

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Iklim usaha yang tidak menentu saat ini membuat perusahaan berlomba-lomba dalam meningkatkan kualitas usaha yang berorientasi pada pelanggan dan efisiensi biaya. Salah satu bagian penting dalam upaya efisiensi biaya yaitu bagaimana perusahaan mampu memanajemen aspek logistik dengan baik. Menurut Handayani (2011) dalam Prayitno & Fairus (2022), manajemen logistik merupakan pendekatan dalam mengatur alur suatu sistem pada perusahaan yang melibatkan perencanaan, pengadaan, penyimpanan, pendistribusian, dan pemeliharaan dari material/barang. Dalam praktiknya, salah satu bagian dari aspek logistik yang memiliki peran besar dalam mempengaruhi biaya dan kinerja perusahaan adalah distribusi (Riyantara et al., 2025).

Distribusi merupakan upaya yang dilakukan oleh perusahaan dalam memindahkan maupun menyimpan produk mulai dari ketika barang berada di tangan pemasok hingga ke konsumen dalam sebuah rangkaian rantai pasok (Billa et al., 2022). Distribusi juga dapat diartikan sebagai aktivitas pemasaran dalam upaya untuk memperlancar dan mempermudah penyampaian barang dan jasa kepada produsen sesuai dengan yang diperlukan, baik dari segi jenis, jumlah, harga, tempat, dan saat dibutuhkan (James & Nugroho, 2024). Menurut Syukriah et. al. (2022) dalam Riyantara et al. (2025), aspek distribusi dalam dunia logistik memainkan peran yang penting terhadap keberhasilan sistem pasokan dan efisiensi operasional sebuah perusahaan. Sehingga, efisiensi biaya distribusi menjadi hal krusial dan perlu dicapai untuk setiap perusahaan agar dapat menjalankan fungsi operasional perusahaan dengan baik.

Kondisi ini juga sejalan dengan konteks distribusi gas elpiji 3 kg di Kabupaten Gowa, dimana kebutuhan akan energi rumah tangga mengharuskan adanya sistem dan strategi distribusi yang efektif dan efisien. Sistem distribusi yang baik diharapkan tidak hanya membuat penyaluran gas elpiji 3 kg tepat sasaran, tetapi juga mampu menekan biaya distribusi perusahaan. Terlebih lagi, kuota tabung gas elpiji 3 kg di Kabupaten Gowa mengalami peningkatan dari 24,653 menjadi 25,313 tabung pada tahun 2024 (Akbar, 2024). Peningkatan kuota tersebut menunjukkan adanya pertumbuhan kebutuhan gas elpiji 3 kg di Kabupaten Gowa yang harus diimbangi dengan sistem distribusi yang terstruktur agar tidak menimbulkan inefisiensi berupa biaya distribusi yang tinggi. Oleh karena itu, dibutuhkan strategi distribusi yang tidak hanya mempertimbangkan jarak dan jumlah permintaan semata, namun juga mampu mengoptimalkan rute kendaraan agar dalam proses pendistribusian gas elpiji 3 kg berlangsung dengan lebih efektif dan efisien.

Situasi tersebut menjadi tantangan bagi PT Daneswara Energy Utama sebagai salah satu mitra resmi Pertamina yang bertugas sebagai agen/depot dalam pendistribusian gas elpiji 3 kg ke beberapa pangkalan di Kabupaten Gowa. Pada proses distribusinya, setelah tabung gas elpiji yang kosong telah dilakukan pengisian

ulang di Stasiun Pengisian dan Pengangkutan Bulk Elpiji (SPPBE), tabung-tabung tersebut kemudian didistribusikan ke pangkalan-pangkalan terdekat. Distribusi dilakukan berdasarkan lokasi pangkalan yang telah dibagi ke dalam beberapa wilayah pengantaran, yakni daerah Limbung, Jalan Malino, Sungguminasa, Bili-Bili, Pattalassang, Tompobulu, Malino Kota, Sapaya, Paccele kang, Malino II dan Biringbulu. Namun, permasalahan yang saat ini dihadapi oleh perusahaan adalah biaya distribusi yang masih belum terukur secara akurat. Meskipun perusahaan telah membagi rute distribusi gas elpiji 3 kg berdasarkan wilayah, urutan pangkalan yang dikunjungi dalam setiap wilayah masih disusun secara manual tanpa analisis optimasi jarak maupun biaya. Oleh karena itu, dibutuhkan metode optimasi yang lebih komprehensif dengan pendekatan metaheuristik agar proses distribusi dapat berlangsung lebih efektif dan efisien.

Secara sederhana, permasalahan terkait dengan optimasi dalam penyusunan rute kendaraan untuk proses distribusi dikenal dengan *Vehicle Routing Problem* (VRP). VRP didefinisikan sebagai pekerjaan dalam merancang rute distribusi untuk memenuhi kebutuhan pelanggan dalam sistem rantai pasok perusahaan. Pada perkembangannya, jenis dan metode dalam penyelesaian VRP sangat bervariasi (Mafaza & Muslim, 2023). Pada penelitian ini, jenis VRP yang akan diselesaikan terkait dengan *Capacitated Period Vehicle Routing Problem* (CVRP). Menurut Hidayatullah (2019) dalam Patmawati & Nugroho (2022), CVRP merupakan permasalahan VRP yang menjadikan keterbatasan kapasitas kendaraan sebagai pembatas kendala (*constraint*) pada setiap kendaraan yang mendistribusikan produk homogen kepada pelanggan. Masalah *routing* ini termasuk dalam kategori *NP-Hard* yang memerlukan perhitungan mendalam dan rumit dalam penyelesaiannya (Setyati & Juniwati, 2022). Permasalahan dalam penentuan rute distribusi hingga mencapai tingkat optimal dapat menjadi sebuah tantangan yang kompleks, terutama jika melibatkan jaringan distribusi yang luas dan mencakup banyak pelanggan. Oleh karena itu, algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dapat diterapkan dalam optimasi rute distribusi sebagaimana disampaikan oleh Ghosh (2016) dalam Gusti & Aryanny (2023).

Ant Colony Optimization (ACO) merupakan algoritma yang prosesnya terinspirasi dari perilaku koloni semut saat mencari makanan. Pada saat mencari makanan, koloni semut akan meninggalkan jejak yang disebut sebagai feromon (Sianturi et al., 2021). Feromon merupakan zat kimia yang bersumber dari kelenjar endoktrin yang digunakan sebagai pengenalan bagi sesama jenis dari kelompok hewan tertentu serta membantu dalam proses reproduksi. Proses peninggalan feromon (*stigmergy*) merupakan sebuah proses yang dilakukan oleh koloni semut dalam memodifikasi lingkungan sekitar dengan tujuan untuk mengingat jalan pulang kembali ke sarang serta sebagai sarana dalam berkomunikasi dengan koloninya (Manuputty et al., 2021).

Secara alami, semut dapat menemukan rute terpendek dalam mencari makanan dari sarang ke sumber makanan memanfaatkan jejak kaki pada rute yang dilalui. Semakin banyak jumlah semut yang melewati sebuah rute, semakin jelas pula jejak kaki yang ditinggalkan. Hal tersebut berefek pada rute perjalanan semut menuju

sumber makanan, dimana rute yang banyak dilalui oleh semut semakin lama akan semakin bertambah padat atau bahkan memicu semua semut melewati rute tersebut. Begitu pun sebaliknya, rute yang dilewati oleh semut dengan jumlah sedikit semakin lama akan semakin berkurang kepadatannya atau bahkan tidak ada semut yang akan melewati rute tersebut (Manuputty et al., 2021).

Pada penelitian ini pencarian solusi optimal untuk rute distribusi gas elpiji 3 kg dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab versi R2024a. Menurut Pratiwi et. al. (2023) dalam Nasution & Yahfizham (2024), Matrix Laboratory (Matlab) merupakan *software* pemrograman yang digunakan dalam pemecahan masalah mulai dari analisis data, simulasi, visualisasi, pengembangan algoritma, serta pengambilan multi keputusan. Penggunaan *software* Matlab dilakukan dengan alasan kompleksitas yang terbentuk mengingat banyaknya pangkalan yang akan dituju dari SPPBE oleh beberapa kendaraan. Selain itu, algoritma ACO bekerja dengan memanfaatkan iterasi untuk memperoleh rute yang paling optimal, sehingga penggunaan *software* Matlab memungkinkan adanya efisiensi waktu dari segi pengolahan data penelitian.

Berdasarkan permasalahan dan data yang ada, penulis ingin menganalisis dan melakukan optimasi *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) pada rute distribusi gas elpiji 3 kg menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) di PT Daneswara Energy Utama. Penerapan algoritma ACO dilakukan karena menurut Susilo & Efendi (2011) dalam Sianturi et al. (2021), algoritma ini dapat menghasilkan alternatif solusi yang hampir optimal berkat nilai parameter yang ada. Di sisi lain, menurut Seyyedabbasi & Kiani (2020) dalam Ramdan & Hartati (2025), algoritma ini menggunakan pemilihan jalur probabilistik berbasis feromon yang mana aspek tersebut dapat digunakan dalam masalah *routing* dengan multi variabel. Pada penelitian ini, setelah diperoleh rute optimum dengan menggunakan algoritma ACO, kemudian dilakukan penghitungan biaya distribusi berdasarkan rute optimum yang terbentuk. Selanjutnya, biaya distribusi optimum yang diperoleh dibandingkan dengan biaya distribusi berdasarkan rute eksisting sehingga diperoleh persentase efisiensi biaya distribusi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka penelitian ini memiliki rumusan masalah yaitu:

- Bagaimana penerapan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dalam menyelesaikan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) pada distribusi gas elpiji 3 kg di PT Daneswara Energy Utama?
- Bagaimana perbandingan rute distribusi eksisting perusahaan dengan rute hasil optimasi menggunakan ACO berdasarkan jarak tempuh dan biaya BBM?
- Seberapa besar perbandingan tingkat efisiensi jarak dan biaya BBM yang diperoleh dengan menerapkan metode ACO dengan rute yang digunakan oleh perusahaan saat ini?

- d. Bagaimana rute optimal yang terbentuk dari penerapan algoritma ACO dalam menyelesaikan CVRP pada distribusi gas elpiji 3 kg?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan dari penelitian ini yaitu:

- a. Menerapkan algoritma ACO dalam menyelesaikan CVRP pada distribusi gas elpiji 3 kg di PT Daneswara Energy Utama.
- b. Menganalisis dan membandingkan rute distribusi perusahaan dengan rute hasil optimasi menggunakan ACO berdasarkan jarak tempuh dan biaya BBM.
- c. Mengukur perbandingan tingkat efisiensi jarak dan biaya BBM yang diperoleh dengan menerapkan metode ACO dengan rute yang digunakan oleh perusahaan saat ini.
- d. Menentukan rute optimal berdasarkan penerapan algoritma ACO dalam menyelesaikan CVRP pada distribusi gas elpiji 3 kg.

1.4 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas tidak meluas, maka ditarik batasan-batasan masalah yang akan diteliti, meliputi:

- a. Wilayah yang menjadi objek permasalahan yaitu Kabupaten Gowa.
- b. Permintaan pelanggan merupakan jumlah rata-rata dari permintaan yang biasa dilakukan untuk setiap pangkalan selama 2 bulan terakhir.
- c. Optimasi rute yang dihasilkan tidak memperhatikan tingkat kemacetan dan kondisi operasional yang dilalui kendaraan.
- d. Fungsi tujuan pada penelitian ini difokuskan pada meminimasi jarak tempuh. Biaya BBM dihitung sebagai fungsi turunan dari jarak sebagai parameter evaluasi terhadap solusi optimasi yang diperoleh.
- e. Perhitungan jarak antar titik (depot dan pangkalan) tidak mempertimbangkan kondisi aktual jalan yang dilalui (jalan satu arah atau rute memutar).
- f. Penelitian ini mengadopsi konsep *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) dengan pendekatan *multi-day* yang berfokus pada kapasitas kendaraan sebagai *constraint* yang dalam proses distribusinya, setiap pelanggan hanya dikunjungi satu kali selama horizon waktu dan tanpa memperhatikan frekuensi kunjungan serta pola permintaan pelanggan.
- g. Setiap kendaraan akan kembali ke SPPBE pada setiap akhir hari untuk melakukan pengisian ulang gas elpiji 3 kg sebelum melanjutkan pengantaran keesokan harinya.
- h. Nilai konsumsi BBM yang digunakan dalam penelitian ini merupakan nilai pendekatan dari data perusahaan dan tidak mencerminkan konsumsi teknis kendaraan.
- i. Depot hanya menerima layanan pengisian ulang gas elpiji 3 kg sebanyak satu kali per hari untuk setiap kendaraan.

- j. Aspek waktu pelayanan (*time window*) diabaikan dalam penelitian ini yang disebabkan oleh jam operasional pelanggan relatif fleksibel dan tidak menjadi fokus optimasi.
- k. Rute distribusi disusun secara harian tanpa keterkaitan antar hari, sedangkan kinerja distribusi dievaluasi berdasarkan akumulasi hasil seluruh hari.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini yaitu ditujukan bagi beberapa pihak sebagai berikut:

a. Bagi Penulis

Memperdalam pemahaman terkait dengan masalah dan implementasi keilmuan Teknik Industri secara langsung di dunia industri, secara khusus dalam menentukan rute distribusi optimal dalam pendistribusian barang, dalam hal ini gas elpiji 3 kg menggunakan algoritma *ant colony optimization*.

b. Bagi Perusahaan

Hasil penelitian ini berupa rute distribusi paling optimal dalam pendistribusian gas elpiji 3 kg yang dapat memberikan manfaat berupa minimasi jarak pengiriman yang berefek pada berkurangnya biaya distribusi.

c. Bagi Akademik

Adanya penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dan landasan dalam melakukan penelitian terkait dengan strategi dalam penentuan rute distribusi optimal dalam pendistribusian barang kedepannya sehingga memungkinkan dilakukan penelitian lanjut dari penelitian ini. Selain itu, diharapkan juga dapat memberikan kontribusi keilmuan bagi civitas akademika dalam bidang Teknik Industri terkhusus mengenai Optimasi *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) Pada Rute Pendistribusian Gas Elpiji 3 Kg Menggunakan Algoritma *Ant Colony Optimization*: Studi Kasus Pada PT Daneswara Energy Utama.

1.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan bagian penting dalam penelitian yang berisi kajian terhadap hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian. Berikut merupakan beberapa penelitian terdahulu terkait dengan penyelesaian *Vehicle Routing Problem* (VRP) menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dan beberapa algoritma metaheuristik lainnya:

Tabel 1. Penelitian terdahulu

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Masalah dan Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1.	(Arimbawa et al., 2025)	<i>Application of Ant Colony Optimization on CVRP for Waste Collection Route Optimization in Marga Village</i>	CVRP dengan <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO)	Penelitian dilakukan terhadap rute pengangkutan sampah di Desa Marga, Kabupaten Tabanan, Bali dimana terdapat pemborosan biaya serta inefisiensi rute. Optimasi rute dilakukan terhadap dua lokasi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yaitu Banjar Lebah dan Banjar Beng dengan mempertimbangkan dua <i>constraint</i> yaitu kapasitas kendaraan serta volume sampah tiap titik. Hasil optimasi dengan menggunakan algoritma ACO menunjukkan bahwa penerapan algoritma dengan total 10 iterasi mampu menghasilkan rute yang efisien dengan total jarak untuk TPA Banjar Lebah yaitu 2810.53 m dengan total volume sampah sebanyak 2000 m^3 . Sementara itu, untuk rute tujuan TPA Banjar Beng diperoleh total jarak sebesar 2012.92 m serta total volume sampah sebanyak 1270 m^3 .
2.	(Patmawati & Nugroho, 2022)	Optimalisasi Rute Distribusi Matras Pada Penyelesaian <i>Capacitated Vehicle Routing Problem</i> (CVRP) dengan Metode	CVRP dengan algoritma genetika	Penelitian dilakukan terhadap proses pendistribusian matras di PT SMI. Proses distribusi matras dilakukan ke pelanggan yang tersebar di Jawa Tengah, Jawa Barat, hingga Yogyakarta. Penerapan algoritma genetika pada penyelesaian CVRP di perusahaan berhasil memperpendek jarak tempuh terhadap jarak tempuh eksisting. Pada rute eksisting diperoleh total jarak sebesar 2690.13 km. Sementara itu, hasil optimasi menunjukkan nilai yang lebih rendah dengan total jarak sebesar 2572.48 km, atau selisih 117.65 km dari rute eksisting. Hal tersebut menunjukkan bahwa

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Masalah dan Metode Penelitian	Hasil Penelitian
		Algoritma Genetika		penerapan algoritma genetika dalam penyelesaian CVRP mampu menghasilkan 5 rute yang dibagi menjadi 5 hari penyelesaian dengan nilai efisiensi sebesar 4.62%.
3.	(Ary, 2022)	Optimasi <i>Vehicle Routing Problem</i> Pada Rute Pendistribusian Menggunakan Metode <i>Ant Colony Optimization</i>	VRP dengan algoritma <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO)	Penelitian dilakukan terhadap perusahaan jasa pengiriman barang JNE atau PT Tiki Jalur Nugraha Ekakurir yang berlokasi di Kota Bandung. Hasil optimasi rute distribusi menggunakan algoritma <i>ant colony optimization</i> menghasilkan rute terbaik dengan urutan A – C – E – B – D – F – A dengan jarak rute distribusi terdekat yang dihasilkan yaitu 18.9 km.
4.	(Kinanti & Aprilia, 2025)	Optimasi <i>Vehicle Routing Problem</i> (VRP) Terhadap Rute Pengangkutan Sampah di Kota Medan dengan Algoritma <i>Ant Colony Optimization</i> .	VRP dengan algoritma <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO)	Penelitian dilakukan terhadap sistem pengangkutan sampah di Kota Medan yang bermula dari Tempat Pembuangan Sementara (TPS) menuju ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Analisis dilakukan terhadap 5 wilayah dimana untuk wilayah 1, dilakukan perhitungan secara manual sementara sisanya memanfaatkan simulasi komputasi Python. Hasil pengolahan data menunjukkan rute optimal yang dihasilkan berdasarkan jarak tempuh masing-masing wilayah yaitu, wilayah 1 sejauh 17.05 km, wilayah 2 sejauh 25.25 km, wilayah 3 sejauh 16.995 km, wilayah 4 sejauh 8 km, wilayah 5 sejauh 14.83 km, dan wilayah 6 sejauh 11.5 km.
5.	(Arifin & Liputra, 2023)	Pemecahan <i>Asymmetric Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows</i> (ACVRPTW)	ACVRPTW dengan algoritma <i>Sequential Insertion</i> (SI) dan <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO)	Penelitian dilakukan untuk menentukan rute pengiriman optimum pada sebuah industri konveksi pakaian untuk meminimumkan total biaya pengiriman. Penelitian ini mempertimbangkan aspek kapasitas angkut kendaraan, batasan waktu, serta jarak bolak-balik antar pelanggan yang tidak simetris dengan algoritma SI dan ACO. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma ACO menghasilkan alternatif solusi yang lebih baik dibanding dengan algoritma SI.

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Masalah dan Metode Penelitian	Hasil Penelitian
		dengan Algoritma <i>Sequential Insertion</i> (SI) dan <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO)		Pada algoritma ACO, total biaya pengiriman diperoleh sebesar Rp278,946, sedangkan algoritma SI senilai Rp280,536. Jika dibandingkan dengan biaya pengiriman eksisting, algoritma ACO dan SI secara berurutan mampu menurunkan biaya dengan persentase sebesar 82.46% dan 82.36%. Lebih lanjut, ditinjau dari perbandingan total waktu pengiriman, algoritma ACO secara berturut-turut mampu mempercepat waktu pengiriman sebesar 14.05% untuk kendaraan 1 dan 19.94% untuk kendaraan 2. Sedangkan pada algoritma SI, efisiensi waktu pengiriman berada pada angka 8.47% untuk kendaraan 1 dan 19.94% untuk kendaraan 2. Berdasarkan penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa algoritma ACO mampu menghasilkan solusi yang lebih baik dibandingkan dengan algoritma SI dan metode eksisting.
6.	(Syukriah et al., 2022)	Perancangan Rute Distribusi Sirup dengan Menggunakan Metode Algoritma <i>Ant Colony Optimization</i> di UD. Sirup Cap Bunga Padi Bireuen	VRP dengan algoritma <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO)	Penelitian ini dilakukan untuk menentukan rute optimal pada pengantaran sirup di UD. Sirup Cap Bunga Padi. Pada penelitian ini, terdapat 17 lokasi pelanggan di wilayah Bireuen dan 15 lokasi pelanggan di wilayah Lhokseumawe yang akan dituju dengan masing-masing 1 kendaraan menggunakan algoritma ACO. Pada penelitian ini, <i>constraint</i> berupa kapasitas kendaraan tidak diperhatikan sehingga hanya fokus pada menemukan rute terpendek yang berakhir pada minimasi biaya BBM. Berdasarkan penelitian, diperoleh rute optimal untuk daerah Bireuen dan Lhokseumawe secara berurutan dengan jarak 105.3 km dan 122.5 km. Nilai tersebut lebih efisien 25.25 km dan 21.2 km dari rute eksisting. Sementara itu, jika ditinjau dari biaya BBM, untuk rute pada wilayah Bireuen dan Lhokseumawe secara berurutan sejumlah Rp1,721,585 dan Rp1,761,875. Biaya BBM tersebut lebih sedikit dibandingkan sebelumnya dengan selisih Rp364,871 dan Rp270,300.

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Masalah dan Metode Penelitian	Hasil Penelitian
7.	(Chai & Johar, 2024)	<i>Optimizing Blood Transport Costs: Ant Colony Optimization Method for Vehicle Routing Problem with Time Windows</i>	VRPTW dengan algoritma <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO)	Penelitian ini dilakukan untuk mengoptimasi biaya transportasi pada distribusi darah dengan mempertimbangkan waktu. Data pada penelitian ini menggunakan Solomon VRPTW <i>benchmark</i> dengan membandingkan 3 skenario berdasarkan tipe distribusi data, yaitu <i>clustered</i> , <i>random</i> , dan <i>random-clustered</i> . Hasil penelitian menunjukkan bahwa skenario dengan tipe data <i>clustered</i> memiliki biaya distribusi paling rendah dengan nilai 6925.35. Sementara itu, tipe data <i>random-clustered</i> dan <i>random</i> secara berurutan memiliki biaya distribusi sebesar 8752.27 dan 12185.71. Perbedaan biaya distribusi tersebut diakibatkan karena pemberian perilaku tipe data pada setiap skenario. Tipe data <i>clustered</i> cenderung saling berdekatan satu sama lain sehingga menghasilkan biaya distribusi yang paling rendah dibandingkan skenario <i>random</i> dan <i>clustered-random</i> . Berdasarkan penelitian tersebut, dapat disimpulkan juga bahwa distribusi tempat yang dituju sangat mempengaruhi efisiensi rute dan biaya.

Pada tabel 1 di atas, terdapat beberapa penelitian terdahulu yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan terkait dengan VRP dan variannya menggunakan beberapa algoritma, terkhusus algoritma ACO. Penelitian yang dilakukan oleh (Arimbawa et al., 2025) mampu menyelesaikan permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) menggunakan algoritma ACO pada kasus pengangkutan sampah di Kabupaten Tabanan, Bali. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa implementasi ACO dalam menyelesaikan CVRP dapat meminimasi jarak tempuh distribusi. Hal tersebut juga sejalan dengan penelitian (Patmawati & Nugroho, 2022) dalam menyelesaikan CVRP pada distribusi matras di PT SMI. Meskipun algoritma yang digunakan merupakan algoritma genetika yang berbeda dengan fokus penelitian penulis, namun yang dapat ditekankan yaitu penyelesaian CVRP dapat dilakukan dalam periode hari. Pada penelitian ini, distribusi matras dilakukan dalam 5 hari penyelesaian dengan 5 rute yang terbentuk dan mampu mengefisienkan jarak tempuh hingga 4.62%. Lebih lanjut, penelitian yang dilakukan oleh Ary (2022), implementasi algoritma ACO dalam penentuan rute optimal pada proses distribusi barang pada agen JNE di Bandung mampu memperoleh rute optimal. Penelitian yang dilakukan oleh Syukriah et al. (2022) juga menunjukkan bahwa implementasi ACO mampu menghemat biaya BBM

pada proses distribusi sirup di wilayah Bireuen dan Lhokseumawe. Penghematan biaya BBM yang diperoleh yaitu 17.48% pada wilayah Bireuen dan 13.30% di wilayah Lhokseumawe. Sementara itu, penelitian yang dilakukan oleh Chai & Johar (2024) menyelesaikan permasalahan VRPTW menggunakan algoritma ACO dengan membandingkan 3 skenario berdasarkan tipe distribusi data, yaitu *clustered*, *random* dan *random-clustered*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tipe data *clustered* memiliki biaya distribusi paling rendah, kemudian disusul oleh tipe data *random-clustered* dan *random* secara berurutan. Lalu, penelitian yang dilakukan oleh Kinanti & Aprilia (2025) juga memperoleh hasil yang sama dengan penelitian sebelumnya dimana penerapan ACO mampu memperoleh kombinasi rute yang efisien. Penelitian ini membagi 5 wilayah pada proses pengangkutan sampah di Kota Medan dan menerapkan algoritma ACO untuk memperoleh rute optimal untuk masing-masing wilayah. Kemudian, penelitian yang dilakukan oleh Arifin & Liputra (2023) mencoba untuk membandingkan algoritma ACO dan *Sequential Insertion* (SI) terhadap metode eksisting dalam menyelesaikan permasalahan ACVRPTW. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa kedua algoritma yang digunakan mampu memperoleh hasil yang lebih baik dibandingkan metode eksisting. Meskipun kedua algoritma memperoleh hasil yang lebih baik terhadap metode eksisting, penerapan algoritma ACO memiliki efisiensi yang sedikit lebih baik dibandingkan algoritma SI dari segi efisiensi jarak dengan selisih penghematan 5.58% maupun total biaya pengiriman dengan selisih 0.10%.

Berdasarkan kajian terhadap beberapa penelitian terdahulu, sebagian besar penelitian yang menerapkan algoritma ACO pada permasalahan VRP berfokus pada penyelesaian masalah dengan membandingkan hasil antar algoritma, baik itu antar algoritma metaheuristik maupun dengan metode eksisting yang digunakan oleh perusahaan. Kemudian, penelitian terdahulu secara umum tidak memaparkan dengan rinci pengaruh nilai parameter ACO, terkhusus parameter α , β , dan ρ pada proses pencarian solusi dan hasil optimasi rute. Meskipun demikian, penjelasan terkait dengan variasi nilai parameter bukan merupakan hal spesifik yang dibahas dalam penelitian ini. Pemberian nilai parameter dalam penelitian ini dimaksudkan untuk memperoleh rute distribusi yang paling optimal, baik dari segi jarak maupun dari biaya BBM pada kasus distribusi gas elpiji 3 kg pada PT Daneswara Energy Utama. Oleh karena itu, penelitian ini akan dilakukan untuk menerapkan algoritma ACO untuk menyelesaikan permasalahan CVRP dengan berfokus pada hasil optimasi rute yang dapat digunakan sebagai acuan dalam distribusi gas elpiji bagi perusahaan.

BAB II METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung ke PT Daneswara Energy Utama yang terletak di Jalan Macanda II, Kelurahan Romangpolong, Kecamatan Somba Opu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. Selain itu, dilakukan juga wawancara terhadap manajer dan staf pegawai untuk memperoleh data terkait penelitian, meliputi:

- a. Lokasi dan jumlah pangkalan yang menjadi tujuan;
- b. Jumlah kendaraan dan kapasitas angkut kendaraan;
- c. Jumlah permintaan rata-rata untuk setiap pangkalan;
- d. Tipe kendaraan yang digunakan; serta
- e. Konsumsi rata-rata BBM/liter dari kendaraan yang digunakan.

2.2 Teknik Pengolahan Data dan Analisis

2.3.1 Rancang Bangun *Pseudocode* Matlab

Pseudocode merupakan suatu penjabaran atau penjelasan yang mencakup struktur lengkap dari suatu program atau algoritma yang menjelaskan cara kerja suatu algoritma kepada pembaca (Avelino et al., 2022). Sedangkan, menurut Nuriani (2015) dalam Fuadi et al. (2021), *pseudocode* merupakan gambaran dari algoritma pemrograman komputer yang menggunakan struktur sederhana dari bahasa pemrograman yang biasanya ditulis berupa *variable* dan *function* dengan tujuan agar mudah dibaca oleh orang secara umum. Lebih lanjut, *pseudocode* berfungsi sebagai petunjuk bagi penulis dari segi pemahaman alur dan logika dalam pemecahan masalah sebelum dikonversi menjadi *script* bahasa pemrograman (Maria et al., 2023).

Pada penelitian ini, *pseudocode* Matlab dirancang berdasarkan algoritma ACO. Persamaan-persamaan yang terdapat pada algoritma tersebut akan dimasukkan dan dibangun sesuai dengan tahapan-tahapan dalam penerapan algoritma, mulai dari input nilai parameter, konstruksi rute semut, dan pembaruan feromon. Selain penerapan algoritma, turut disertakan pula perhitungan dalam mencari *cost of distribution* yang optimal dan analisis konvergensi untuk mengidentifikasi pada iterasi ke berapa algoritma bersifat konvergen.

2.3.2 Nilai Parameter ACO

Parameter untuk implementasi algoritma ACO terdiri dari beberapa parameter, meliputi jumlah feromon pada sisi (τ), pengendali intensitas jejak feromon (α), pengendali jarak (visibilitas) (β), tingkat penguapan (evaporasi) feromon (ρ), konstanta deposit feromon (Q), jumlah semut (m), dan jumlah iterasi (t_{max}). Pada umumnya, penentuan nilai untuk parameter tersebut bersifat eksperimental sehingga dalam penelitian ini, penulis menggunakan 3 skenario parameter ACO dengan variasi nilai α , β , dan ρ yang berbeda. Adapun 3 skenario yang digunakan yaitu sebagai berikut:

Tabel 2. Skenario parameter ACO

Parameter	Skenario		
	1	2	3
α	1.0	0.5	2.0
β	1.0	0.5	0.5
ρ	0.5	0.5	0.3

Adapun parameter lainnya, penulis menetapkan nilai yang sama untuk setiap skenario, yaitu sebagai berikut:

Tabel 3. Parameter tetap ACO

No.	Parameter	Keterangan	Nilai Parameter
1.	τ	Jumlah feromon awal pada sisi	0.5
2.	m	Jumlah semut	93
3.	Q	Konstanta positif (deposit feromon)	1
4.	t_{max}	Jumlah iterasi	200

2.3.3 Implementasi Model Matematika

Implementasi model matematika memberikan gambaran secara jelas terkait dengan tujuan optimasi serta kendala yang membatasi untuk mencapai tujuan penelitian dalam menyelesaikan kasus CVRP di perusahaan. Adapun secara rinci sebagai berikut:

a. Fungsi tujuan (*Objective Function*)

Fungsi tujuan dari model CVRP pada penelitian ini adalah meminimalkan total jarak tempuh seluruh kendaraan selama seluruh periode distribusi.

$$\min Z = \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V, j \neq i} d_{ij} x_{ij}^{k,t} \quad (1)$$

b. Kendala (*Constraint*)

1) Setiap pelanggan hanya dikunjungi sekali sepanjang seluruh horizon waktu oleh satu kendaraan. Kendala ini didefinisikan sebagai berikut:

$$\sum_{t \in T} \sum_{k \in K} \sum_{j \in V, j \neq i} x_{ij}^{k,t} = 1, \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (2)$$

2) Rute kendaraan dimulai dari depot dan akan berakhir ke depot. Kendala ini dijabarkan sebagai berikut:

$$\sum_{j \in V} x_{0j}^{k,t} = y_k^t, \quad \forall k \in K, \quad \forall t \in T \quad (3)$$

$$\sum_{j \in V} x_{i0}^{k,t} = y_k^t, \quad \forall k \in K, \quad \forall t \in T \quad (4)$$

3) Setiap kendaraan memiliki kapasitas sebesar Q_k , sehingga total permintaan pelanggan yang harus dipenuhi dalam satu rute oleh setiap kendaraan pada hari ke- t tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan. Kendala ini definisikan sebagai berikut:

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in V} q_i \cdot x_{ij}^{k,t} \leq Q_k, \quad \forall k \in K, \quad \forall t \in T \quad (5)$$

4) Jumlah kendaraan yang digunakan per hari tidak boleh melebihi jumlah kendaraan total. Kendala ini dijabarkan sebagai berikut:

$$\sum_{k \in K} y_k^t \leq m, \quad \forall t \in T \quad (6)$$

c. Variabel keputusan

$$x_{ij}^{k,t} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j \in V, \quad \forall k \in K, \quad \forall t \in T \quad (7)$$

$$y_k^t \in \{0,1\}, \quad \forall k \in K, \quad \forall t \in T \quad (8)$$

Keterangan:

- V = himpunan simpul $\{0,1,2,\dots,n\}$, dengan 0 sebagai depot dan 1, ..., n sebagai pelanggan
 K = himpunan kendaraan $\{0,1,2,\dots,K\}$
 T = himpunan hari distribusi $\{0,1,2,\dots,H\}$
 i,j = indeks simpul
 k = indeks kendaraan
 t = indeks hari distribusi
 d_{ij} = jarak dari simpul i ke simpul j
 q_i = permintaan pelanggan i
 Q_k = kapasitas kendaraan k
 m = jumlah kendaraan per hari

2.3.4 Penerapan Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO)

Menurut Rachmawati & Yosmar (2025) dalam Kinanti & Aprilia (2025), penerapan algoritma ACO terbagi menjadi dua fase, yaitu konstruksi rute semut dan pembaruan feromon. Pada tahap konstruksi rute semut, seekor semut ke- k yang posisinya berada pada simpul i bergerak menuju ke simpul j dengan mengimplementasi aturan transisi. Pada prosesnya, terdapat dua nilai utama yang terbentuk yaitu τ_{ij} yang merupakan jumlah feromon pada sisi dari simpul i ke j , dan η_{ij} yang merepresentasikan nilai visibilitas antar simpul.

Perhitungan probabilitas kunjungan semut ke- k dari simpul i ke simpul j disimbolkan dengan $P_{i,j}^{(k)}$ yang lebih rinci dirumuskan pada persamaan 9 berikut (Kinanti & Aprilia, 2025):

$$P_{i,j}^{(k)} = \left\{ \frac{(\tau_{i,j})^\alpha (\eta_{i,j})^\beta}{\sum_{j \in M_i^{(k)}} (\tau_{i,j})^\alpha (\eta_{i,j})^\beta} \right\} \quad (9)$$

Dimana:

- τ_{ij} : jumlah feromon pada sisi
 η_{ij} : merepresentasikan visibilitas (dengan d_{ij} , merupakan jarak dari simpul i ke simpul j)
 $M_i^{(k)}$: himpunan simpul yang telah dikunjungi semut ke- k yang sedang berada pada simpul i
 α : parameter pengendali intensitas jejak feromon ($\alpha > 0$)
 β : parameter pengendali jarak ($\beta > 0$)

Nilai visibilitas η_{ij} diperoleh dengan membagi nilai 1 dengan jarak dari simpul i ke simpul j (d_{ij}) yang dirumuskan dengan persamaan 10 berikut:

$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}} \quad (10)$$

Setelah proses perhitungan probabilitas untuk simpul yang akan dikunjungi, kemudian dilakukan perhitungan probabilitas kumulatif sesuai dengan persamaan 11 berikut:

$$q_k = q_{k-1} + P_{ij} \quad (11)$$

Dimana:

- q_k : probabilitas kumulatif, untuk nilai $k = (1, 2, 3, \dots, n)$
 P_{ij} : probabilitas kunjungan semut dari simpul i ke simpul j

Kemudian, dilakukan pemilihan bilangan acak (r) menggunakan *software* Matlab yang nilainya berada pada rentang $0 - 1$. Pemilihan simpul yang akan menjadi tujuan berikutnya jika memenuhi persamaan 12 berikut:

$$q_{k-1} < r < q_k \quad (12)$$

Setelah menyelesaikan tahap konstruksi semut, kemudian dilanjutkan dengan tahap pembaruan feromon. Tahap ini merupakan tahap yang krusial karena berperan penting terhadap penentuan solusi optimal. Pembaruan feromon terbagi atas dua, yaitu pembaruan feromon lokal dan global. Pembaruan feromon lokal dilakukan setiap kali semut melewati simpul, sehingga jumlah feromon akan berubah berdasarkan persamaan 13 berikut (Kinanti & Aprilia, 2025):

$$\tau_{i,j} \leftarrow (1 - \rho)\tau_{i,j} + \rho\tau_0 \quad (13)$$

Dimana:

- $\tau_{i,j}$: jumlah feromon pada sisi (i,j)
 ρ : tingkat penguapan (evaporasi) feromon ($0 < \rho < 1$)
 τ_0 : nilai feromon awal pada sisi (i,j)

Setelah pembaruan feromon lokal dilakukan kemudian dilanjutkan dengan pembaruan feromon global yang dilakukan sesuai dengan persamaan 14 berikut:

$$\tau_{i,j} \leftarrow (1 - \rho)\tau_{i,j} + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{i,j}^{(k)} \quad (14)$$

Dimana:

- $\Delta\tau_{i,j}^{(k)}$: jumlah feromon yang disimpan pada sisi (i,j) , oleh semut ke- k

Pembaruan feromon global dilakukan untuk memperkuat intensitas feromon pada rute terbaik yang telah ditemukan. Feromon yang disimpan pada simpul (i,j) dikonotasikan sebagai persamaan 15 berikut (Kinanti & Aprilia, 2025):

$$\Delta\tau_{i,j}^{(k)} = \left\{ \frac{Q}{L_k} \right\} \quad (15)$$

Dimana:

- Q : konstanta positif
 L_k : panjang rute terpendek yang ditempuh oleh semut ke- k

2.3.5 Analisis Konvergensi

Analisis konvergensi merupakan pengujian yang dilakukan untuk menilai perubahan dari hasil setiap iterasi. Pada umumnya, semakin banyak jumlah iterasi yang diterapkan pada sebuah program, maka semakin besar pula kemungkinan program menemukan hasil yang optimal. Data optimal yang diperoleh pada tiap iterasi akan disimpan dan ditampilkan dalam bentuk *plotting* grafik sederhana (Delu & Iskandar, 2024). Pada penelitian ini, jumlah iterasi maksimal yang akan digunakan yaitu 200. Jumlah tersebut dipertimbangkan berdasarkan tingkat kompleksitas masalah yang diteliti serta durasi komputasi program.

2.3.6 Analisis Perhitungan Biaya Distribusi dan Jarak Minimum

Biaya distribusi berbanding lurus dengan total jarak tempuh pada saat proses distribusi gas elpiji 3 kg dilakukan. Pada penelitian ini, *cost of distribution* dihitung berdasarkan rata-rata konsumsi BBM dari semua kendaraan yang digunakan dan jarak tempuh kendaraan. Adapun persamaan dalam menghitung biaya distribusi lebih rinci dijabarkan pada persamaan 8 berikut:

$$Biaya\ distribusi = \frac{Jarak\ yang\ ditempuh}{Konsumsi\ BBM/liter} \times Harga\ BBM \quad (16)$$

Pada penelitian ini, jenis BBM yang digunakan yaitu solar. Untuk menghitung selisih jarak distribusi eksisting dengan jarak distribusi menggunakan algoritma ACO, dapat menggunakan persamaan 10 berikut:

$$Selisih\ jarak = Total\ jarak\ eksisting - Total\ jarak\ ACO \quad (17)$$

Untuk menghitung selisih persentase penghematan total jarak tempuh antara rute eksisting dan berdasarkan ACO, yaitu:

$$Penghematan\ jarak\ (\%) = \frac{Total\ jarak\ eksisting - Total\ jarak\ ACO}{Total\ jarak\ eksisting} \times 100\% \quad (18)$$

Untuk menghitung selisih biaya distribusi eksisting dengan biaya distribusi yang menerapkan algoritma ACO, dapat menggunakan persamaan 11 berikut:

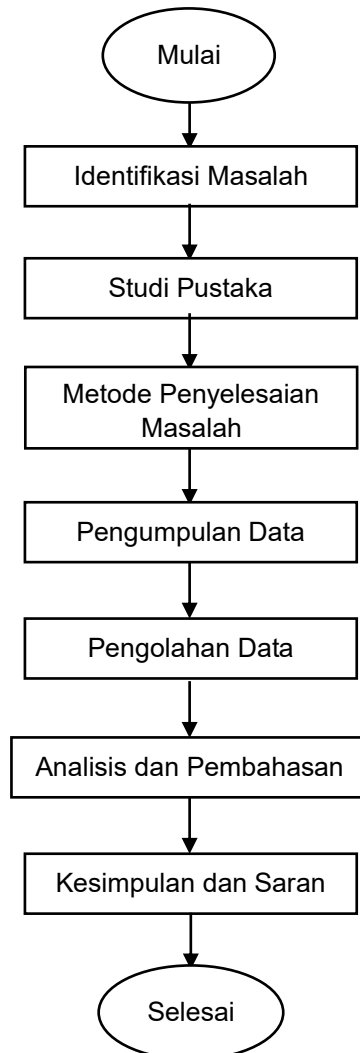
$$Selisih\ biaya\ distribusi = Total\ biaya\ distribusi\ eksisting - Total\ biaya\ distribusi\ ACO \quad (19)$$

Untuk menghitung selisih persentase penghematan biaya distribusi antara rute eksisting dan berdasarkan ACO, yaitu:

$$Penghematan\ biaya\ distribusi\ (\%) = \frac{Total\ biaya\ distribusi\ eksisting - Total\ biaya\ distribusi\ ACO}{Total\ biaya\ distribusi\ eksisting} \times 100\% \quad (20)$$

2.3 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1 di bawah:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

a. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah merupakan tahap awal dalam penelitian yang dilakukan untuk menemukan dan merumuskan masalah dari sebuah fenomena yang terjadi, dalam hal ini optimasi *multi period vehicle routing problem* pada rute distribusi gas elpiji 3 kg menggunakan algoritma *ant colony optimization*.

b. Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan untuk mendapatkan informasi terkait dengan penelitian yang dilakukan meliputi definisi dan teori-teori yang menjadi acuan dalam penulisan penelitian. Selain itu, tahap ini dilakukan untuk mengidentifikasi celah

yang belum terjawab dari penelitian sebelumnya. Adapun dalam prosesnya, pustaka yang dijelajahi bersumber dari buku dan jurnal yang memiliki cakupan bahasan yang sesuai dengan penelitian ini.

c. Metode Penyelesaian Masalah

Pada tahap ini, dilakukan penyusunan metode penyelesaian masalah sesuai dengan masalah penelitian yang dihadapi berdasarkan hasil studi pustaka yang telah dilakukan sebelumnya.

d. Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan observasi secara langsung di depot/agen gas elpiji 3kg PT Daneswara Energy Utama dan wawancara bersama dengan manajer dan staf.

e. Pengolahan Data

Pada tahap ini, data yang telah diperoleh melalui proses observasi dan wawancara kemudian diolah. Pengolahan data dimulai dengan membuat rancangan yang membangun algoritma ACO berupa *pseudocode*. Rancang bangun *pseudocode* dilakukan untuk menjabarkan langkah-langkah logis dan alur dari algoritma meliputi inisialisasi, konstruksi solusi, *update* feromon dan konvergensi. Selanjutnya, yaitu menentukan nilai dari parameter yang digunakan meliputi pengendali intensitas jejak feromon(α), pengendali jarak (visibilitas)(β), tingkat penguapan (evaporasi) feromon(ρ), konstanta deposit feromon(Q), jumlah semut(m), dan jumlah iterasi(t_{max}). Pada penelitian ini, penulis menggunakan 3 skenario untuk menguji kombinasi nilai parameter pada skenario ke berapa yang akan memperoleh rute yang paling optimal menggunakan algoritma ACO. Berikutnya yaitu membuat matriks jarak dan matriks visibilitas berdasarkan titik pengisian gas elpiji 3 kg dan lokasi pangkalan yang akan dikunjungi. Kedua matriks ini diperlukan untuk mempermudah dalam penerapan algoritma ACO. Pada tahap akhir, kemudian dilakukan penerapan algoritma ACO menggunakan *software* optimasi Matlab untuk menentukan rute optimal.

f. Analisis dan Pembahasan

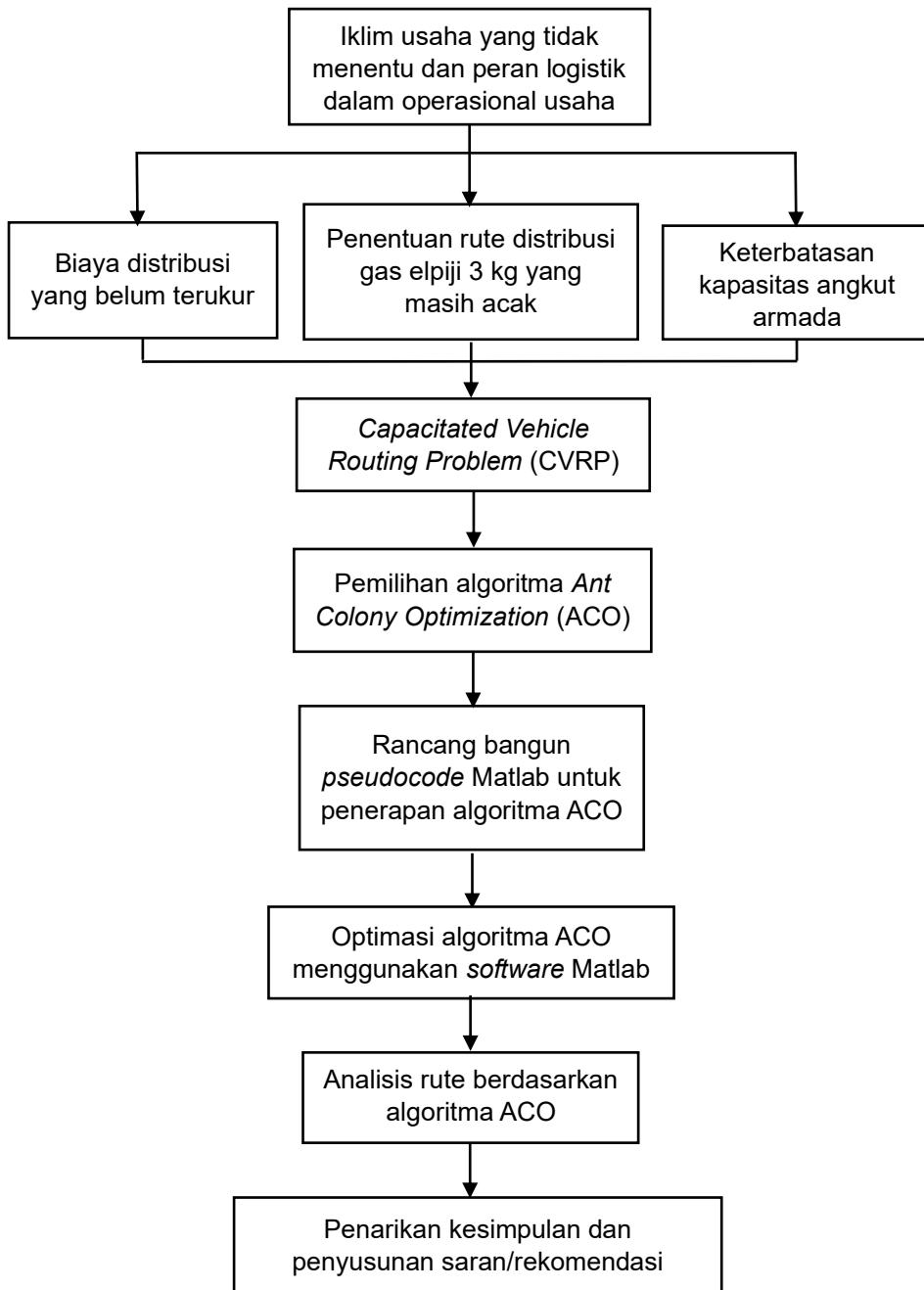
Pada tahap ini, dilakukan analisis terhadap pengolahan data yang telah diperoleh sebelumnya dengan mengidentifikasi rute optimal dalam pendistribusian gas elpiji 3 kg yang dihasilkan menggunakan algoritma ACO.

g. Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini, dilakukan penarikan kesimpulan atau poin-poin inti dari hasil analisis sesuai dengan tujuan dan permasalahan yang diangkat serta memberikan usulan yang dapat digunakan untuk penelitian lebih lanjut.

2.4 Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka pikir merupakan peta pemikiran penulis yang dijadikan sebagai landasan dalam melakukan sebuah penelitian. Gambar 2 berikut merupakan kerangka pikir pada penelitian ini:



Gambar 2. Kerangka pikir penelitian

Kondisi ekonomi saat ini yang tidak menentu membuat perusahaan-perusahaan berupaya untuk mengefisiensi proses bisnis demi kelangsungan sistem operasional perusahaan. Salah satu aspek yang menjadi perhatian dalam upaya efisiensi yaitu aspek logistik. Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, biaya logistik di Indonesia tergolong mahal sehingga perusahaan perlu melakukan manajemen yang baik agar dapat mengefisienkan aspek logistik dalam sistem operasional yang mereka jalankan. Pada aspek logistik, terdapat bagian yang dikenal dengan distribusi yang turut berkontribusi dalam sistem logistik dan pembebanan biayanya. Distribusi secara umum merupakan upaya dalam memindahkan barang dari satu titik ke titik lainnya. Dalam kegiatan distribusi, terkadang tidak berjalan dengan efektif dan efisien sehingga dapat memberikan beban berlebih terhadap biaya. Oleh karena itu, minimasi biaya logistik melalui optimasi distribusi merupakan salah satu alternatif solusi yang bisa diterapkan oleh perusahaan.

Pada prosesnya, distribusi barang yang mana dalam penelitian ini merupakan gas elpiji 3 kg masih dilakukan secara manual tanpa analisis optimasi jarak maupun biaya. Hal tersebut berdampak pada tidak terukurnya biaya distribusi dengan baik dan dapat menjadi beban biaya yang cukup besar jika dibiarkan secara terus-menerus. Terlebih lagi, kapasitas angkut armada yang terbatas menjadi salah satu kendala yang memaksa perusahaan untuk dapat menentukan urutan rute distribusi optimal. Penentuan rute distribusi optimal diperlukan agar dalam proses pengiriman gas elpiji 3 kg tidak terjadi bolak-balik yang mengakibatkan membengkaknya biaya distribusi. Oleh karena itu, masalah terkait dengan penentuan rute distribusi dengan mempertimbangkan kapasitas angkut armada untuk meminimasi biaya distribusi menjadi cakupan dalam *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) yang perlu diselesaikan oleh penulis.

CVRP merupakan permasalahan yang umum terjadi dalam konteks logistik dan dapat diselesaikan dengan beberapa alternatif metode. Pada penelitian ini CVRP akan diselesaikan menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) yang merupakan salah satu algoritma metaheuristik. Algoritma ini dijalankan berdasarkan prinsip semut dalam mencari makanan dari sarang menuju ke sumber makanan memanfaatkan feromon yang dimilikinya. Penerapan algoritma ACO dipilih oleh penulis atas dasar keunggulan waktu komputasi yang lebih cepat serta mampu menghasilkan output yang kompetitif dibandingkan algoritma lain (Muharni et al., 2022). Selain itu, menurut Susilo & Efendi, (2011) dalam Sianturi et al., 2021, algoritma ACO mampu menghasilkan solusi yang mendekati optimal bahkan optimal disebabkan oleh adanya parameter yang melekat padanya. Nilai parameter tersebut diperoleh dari hasil terbaik berdasarkan pengujian yang dilakukan berulang-ulang kali.

Pada penelitian ini, algoritma ACO akan dijalankan menggunakan *software* optimasi Matlab. Penggunaan Matlab dilakukan karena jumlah titik pengantaran gas elpiji yang banyak sehingga akan menghasilkan alternatif solusi yang beragam dan kompleks. Oleh karena itu, penggunaan Matlab dapat meminimalkan waktu komputasi dan menghasilkan perhitungan yang akurat dibanding jika dijalankan secara manual. Pada tahap awal, penerapan ACO pada Matlab dimulai dengan merancang dan membangun *pseudocode*. *Pseudocode* dirancang berdasarkan algoritma ACO, parameter dari 3 skenario yang digunakan, serta data yang diperoleh

dari hasil obseravasi dan wawancara. Sehingga, perancangan *pseudocode* ACO harus dilakukan dengan baik karena akan menjadi peta biru dalam penerapan algoritma sesuai dengan penelitian yang dilakukan.

Ketika *pseudocode* ACO telah dirancang, kemudian optimasi untuk penentuan rute distribusi gas elpiji 3 kg dapat diterapkan di Matlab. Matlab akan menghitung dan akan membantu dalam menemukan rute optimal menggunakan *pseudocode* yang telah dikonversi yang berisi parameter dan data penelitian. Kemudian, dilakukan analisis rute berdasarkan penerapan algoritma ACO. Analisis meliputi analisis jarak, konvergensi dan visualisasi rute. Analisis jarak dilakukan dengan membandingkan rute optimal dengan rute eksisting yang digunakan oleh perusahaan. Hal ini dilakukan untuk mengidentifikasi seberapa besar perbaikan (*improvement*) ACO dalam menurunkan jarak distribusi dan biayanya. Kemudian, analisis lanjutan juga dilakukan untuk menunjukkan kinerja algoritma ACO dan dampaknya terhadap optimasi yang dihasilkan. Pada tahap akhir, dilakukan penarikan kesimpulan dari penerapan ACO terhadap penelitian yang dilakukan dan penyusunan saran/rekomendasi sebagai upaya dalam penyempurnaan penelitian di masa yang akan datang.