dibutuhkan algoritma untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Untuk MTSP, hal ini berarti kompleksitas waktu komputasinya meningkat secara eksponensial seiring dengan bertambahnya jumlah kota dan *salesman* [6]. Oleh karena itu, penyelesaian dengan metode eksak seringkali memerlukan waktu pemrosesan yang sangat lama dan menjadi tidak efisien untuk masalah berskala besar [14]. Hal ini mendorong para peneliti untuk beralih dan mengembangkan pendekatan heuristik dan metaheuristik sebagai alternatif yang lebih efektif dalam menemukan solusi *near-optimal*.

Dalam mengatasi kerumitan MTSP, peneliti telah mengembangkan berbagai metode. Perkembangan ini terlihat dari pergeseran fokus, awalnya dari algoritma eksak yang optimal namun tidak efisien, kini beralih ke pendekatan metaheuristik dan pembelajaran yang lebih modern. Secara historis, metode eksak telah

dieksplorasi seperti pendekatan *Branch-and-Cut* yang efisien diusulkan oleh [15] untuk masalah partisi, serta diaplikasikan dalam konteks varian TSP oleh [16] dan [17] untuk masalah *Equitable* TSP. Selain itu, algoritma eksak *pseudo-polynomial time* dikembangkan oleh [18]. Namun, terlepas dari presisinya, keterbatasan skalabilitasnya menjadi kendala utama untuk masalah berdimensi tinggi [19]. Sebagai solusi terhadap keterbatasan yang ada pada metode eksak, pengembangan metode heuristik yang lebih efisien menjadi prioritas selanjutnya. Ini termasuk penggunaan heuristik *greedy* untuk penugasan kota yang optimal [20], [21] dan heuristik tetangga terdekat yang dimodifikasi untuk pembangunan rute awal yang efektif [22].

Selanjutnya, algoritma metaheuristik menjadi fokus utama karena kemampuannya dalam mengeksplorasi ruang solusi yang luas dan menemukan solusi *near-optimal* secara efisien pada MTSP. Menurut Budi Santosa dan The Jin Ai [23], menyebutkan bahwa metaheuristik adalah metode yang terinspirasi dari fenomena alam dan merupakan pengembangan dari prosedur heuristik untuk menghasilkan solusi dalam memecahkan masalah optimasi tertentu. Meskipun metaheuristik merupakan modifikasi dari heuristik, metode ini tidak menjamin dapat menemukan solusi optimal dalam proses penyelesaian masalah. Namun, biasanya metode ini dapat menghasilkan solusi yang lebih baik atau mendekati solusi optimal setelah sejumlah iterasi tertentu.

Beberapa metaheuristik yang sering dibahas diantaranya seperti *Genetic Algorithm* (GA), yang telah banyak dimodifikasi, misalnya, [24] menggunakan operator lokal untuk meningkatkan kinerja, mengembangkan *two-part chromosome crossover* baru untuk efektivitas yang lebih tinggi [25]. GA juga diaplikasikan dalam konteks MTSP *multi-depot* [26], dan dengan pendekatan representasi dua kromosom yang canggih [27]. Kemudian, *Particle Swarm Optimization* (PSO) juga sering diterapkan, dengan varian seperti APSO dan HAPSO yang menggabungkan operator *2-opt*, *path-relink*, dan *swap local* untuk kinerja yang lebih baik [28]. *Artificial Bee Colony* (ABC) juga telah dikembangkan, termasuk versi yang ditingkatkan untuk MTSP yang fokus pada solusi optimal [29] dan peningkatan kinerja [30]. Algoritma memetik, yang menggabungkan kekuatan *Hill-Climbing* dan GA untuk efisiensi yang lebih baik, juga telah diimplementasikan [31].

Algoritma metaheuristik lain yang relevan termasuk *Bees Algorithm* (BA), yang terbukti efektif untuk masalah optimasi kombinatorial [32] dan berbagai Algoritma Evolusioner (EA), yang menggunakan pendekatan turnamen untuk seleksi [33] dan diaplikasikan untuk *MinMax-MTSP* [34].

Di antara berbagai algoritma metaheuristik tersebut, *Ant Colony Optimization* (ACO) telah menjadi salah satu algoritma yang paling banyak diteliti untuk masalah TSP dan MTSP. ACO adalah algoritma metaheuristik yang diperkenalkan oleh Marco Dorigo dkk pada awal 1990-an [35]. ACO berhasil digunakan untuk menyelesaikan masalah TSP. ACO terinspirasi oleh perilaku semut yang mencari jalur terpendek antara koloni mereka dan sumber makanan. Pada alam, komunikasi antar semut dilakukan melalui feromon, yaitu zat kimia yang dikeluarkan dari tubuh semut. Semut memilih jalur dengan konsentrasi feromon yang lebih tinggi. Metode sederhana ini memungkinkan semut menemukan jalur terpendek, meskipun ada banyak jalur antara sarang mereka dan sumber makanan [36].

ACO telah berhasil diaplikasikan dalam menyelesaikan MTSP oleh Jinjie dan Dingwei [37]. Dalam penelitian tersebut representasi rute MTSP dimodifikasi menjadi rute TSP karena setiap *salesman* berangkat dari kota yang sama [4]. Demikian pula, penelitian yang dilakukan oleh Yosua Christopher Sitanggang, Candra Dewi, dan Randy Cahya Wihandika [1] juga mengaplikasikan metode ACO untuk pemilihan rute optimal pada MTSP.

Meskipun menunjukkan efektivitas, dalam praktiknya ACO seringkali terjebak pada solusi lokal optimal, yaitu solusi yang baik pada suatu iterasi, tetapi tidak optimal secara keseluruhan. Dalam mengatasi hal ini, banyak peneliti yang menggabungkan ACO dengan algoritma lain, salah satunya dengan algoritma *Symbiotic Organisms Search* (SOS) [38]. Algoritma *Symbiotic Organism Search* (SOS) adalah algoritma metaheuristik yang terinspirasi oleh interaksi simbiosis antara organisme dalam ekosistem, yang pertama kali diperkenalkan oleh Cheng dan Prayogo pada tahun 2014 [39]. Dalam konteks optimasi, SOS menawarkan pendekatan pencarian yang lebih luas dengan meningkatkan kemampuan eksplorasi ruang solusi, sehingga menghindari keterjebakan dalam solusi lokal optimal.

Secara spesifik, penelitian yang ditulis oleh Yong Wan dan Zunpu Han [38] telah mengaplikasikan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) yang

dikombinasikan dengan algoritma *Symbiotic Organism Search* (SOS) untuk menyelesaikan TSP. SOS digunakan untuk mengoptimalkan parameter kunci dari ACO yaitu α dan β . Dengan parameter yang telah dioptimalkan, ACO dapat menemukan solusi yang lebih mendekati optimal, sehingga kompleksitas dalam menetapkan parameter ACO menjadi jauh lebih rendah. Penelitian ini berhasil mendapatkan solusi yang lebih baik dari pada solusi yang dihasilkan oleh ACO dasar dan beberapa algoritma lainnya yang dibandingkan seperti PACO-3Opt, HGA, PSO-ACO-3Opt dan ACSFA [38].

Meskipun keberhasilan *hybrid* SOS-ACO ini telah terbukti signifikan untuk TSP, penerapannya secara spesifik pada permasalahan *Multiple Traveling Salesman Problem* (MTSP) masih menunjukkan celah penelitian yang signifikan. Hingga saat ini, belum ada penelitian yang secara khusus menguji efektivitas dan kinerja algoritma *hybrid* SOS-ACO ketika masalahnya dikembangkan dari TSP ke MTSP.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut dengan mengembangkan dan mengaplikasikan algoritma *hybrid Ant Colony Optimization* dan *Symbiotic Organism Search* untuk menyelesaikan *Multiple Traveling Salesman Problem*. Fokus penelitian ini adalah untuk mengeksplorasi apakah keberhasilan dan keunggulan *hybrid* SOS-ACO yang terbukti pada TSP dapat direplikasi dan dipertahankan ketika diimplementasikan pada masalah MTSP yang lebih kompleks. Kontribusi utama dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman baru tentang kapabilitas algoritma *hybrid* SOS-ACO dalam menangani tantangan MTSP, sekaligus menyajikan solusi yang lebih optimal untuk masalah distribusi dan penjadwalan dengan banyak *salesman*. Sehingga penulis mengambil judul **“Penyelesaian *Multiple Traveling Salesman Problem* Menggunakan Algoritma *Hybrid Ant Colony Optimization* dan *Symbiotic Organism Search*”**.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana penerapan algoritma *hybrid Ant Colony Optimization* (ACO) dan *Symbiotic Organism Search* (SOS) dalam menyelesaikan masalah *Multiple Traveling Salesman Problem* (MTSP)?

2. Bagaimana efektivitas algoritma *hybrid Ant Colony Optimization* dan *Symbiotic Organisms Search* (SOS-ACO) dibandingkan dengan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dasar dalam menyelesaikan permasalahan *Multiple Traveling Salesman Problem* (MTSP), ditinjau dari kualitas solusi dan waktu komputasi?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini membahas *Multiple Traveling Salesman Problem* dengan depot tunggal sebagai titik awal dan akhir perjalanan setiap *salesman*.
2. Penelitian ini membahas Min-Sum MTP yaitu masalah MTSP yang tujuannya adalah mengurangi total biaya.
3. Pembagian rute untuk setiap *salesman* dilakukan dengan mempartisi rute TSP yang didasarkan pada batasan jumlah kota yang ditempuh masing-masing *salesman*.
4. Jumlah *salesman* terbatas atau ditentukan di awal berdasarkan dengan jumlah kota yang harus dikunjungi dan batasan kota per-*salesman*.
5. Penelitian ini membatasi fungsi tujuan pada minimasi total jarak seluruh *salesman*, sehingga tidak secara eksplisit mempertimbangkan keseimbangan jarak rute masing-masing *salesman*.
6. Data yang digunakan adalah data sekunder dari TSPLIB, yang berisi kumpulan dataset standar untuk permasalahan *Traveling Salesman Problem* (TSP) dan variannya.
7. Implementasi algoritma yang dilakukan menggunakan bahasa pemrograman *Python*, yang dijalankan melalui aplikasi *Visual Studio Code*.

1.4 Tujuan Penelitian

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

1. Mengetahui penerapan algoritma *hybrid Ant Colony Optimization* dan *Symbiotic Organism Search* (SOS-ACO) dalam menyelesaikan masalah *Multiple Traveling Salesman Problem* (MTSP).

2. Mengevaluasi efektivitas algoritma *hybrid* SOS-ACO melalui perbandingan dengan ACO dasar dalam menyelesaikan MTSP, baik dari segi kualitas solusi maupun efisiensi waktu komputasi.

1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Pada tahap studi literatur, dilakukan pengumpulan dan pengkajian materi terkait konsep dasar *Multiple Traveling Salesman Problem*, algoritma *Ant Colony Optimization*, dan algoritma *symbiotic organism search* dengan merujuk pada buku, jurnal ilmiah, artikel dan skripsi dari penelitian sebelumnya. Studi ini bertujuan untuk memahami bagaimana metode metaheuristik diterapkan dalam optimasi rute perjalanan. Salah satu referensi utama yang digunakan adalah penelitian oleh Wang & Han (2021) yang membahas penerapan SOS-ACO pada TSP [38], di mana penelitian ini akan mengembangkan pendekatan tersebut untuk menyelesaikan MTSP. Selain itu, literatur lain yang berkaitan dengan graf, optimasi kombinatorial, teknik optimasi rute, dan metode perbandingan algoritma juga dikaji guna memperkuat landasan teori dalam penelitian ini.

2. Eksperimen

Tahap eksperimen dilakukan dengan mengimplementasikan algoritma *Hybrid* SOS-ACO menggunakan bahasa pemrograman *Python* pada platform *Visual Studio Code*. Dataset yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder dari TSPLIB, yang merupakan kumpulan dataset standar untuk menguji algoritma optimasi rute perjalanan. Beberapa dataset dari TSPLIB yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah att48, eil51, berlin52, st70, rat99 dan bier127. Dataset ini berisi koordinat dua dimensi yang dinyatakan dalam bentuk kartesian (*Euclidean*) dan matriks jarak dari setiap kota dalam permasalahan *Traveling Salesman Problem* (TSP). Informasi matriks jarak dapat digunakan langsung sedangkan informasi koordinat kartesian digunakan untuk menghitung jarak antar kota dengan rumus *Euclidean*, yang selanjutnya menjadi dasar dalam mencari solusi optimal.

Proses eksperimen diawali dengan inialisasi seluruh parameter ACO dan SOS. Dalam algoritma *hybrid* ini, *Symbiotic Organisms Search* (SOS) digunakan untuk mengoptimalkan parameter utama dalam ACO, yaitu α dan β , sehingga nilai parameter α dan β dapat disesuaikan secara adaptif tanpa perlu pengaturan manual untuk menghasilkan solusi yang lebih optimal. Setelah algoritma *Hybrid* SOS-ACO diimplementasikan, dilakukan pengujian pada beberapa dataset dengan berbagai skala guna mengevaluasi performa algoritma dalam menyelesaikan MTSP dengan variasi jumlah kota dan *salesman*.

3. Analisis

Tahap analisis dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas algoritma SOS-ACO dalam menyelesaikan MTSP. Hasil yang diperoleh dibandingkan dengan ACO dasar berdasarkan beberapa aspek utama, seperti kualitas solusi, yang diukur berdasarkan total jarak seluruh *salesman* optimal yang ditemukan, serta efisiensi waktu komputasi, yang melihat seberapa cepat algoritma *hybrid* SOS-ACO menyelesaikan masalah hingga menghasilkan solusi terbaik.

1.6 Sistematika Penulisan

Penelitian ini memiliki lima bab sistematika penulisan di antaranya adalah sebagai berikut:

BAB I

PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metode penelitian, dan sistematika penulisan dari penelitian yang dikaji.

BAB II

LANDASAN TEORI

Bab ini memaparkan teori-teori penunjang yang mendasari pembahasan utama dalam penulisan penelitian, seperti teori graf, optimasi, *Traveling Salesman Problem* (TSP), *Multiple Traveling Salesman Problem* (MTSP), algoritma *Ant Colony Optimization* dan algoritma *Symbiotic Organism Search*.

