

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Distribusi logistik memegang peranan krusial dalam keberhasilan operasional perusahaan, terutama pada sektor ritel. Efisiensi dalam proses distribusi dapat secara signifikan mengurangi biaya operasional, meningkatkan kepuasan pelanggan, dan memberikan keunggulan kompetitif. Salah satu tantangan utama dalam distribusi adalah penentuan rute kendaraan yang optimal untuk mengirimkan barang ke berbagai lokasi pelanggan. Permasalahan ini dikenal sebagai *Vehicle Routing Problem* (VRP) [1]. VRP adalah masalah kombinatorial *NP-hard* yang bertujuan untuk menemukan rute optimal bagi sejumlah kendaraan untuk melayani sejumlah pelanggan dari satu atau lebih depot, dengan meminimalkan total jarak tempuh atau total biaya [2]. Dalam praktiknya, VRP seringkali dihadapkan pada berbagai kendala tambahan yang membuatnya semakin kompleks. Salah satunya adalah *Split Delivery Vehicle Routing Problem* (SDVRP), di mana pelanggan dapat dilayani oleh lebih dari satu kendaraan [3]. Ini memungkinkan fleksibilitas yang lebih besar dalam pengiriman, namun juga menambah kompleksitas dalam penentuan rute. Selain SDVRP, kendala *Time Windows* (TW) juga sering muncul dalam skenario distribusi ritel. *Time windows* membatasi waktu kedatangan kendaraan di lokasi pelanggan, yang berarti pengiriman harus dilakukan dalam rentang waktu yang telah ditentukan [4]. Kombinasi SDVRP dengan *Time Windows* (SDVRPTW) menjadi masalah optimasi yang sangat menantang, karena harus mempertimbangkan baik pembagian pengiriman maupun batasan waktu pelayanan.

Sebagai gambaran, Alfamart, salah satu jaringan ritel terbesar di Indonesia, menghadapi tantangan besar dalam optimasi distribusi barang ke gerai-gerainya. Dengan jumlah gerai yang tersebar luas dan kebutuhan pengiriman yang sering, efisiensi rute distribusi menjadi sangat penting untuk menekan biaya operasional dan menjaga ketersediaan produk. Meskipun data permintaan dalam penelitian ini akan dibuat dengan asumsi dan bukan merupakan data riil dari lapangan, namun data jarak akan diambil dari Google Maps untuk merepresentasikan kondisi geografis sebenarnya. Penerapan SDVRPTW pada kasus distribusi ritel Alfamart dapat menghasilkan penghematan biaya

transportasi dan peningkatan efisiensi pengiriman secara signifikan.

Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk mengatasi masalah VRP, termasuk metode eksak, heuristik, dan metaheuristik. Algoritma metaheuristik, seperti *Ant Colony Optimization* (ACO), telah terbukti efektif dalam menemukan solusi yang baik untuk masalah optimasi kombinatorial yang kompleks dalam waktu komputasi yang wajar [5]. ACO terinspirasi dari perilaku semut dalam mencari jalur terpendek antara sarang dan sumber makanan, di mana semut melepaskan feromon untuk menandai jalur yang optimal.

Meskipun ACO telah menunjukkan kinerja yang baik, masih terdapat ruang untuk peningkatan, terutama dalam hal kecepatan konvergensi dan kualitas solusi yang ditemukan. Hal ini mendorong pengembangan varian ACO yang ditingkatkan, seperti *Improved Ant Colony Optimization* (IACO). Dalam penelitian ini, IACO akan divariasikan dengan menggabungkan atau memasukkan algoritma *Tabu Search* (TS) dan *Simulated Annealing* (SA). Penggabungan ini bertujuan untuk mengatasi keterbatasan ACO standar dengan memanfaatkan kemampuan eksplorasi global ACO, kemampuan menghindari *local optima* dari *Tabu Search*, dan kemampuan eksplorasi ruang solusi yang lebih luas dari *Simulated Annealing*. *Tabu Search* akan digunakan untuk meningkatkan eksplorasi solusi dengan mencegah algoritma kembali ke solusi yang sama dalam iterasi berturut-turut, sehingga mempercepat pencarian solusi optimal [6]. Sementara itu, *Simulated Annealing* akan membantu dalam pengaturan pembaruan feromon, sehingga algoritma dapat menghindari jebakan solusi lokal dan menjelajahi ruang pencarian yang lebih luas [7]. Dengan kombinasi ketiga algoritma ini, diharapkan dapat diperoleh solusi yang lebih optimal dalam menentukan rute distribusi ritel yang efisien dan berkelanjutan.

Dalam optimasi rute distribusi, tidak hanya jarak tempuh yang menjadi pertimbangan, tetapi juga berbagai biaya lain yang relevan. Penelitian ini akan mempertimbangkan beberapa komponen biaya, yaitu: biaya distribusi (meliputi biaya operasional kendaraan, bahan bakar, dan biaya terkait jarak tempuh), biaya emisi karbon (mengacu pada dampak lingkungan dari perjalanan kendaraan, yang dapat dihitung berdasarkan jarak tempuh dan jenis kendaraan), dan biaya penalti keterlambatan (dikenakan jika pengiriman tidak dapat dilakukan dalam *time windows* yang telah ditentukan, mencerminkan kerugian akibat ketidakpuasan pelanggan atau denda kontrak).

Penelitian-penelitian sebelumnya telah mengembangkan berbagai pendekatan untuk mengatasi variasi dari masalah *Vehicle Routing Problem*. Misalnya, Ma dan Liu (2024) mengusulkan *Improved Ant Colony Algorithm* (IACA) untuk menyelesaikan

Split Delivery Vehicle Routing Problem (SDVRP). Mereka memperkenalkan mekanisme pemilihan pelanggan adaptif, pengolahan feromon yang lebih fleksibel dengan strategi *backtracking* dan volatilitas adaptif, serta penerapan pencarian lokal berbasis 2-opt untuk meningkatkan kualitas solusi [8]. Meskipun efektif dalam mengatasi permasalahan pembagian pengiriman (*split delivery*) dan mengurangi risiko terjebak dalam *local optima*, algoritma ini belum mengintegrasikan kendala *time windows* yang sangat penting dalam distribusi ritel, dan juga belum mempertimbangkan komponen biaya seperti emisi karbon atau penalti keterlambatan. Sementara itu, Shi et al. (2018) mengembangkan pendekatan *Particle Swarm Optimization* (PSO) khusus untuk SDVRP. Dalam modelnya, mereka memanfaatkan teknik penyandian integer dan *decoding* berbasis modifikasi persamaan Bellman, serta menggabungkan strategi pencarian lokal (seperti *relocation*, *exchange*, dan 2-opt) ke dalam proses iteratif PSO [9]. Meskipun PSO menawarkan fleksibilitas tinggi dan kecepatan eksplorasi solusi global yang baik, penelitian ini juga belum mengakomodasi kendala waktu pelayanan (*time windows*) dan belum menyertakan biaya penalti atau emisi dalam fungsi objektif. Selain itu, penggunaan PSO murni tanpa eksplorasi varian hibrida seperti integrasi dengan ACO atau TS dapat membatasi kemampuan eksploitasi lokal pada beberapa jenis instansi data kompleks. Kemudian, Zhang et al. (2021) menerapkan pendekatan *Hybrid Ant Colony Optimization* (HACO) untuk menyelesaikan *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW). Kombinasi ACO dengan strategi pemilihan rute adaptif, modifikasi parameter volatilitas, dan integrasi operator mutasi seperti *swap* dan *insert*, terbukti mampu meningkatkan kualitas solusi untuk VRPTW [10]. Namun, penelitian ini tidak menangani aspek *split delivery* dan belum mempertimbangkan biaya emisi maupun penalti keterlambatan dalam model optimasinya.

Jika dibandingkan dengan ketiga penelitian di atas, penelitian ini memiliki keunikan dan keunggulan tersendiri. Fokus utama penelitian ini adalah pada *Split Delivery Vehicle Routing Problem* dengan *Time Windows* (SDVRPTW), yang secara eksplisit menggabungkan dua kendala penting dalam logistik ritel: *split delivery* dan *time windows*. Selain itu, algoritma *Improved Ant Colony Optimization* (IACO) yang dikembangkan di sini akan dihibridisasi dengan metode *Tabu Search* (TS) dan *Simulated Annealing* (SA) untuk memperkaya eksplorasi dan eksploitasi solusi, dengan keunikan pembaruan feromon IACO yang disesuaikan berdasarkan solusi yang diterima oleh *Simulated Annealing*. Penelitian ini juga mengintegrasikan fungsi objektif multi-biaya, meliputi biaya distribusi, biaya emisi karbon, dan biaya penalti keterlambatan, sehingga memberikan pendekatan yang lebih realistis dan relevan untuk skenario distribusi modern seperti pada kasus Alfamart.

Melalui rancangan dan implementasi algoritma IACO hibrida ini, serta analisis

kinerjanya pada kasus distribusi ritel, penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan solusi rute distribusi yang optimal, meminimalkan total biaya (distribusi, emisi karbon, dan penalti keterlambatan), dan memenuhi kendala *split delivery* serta *time windows*. Diharapkan penelitian ini akan memberikan manfaat signifikan bagi distribusi ritel dalam bentuk rekomendasi rute distribusi yang efisien, berpotensi mengurangi total biaya operasional, dan meningkatkan ketepatan waktu pengiriman. Bagi peneliti dan akademisi, penelitian ini diharapkan dapat menjadi kontribusi ilmiah dalam pengembangan dan penerapan algoritma metaheuristik hibrida untuk masalah optimasi logistik yang kompleks.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, rumusan masalah yang akan dikaji dalam tugas akhir ini yaitu :

1. Bagaimana penerapan *Improved Ant Colony Optimization* (IACO) dalam menyelesaikan *Split Delivery Vehicle Routing Problem* (SDVRP) dengan *time windows*?
2. Bagaimana keefektifan IACO dalam mengoptimalkan rute dibandingkan dengan ACO standar?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memastikan penelitian ini terfokus, batasan masalah ditentukan sebagai berikut:

1. Data yang digunakan untuk menguji algoritma adalah dataset *benchmark Solomon* dan data Alfamart dengan lokasi gerai yang diperoleh melalui Google Maps secara geodesik, permintaan setiap gerai diasumsikan.
2. Penelitian ini terbatas pada minimarket Alfamart yang menerima pasokan barang dari Gudang Alfamart Bandung 1 dan tidak mencakup distribusi barang di wilayah lain.
3. Model mempertimbangkan biaya distribusi, emisi karbon, dan penalti keterlambatan, tetapi tidak mencakup aspek eksternal seperti kondisi cuaca.
4. Kondisi jalan pada masalah ini tidak dipertimbangkan
5. Penelitian ini hanya membandingkan performa algoritma yang diusulkan dengan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) standar. Metode-metode optimasi lain

tidak diuji dan dibandingkan dalam penelitian ini.

6. Penelitian ini hanya berfokus pada tiga kategori utama barang dalam industri ritel, yaitu makanan, minuman, dan non-makanan yang dapat dikemas dalam bentuk box kontainer. Kategori barang lain di luar ketiga kategori ini tidak dianalisis dalam penelitian ini.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Menerapkan *Improved Ant Colony Optimization* (IACO) pada masalah SDVRPTW.
2. Menguji efektivitas IACO dalam mengoptimalkan rute dibandingkan dengan ACO standar.

1.5 Metode Penelitian

1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan teori mengenai algoritma *ant colony optimization*, *tabu search* dan *simulated annealing* dalam masalah SDVRPTW yang diperoleh dari berbagai sumber berupa buku, jurnal, artikel dan sebagainya.

2. Pengumpulan Data

Pada tahap pengumpulan data, penulis mengumpulkan data yang berkaitan dengan penelitian dan mencakup parameter yang dibutuhkan dalam perhitungan. Dalam penelitian ini terdapat dua data yang digunakan dalam menguji algoritma, yaitu data VRPTW dari Solomon yang dapat diakses pada *website* SINTEF dan data Alfamart. Data Alfamart yang dibutuhkan yaitu lokasi pusat distribusi, gerai yang menjadi sasaran distribusi, jarak antar lokasi gerai dan pusat distribusi yang dapat diperoleh dengan Google Maps, permintaan barang, dan data lainnya.

3. Analisis

Pada tahap ini dilakukan analisis dari data yang telah diperoleh untuk menerapkan algoritma *improved ant colony optimization* (IACO) dan ACO dalam proses pendistribusian barang dengan memperhatikan biaya distribusi, biaya emisi karbon dan biaya penalti keterlambatan. Dataset Solomon yang digunakan untuk simulasi terdiri dari data C (*Cluster*), R (*Random*) dan RC (*Random Cluster*) dengan dua tipe yaitu Tipe 1 dan Tipe 2. Kedua data baik dataset Solomon maupun data Alfamart diuji menggunakan algoritma ACO Standar dan IACO kemudian dianalisis selisih atau *improvement* dari kedua algoritma tersebut.

4. Simulasi

Pada tahap ini dilakukan simulasi berdasarkan data yang diperoleh untuk menginterpretasikan hasil penerapan dari algoritma yang digunakan dalam masalah SDVRPTW pada distribusi ritel menggunakan bahasa pemrograman python di Google Colab

1.6 Sistematika Penulisan

Struktur penulisan dalam skripsi ini disusun secara sistematis ke dalam lima bab utama. Bab 1 merupakan bagian Pendahuluan yang memuat enam subbab, meliputi uraian mengenai latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metode yang digunakan, serta penjelasan mengenai sistematika penulisan secara keseluruhan. Bagian ini memberikan dasar kontekstual atas permasalahan yang dikaji dalam penelitian.

Bab 2 menyajikan Landasan Teori yang menjadi fondasi ilmiah dari penelitian. Dalam bab ini, dibahas konsep-konsep penting terkait optimasi dan permasalahan rute kendaraan (*Vehicle Routing Problem* atau VRP), termasuk variannya seperti *Split Delivery Vehicle Routing Problem* (SDVRP) dan VRP dengan batasan waktu layanan (*Time Windows* atau VRPTW). Selain itu, dijelaskan pula berbagai algoritma metaheuristik yang relevan, seperti *Ant Colony Optimization* (ACO), *Tabu Search*, dan *Simulated Annealing*, yang membentuk kerangka teoritis bagi pengembangan algoritma dalam penelitian ini.

Bab 3 berfokus pada pengembangan algoritma *Improve Ant Colony Optimization* (IACO) dalam menyelesaikan permasalahan SDVRPTW. Bab ini memuat penjelasan mengenai formulasi masalah serta tahapan perancangan algoritma IACO yang diusulkan.

Bab 4 berisi Studi Kasus dan Analisis yang bertujuan untuk menguji dan mengevaluasi efektivitas algoritma IACO dalam menyelesaikan kasus nyata dari masalah SDVRPTW. Hasil dari studi ini kemudian dianalisis untuk menilai kinerja algoritma secara mendalam.

Terakhir, Bab 5 memuat Kesimpulan dan Saran yang diperoleh dari seluruh proses penelitian. Kesimpulan mencerminkan temuan utama dari penerapan algoritma IACO, sedangkan saran diberikan sebagai masukan untuk penelitian lanjutan di masa mendatang.