

OPTIMALISASI PENDISTRIBUSIAN GAS LPG PT. SEULAWAH INONG MALANG DENGAN ALGORITMA ACS-RVND PADA HFVRPTW

Elzyn Erianti Zevanya

Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Malang, Malang, Indonesia

e-mail: elzyn.erianti.2303126@students.um.ac.id*

Sapti Wahyuningsih

Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Malang, Malang, Indonesia

e-mail: sapti.wahyuningsih.fmipa@students.um.ac.id

Abstrak (Gunakan Style Penulis & Abstrak)

PT. Seulawah Inong menghadapi tantangan dalam mengatur proses distribusi agar pengiriman gas LPG dapat dilakukan tepat waktu dengan biaya operasional yang minimal. Tantangan utama terletak pada penentuan rute distribusi yang efisien, mengingat keterbatasan kapasitas kendaraan, perbedaan biaya dan kapasitas armada heterogen, serta batasan waktu pengiriman (*time windows*), sesuai dengan karakteristik *Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Windows* (HFVRPTW). Penelitian ini bertujuan untuk menyelesaikan masalah tersebut secara optimal dengan memanfaatkan aplikasi algoritma *Ant Colony System with Randomized Variable Neighborhood Descent* (ACS-RVND) pada permasalahan HFVRPTW. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penggunaan 10 semut, algoritma berhasil menghasilkan lima rute distribusi yang optimal, dengan total jarak tempuh sebesar 66,11 km, total waktu pelayanan 1.242,72 menit, serta total biaya operasional sebesar Rp 76.026,5.

Kata Kunci: Distribusi gas, Optimalisasi rute, HFVRPTW, Algoritma ACS-RVND

Abstract (Gunakan Style Penulis & Abstrak)

PT. Seulawah Inong faces challenges in managing the distribution process so that LPG gas deliveries can be made on time with minimal operational costs. The main challenge lies in determining an efficient distribution route, given the limited vehicle capacity, differences in costs and heterogeneous fleet capacity, and delivery time constraints, in accordance with the characteristics of the *Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Windows* (HFVRPTW). This study aims to optimally solve this problem by utilizing the *Ant Colony System with Randomized Variable Neighborhood Descent* (ACS-RVND) algorithm application on the *Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Windows* (HFVRPTW). The results show that with the use of 10 ants, the algorithm successfully generated five optimal distribution routes, with a total distance of 66.11 km, a total service time of 1,242.72 minutes, and a total operational cost of Rp 76,026.5

Keywords: Gas distribution, Route optimization, HFVRPTW, ACS-RVND Algorithm.

PENDAHULUAN

Teori graf merupakan cabang matematika yang digunakan untuk merepresentasikan dan menganalisis hubungan antarobjek, dimana objek dinyatakan sebagai titik (*node*) dan hubungan sebagai sisi atau garis (*edge*) (Agusnur, 2025). Konsep teori graf memiliki peranan penting dalam riset operasi. Dalam riset operasi, teori graf berperan sebagai alat pemodelan untuk menyelesaikan berbagai permasalahan, baik yang melibatkan graf berarah maupun tak berarah, sehingga permasalahan yang kompleks dapat disederhanakan (Majeed & Rauf, 2020). Masalah pendistribusian

merupakan salah satu permasalahan penting dalam riset operasi yang berkaitan dengan penyaluran barang atau jasa dari sumber ke tujuan secara efisien. Permasalahan ini umumnya melibatkan beberapa hal penting, seperti penentuan rute kendaraan, pemilihan jenis transportasi yang sesuai, serta perancangan strategi pengiriman yang optimal agar biaya, waktu, atau jarak tempuh dapat diminimalkan (Kinanti & Aprilia, 2025). Pada sistem pendistribusian, lokasi seperti gudang, pusat distribusi, dan pelanggan dapat dimodelkan sebagai titik, sedangkan rute pengiriman antarlokasi direpresentasikan sebagai sisi yang diberi bobot

berupa jarak, waktu, atau biaya (Andriati, dkk., 2025).

Dalam bidang optimasi, salah satu penerapan langsung dari teori graf yang digunakan untuk menyelesaikan masalah distribusi adalah *Vehicle Routing Problem* (VRP). Secara garis besar, VRP berkaitan dengan permasalahan optimasi penentuan rute armada kendaraan dalam proses pendistribusian barang kepada pelanggan dengan tujuan meminimalkan total jarak tempuh, jumlah kendaraan yang digunakan, dan waktu pengiriman secara keseluruhan (Azizah, 2025). Permasalahan ini dapat dipandang sebagai pengembangan dari *Travelling Salesman Problem* (TSP), khususnya dalam bentuk *Multiple TSP*, di mana lebih dari satu kendaraan harus direncanakan rutenya untuk melayani sejumlah pelanggan secara efisien (Šedivý, J., & Čejka, 2025). Dalam penerapannya, solusi VRP diperoleh dengan menyusun beberapa rute distribusi, di mana setiap rute dijalankan oleh satu kendaraan yang berangkat dari depot dan kembali ke depot, sehingga seluruh permintaan pelanggan dapat dilayani, kendala operasional terpenuhi, dan biaya transportasi dapat diminimalkan (James & Nugroho, 2024). Oleh karena itu, VRP menjadi model yang sangat relevan dalam perancangan sistem distribusi yang efektif dan efisien.

Seiring dengan meningkatnya kompleksitas permasalahan distribusi, VRP kemudian dikembangkan menjadi berbagai varian untuk menyesuaikan kebutuhan dan kendala yang ada. Salah satu varian tersebut adalah *Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem* (HFVRP), yang mempertimbangkan penggunaan armada kendaraan dengan karakteristik yang berbeda-beda, seperti kapasitas, biaya operasional, dan jenis atau tipe kendaraan yang digunakan (Rizkiani, dkk., 2023). Selain itu, berkembang *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) yang memasukkan batasan waktu pelayanan sehingga setiap pelanggan harus dilayani dalam rentang waktu tertentu yang telah ditentukan dengan tujuan meminimalkan total biaya, jarak, waktu yang dibutuhkan sepanjang semua rute kendaraan (Maroof, dkk., 2024). Kombinasi kedua konsep tersebut menghasilkan *Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Windows* (HFVRPTW), yang menggabungkan armada kendaraan heterogen dan kendala jendela waktu, sehingga permasalahan distribusi dapat dimodelkan

secara lebih realistis dan mendekati kondisi nyata (Lin, dkk., 2023). Beberapa pendekatan yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan HFVRPTW adalah *memetic Ant Colony System* (ACS) (Molina, 2020), pengembangan ACS (Kristina, dkk., 2020), GRASP/VND (Barrero, dkk., 2021), *Simulated Annealing* (Riaño, dkk., 2022), dan *Sequential Insertion* (Ahmad & Garside, 2022).

PT. Seulawah Inong merupakan perusahaan yang berfokus pada kegiatan distribusi gas untuk berbagai pelanggan di wilayah Malang dan sekitarnya. Dalam menjalankan kegiatannya, perusahaan menghadapi tantangan dalam mengatur proses distribusi agar pengiriman dapat dilakukan secara tepat waktu dengan biaya operasional yang minimal. Tantangan tersebut terutama berkaitan dengan penentuan rute distribusi yang efisien, mengingat adanya keterbatasan kapasitas kendaraan, perbedaan kapasitas dan biaya operasional setiap jenis kendaraan (armada heterogen), serta batasan waktu pengiriman (*time windows*) yang harus dipatuhi oleh masing-masing pelanggan. Kondisi ini sering menimbulkan ketidakefisienan, seperti jarak tempuh yang lebih panjang dari seharusnya, keterlambatan pengiriman, serta meningkatnya biaya bahan bakar. Permasalahan yang dihadapi oleh PT. Seulawah Inong tersebut sesuai dengan karakteristik HFVRPTW, sehingga diperlukan pendekatan optimasi yang tepat untuk memperoleh solusi distribusi yang lebih efektif dan efisien.

Sehubungan dengan permasalahan tersebut, beberapa penelitian terdahulu terkait optimalisasi pendistribusian gas telah dilakukan dengan berbagai pendekatan dan metode optimasi untuk meningkatkan efisiensi rute distribusi. Misalnya penelitian Ningsih & Sari (2025), menerapkan metode *Clarke & Wright Saving Heuristik* pada VRP untuk mengoptimalkan rute distribusi gas di PT. Arafizza Sikumbang. Selanjutnya, penelitian Setiawan, dkk. (2025) menggunakan algoritma *Sweep* berbasis *Python* pada masalah *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) dalam mengoptimalkan pemilihan rute distribusi gas. Penelitian lainnya dilakukan oleh Oktaviani, dkk. (2025) dengan menggunakan algoritma Genetika dan algoritma Dijkstra pada kasus *Cluster Generalized Vehicle Routing Problem* (CGVRP) di salah satu perusahaan di Kota Bandung. Selain itu, penelitian Olivia, dkk. (2022) menerapkan algoritma *K-Means* dan algoritma *Ant Colony*

Optimization (K-ACO) pada kasus *Multiple Travelling Salesman Problem* (MTSP).

Permasalahan PT. Seulawah Inong yang dimodelkan sebagai HFVRPTW juga dapat diselesaikan menggunakan algoritma *Ant Colony System with Randomized Variable Neighborhood Descent* (ACS-RVND), merupakan sebuah metaheuristik hibrida yang menggabungkan ACS dan RVND. Algoritma ini telah diterapkan dalam penelitian Wahyuningsih, dkk. (2022) pada permasalahan *Multi-Depot Vehicle Routing Problem* (MDVRP) dan VRPTW dengan hasil yang menunjukkan bahwa algoritma ACS-RVND mampu menghasilkan solusi yang lebih baik dibandingkan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dan algoritma *Hybrid Ant Colony Optimization* (HACO), khususnya dalam meminimalkan total jarak rute distribusi. Sementara itu, penelitian Dhari & Wahyuningsih (2022) juga menggunakan ACS-RVND untuk mengoptimalkan rute pengangkutan sampah pada kasus VRPTW di Kota Serang. Temuan-temuan tersebut memperkuat bahwa algoritma ACS-RVND efektif dalam menyelesaikan permasalahan distribusi yang melibatkan berbagai kendala.

Berdasarkan paparan sebelumnya, artikel ini bertujuan untuk menyelesaikan masalah penentuan rute distribusi gas LPG PT. Seulawah Inong secara optimal menggunakan algoritma ACS-RVND, dengan tetap memperhatikan kendala dalam HFVRPTW. Sebagai alat bantu dalam menentukan rute distribusi yang optimal, digunakan aplikasi ACS-RVND pada HFVRPTW untuk mempermudah proses perhitungan dan analisis rute. Pendekatan ini diharapkan dapat membantu perusahaan dalam menghasilkan rute distribusi yang lebih efisien, menekan biaya operasional, mengurangi waktu tempuh, serta meningkatkan ketepatan waktu pengiriman kepada pelanggan.

KAJIAN TEORI

A. *Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time windows* (HFVRPTW)

Model HFVRPTW pertama kali diperkenalkan oleh Liu dan Shen pada tahun 1999 sebagai pengembangan dari model klasik HFVRP dengan penambahan batasan *time window* pada setiap pelanggan maupun depot pusat (Lin, dkk., 2023). HFVRPTW bertujuan untuk meminimalkan

total biaya distribusi dengan mempertimbangkan dua aspek utama. Aspek pertama meliputi biaya tetap penggunaan kendaraan serta waktu tempuh selama perjalanan, sedangkan aspek kedua berkaitan dengan biaya tetap kendaraan dan total jarak yang dilalui selama proses distribusi (Lin, dkk., 2023). Secara matematis, permasalahan HFVRPTW diformulasikan sebagai berikut (Kritikos & Ioannou, 2013).

Fungsi Tujuan

$$\min \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ijk} + \sum_{k=1}^K e_k z_k$$

dengan variabel keputusan

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{jika kendaraan } k \text{ melewati rute dari } i \text{ ke } j \\ 0, & \text{jika lainnya} \end{cases}$$

$$y_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{jika kendaraan } k \text{ melewati rute dari } i \text{ ke } j \\ 0, & \text{jika lainnya} \end{cases}$$

$$z_k = \begin{cases} 1, & \text{jika kendaraan } k \text{ beroperasi} \\ 0, & \text{jika lainnya} \end{cases}$$

Kendala (*constraint*)

- Setiap pelanggan hanya boleh dikunjungi tepat satu kali dan hanya oleh satu kendaraan.

$$\sum_{k=1}^K y_{ik} = 1, \quad \forall i \in V \quad (1)$$

- Jumlah kendaraan yang beroperasi dibatasi sebanyak K sesuai ketersediaan armada yang dimiliki,

$$\sum_{k=1}^K y_{0k} = K \quad (2)$$

- Jika kendaraan ke- k mengunjungi titik pelanggan i , maka:

$$\sum_{j \in N} x_{ijk} = y_{ik}, \quad \forall i \in V, \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} x_{jik} = y_{ik}, \quad \forall i \in V, \forall k \in K \quad (4)$$

- Total permintaan pelanggan yang dilayani oleh kendaraan ke- k tidak boleh melebihi kapasitas maksimum kendaraan tersebut

$$\sum_{i \in V} d_i y_{ik} \leq Q_k z_k, \quad \forall k \in K \quad (5)$$

- Waktu pelayanan kendaraan harus memenuhi batasan *time window* yang telah ditentukan

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in V} x_{ijk} (b_{ik} + f_i) \leq l_i, \quad \forall i \in V, \forall k \in K \quad (6)$$

Keterangan :

V : himpunan titik $\{0, 1, \dots, n\}$ yang mencakup depot dan pelanggan

N : himpunan titik $\{0, 1, \dots, n\}$ pelanggan

d_i : permintaan pada pelanggan $i \in V$

c_{ij} : biaya dari titik i ke j

- K : himpunan kendaraan
 Q_k : kapasitas kendaraan ke- k
 e_k : biaya tetap kendaraan ke- k
 f_i : waktu pelayanan di pelanggan i
 l_0 : waktu pelayanan paling akhir untuk pelanggan i ke j
 b_{ik} : waktu tempuh kendaraan dari pelanggan i ke j

B. Algoritma ACS-RVND

ACS-RVND adalah algoritma hibrida yang menggabungkan pendekatan *Ant Colony System* (ACS) dan *Randomized Variable Neighborhood Descent* (RVND) untuk memperoleh solusi yang lebih optimal. Pada algoritma ini, ACS berperan dalam proses pencarian solusi awal dengan meniru mekanisme komunikasi semut melalui jejak *pheromone* yang memengaruhi probabilitas pemilihan rute, sehingga pencarian solusi dapat dilakukan secara iteratif dan adaptif pada ruang solusi yang luas (Teng, dkk., 2024). Selanjutnya, solusi yang dihasilkan oleh ACS diperbaiki menggunakan RVND, yaitu metode pencarian lokal yang menentukan urutan eksplorasi *neighborhood* secara acak. Pendekatan acak tersebut memungkinkan algoritma mengeksplorasi ruang solusi secara lebih beragam dan menghindari terjebak pada solusi lokal, sehingga berpotensi menghasilkan solusi yang lebih baik dibandingkan pendekatan dengan urutan *neighborhood* yang tetap (Dhari & Wahyuningsih, 2022).

Proses analisis perhitungan dengan menggunakan algoritma ACS-RVND dilakukan melalui tiga tahapan utama, yaitu sebagai berikut.

- 1) Tahap pembentukan solusi awal melalui ACS

Pada tahap ini diawali dengan

 - a. Menetapkan parameter awal seperti jumlah semut (m , nilai batas perbandingan (q_0), pengendali intensitas visibilitas (β) dengan ketentuan $\beta \geq 0$, tingkat penguapan *local pheromone* (ρ) dengan $0 \leq \rho \leq 1$, serta tingkat penguapan *global pheromone* (α) dengan $0 \leq \alpha \leq 1$.
 - b. Inisialisasi *pheromone* awal menggunakan *Nearest Neighbor* untuk memperoleh rute awal.
 - c. Membentuk tabulist, yaitu daftar pelanggan yang dikunjungi semut berdasarkan aturan transisi:

Eksplorasi (probabilistik) ketika nilai acak $q > q_0$.

$$s = P_k(i, j) = \frac{[\tau(i, j)][\eta(i, j)]^\beta}{\sum [\tau(i, j)][\eta(i, j)]^\beta}$$

Eksplorasi (deterministik) ketika $q \leq q_0$.

$$s' = P_k(i, j) = \operatorname{argmax}_{j \in M_k} [\tau(i, j)][\eta(i, j)]^\beta$$

Dengan

β : parameter pengendali intensitas visibilitas

$\tau(i, j)$: intensitas *pheromone* antara titik i dan j dengan rumus

$$\tau(i, j) = \tau_0 = \frac{1}{n \times L_0}$$

η_{ij} : nilai *visibility* yang dihitung dengan rumus

$$\eta_{ij} = \frac{1}{C_{ij}}$$

$P_k(i, j)$: nilai probabilitas dari semut k yang berpindah dari titik i ke titik j

M_k : himpunan titik yang dapat dikunjungi semut k .

- d. *Updating local pheromone*, yaitu memperkuat *pheromone* pada sisi yang dilewati agar lebih mudah dipilih oleh semut berikutnya.
 - e. Diperoleh satu solusi awal yang layak terhadap kapasitas dan *time window*.
- 2) Tahap perbaikan solusi melalui RVND

Solusi dari ACS kemudian diperbaiki menggunakan RVND dengan dua tipe perpindahan, yaitu perpindahan *inter-route* menggunakan *neighborhood*

$$NL = \{\operatorname{swap}(1,1), \operatorname{swap}(2,1), \operatorname{swap}(2,2), \operatorname{shift}(1,0), \operatorname{cross}\}$$

dan perpindahan *intra-route* menggunakan $NL' = \{\operatorname{reinsertion}, \operatorname{exchange}, 2 - \operatorname{opt}, \operatorname{Or} - \operatorname{opt}\}$

Adapun prosedur dalam RVND adalah sebagai berikut

 - a. Menyusun daftar *neighborhood* *inter-route* (NL), kemudian memilih salah satu *neighborhood* secara acak.
 - b. Jika perpindahan menghasilkan solusi yang lebih baik dan tidak melanggar kendala, maka solusi diperbarui dan daftar NL dipertahankan. Sebaliknya, jika tidak terjadi perbaikan, *neighborhood* tersebut dihapus dari NL .
 - c. Proses ini diulang hingga NL kosong. Selanjutnya, perbaikan dilanjutkan dengan

perpindahan *intra-route* (NL') menggunakan prosedur yang sama hingga seluruh *neighborhood* habis.

d. Setelah solusi terbaik diperoleh, dilakukan *updating local pheromone*.

3) Tahap penerimaan solusi

Pada tahap akhir, solusi terbaik dari semua iterasi dipilih sebagai solusi akhir. Jika terdapat lebih dari satu solusi yang layak, maka dipilih yang memiliki nilai paling optimal (misalnya total jarak minimum).

METODE

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan yang sistematis agar tujuan penelitian dapat tercapai. Adapun tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

- 1) Studi Literatur dan Studi Lapangan
Studi literatur dilakukan dengan mengkaji artikel ilmiah serta penelitian terdahulu yang relevan, khususnya mengenai HFVRPTW dan algoritma ACS-RVND. Studi lapangan dilakukan untuk memahami kondisi operasional PT. Seulawah Inong, termasuk proses distribusi gas LPG, armada kendaraan, rute, dan kendala di lapangan.
- 2) Pengumpulan Data
Penelitian ini menggunakan data primer yang diperoleh melalui survei langsung di PT. Seulawah Inong. Data yang dikumpulkan meliputi data lokasi pelanggan dan depot, data jarak antar lokasi, data permintaan gas LPG, data kendaraan, serta data batasan waktu (*time window*) yang berlaku dalam proses distribusi. Untuk data jarak antar pelanggan maupun antara pelanggan dengan depot, digunakan alat bantu berupa aplikasi Google Maps.
- 3) Pengolahan data
Data yang telah dikumpulkan selanjutnya diolah agar dapat digunakan sebagai *input* dalam pemodelan HFVRPTW. Tahap ini mencakup penyesuaian format data, perhitungan jarak antar titik, serta penentuan parameter yang digunakan dalam algoritma ACS-RVND.
- 4) Penyelesaian dengan Analisis Skala Data
Penyelesaian masalah dilakukan dengan mempertimbangkan dua skala data, yaitu data

kecil dan data besar. Kedua data tersebut kemudian dimasukkan ke dalam aplikasi yang menerapkan algoritma ACS-RVND pada model HFVRPTW untuk menghasilkan solusi distribusi gas LPG yang optimal dan efisien

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Distribusi Gas LPG

Berdasarkan hasil survei yang telah dilakukan, diketahui bahwa PT. Seulawah Inong bertanggung jawab untuk menyalurkan tabung gas LPG ke puluhan pangkalan (pelanggan) setiap hari kerja di luar hari Minggu serta hari libur nasional dan keagamaan. Seluruh pangkalan beroperasi setiap hari mulai pukul 07.00 hingga 20.00 WIB, sementara depot beroperasi dari pukul 07.00 hingga 17.00 WIB, sehingga jadwal distribusi harus disesuaikan dengan jam operasional tersebut. Berikut adalah data mengenai permintaan gas LPG masing-masing pangkalan yang disajikan dalam tabel 1.

Tabel 1. Data Permintaan Pelanggan

Kode Lokasi	Nama Pangkalan	Jumlah Permintaan
1.	Andik	34
2.	Ari Wibisono	40
3.	Bambang Sis Kuncoro	100
4.	Bu Emi	36
5.	Burhan	36
6.	Dana Mulia	100
7.	Darmiati / Sableng	40
8.	Gondo Susadam	28
9.	Hadi Budiman	100
10.	Hadi Budiman	58
11.	Hafis	28
12.	Jaenal Arifin	41
13.	Kamsiati	40
14.	Karya Bersama	100
15.	Khomariyatul Badriyah	74
16.	Mochamad Makin	36
17.	Muntiasih	32
18.	Mursidi / Jack	64
19.	Newin Yulianto	40
20.	Nurul Ma'rifatul Janah	28
21.	Nuryati	63
22.	Pak Rite	31
23.	Rachmad Subekti	62
24.	Ratna Intan Sinaga	100
25.	Slamet Budiadi	26
26.	Sofya Savira	31

27.	SPBU 54.651.21	23
28.	Sujatmoko	76
29.	Suryanto	100
30.	Thuning Sumaeni	28
31.	Titi Motor / Ramli	100
32.	Toko Azzamart	24
33.	Toko Bedak 2	32
34.	Toko Diva	32
35.	Toko Lumintu	26
36.	Toko Nusantara	100
37.	Toko Qomariyah	100
38.	Toko Tulus	36
39.	Tutik Winarti	76
40.	Wiwik Suyanti	100
Total Permintaan dalam 1 Hari		2,221

Perusahaan didukung oleh lima unit truk dengan kapasitas masing-masing 560 tabung dan dua unit pickup L300, dengan kecepatan rata-rata 30 km/jam untuk setiap jenis kendaraan, yang digunakan untuk mengoptimalkan distribusi gas LPG ke seluruh pangkalan. Sejalan dengan kondisi tersebut, data kendaraan telah diolah dan disusun sebagai dasar dalam proses optimasi rute distribusi di PT. Seulawah Inong, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Kendaraan

Jenis	Total Unit	Kapasitas (tabung)	Biaya per km (Rp)	Kecepatan Rata-Rata
Truk	5	560	1.150	30 km/jam
Pickup L300	2	200	767	30 km/jam

B. Perhitungan Data Kecil dengan Aplikasi ACS-RVND pada HFVRPTW

Untuk keperluan pengujian awal atau skenario data kecil, digunakan 1 lokasi depot dan lokasi 8 pelanggan yang dipilih secara acak, sehingga memudahkan analisis dan pemetaan rute distribusi LPG sebelum diterapkan pada skala lebih besar. Data tersebut disajikan sebagai berikut.

Tabel 2. Matriks Jarak untuk Data Kecil (dalam km)

	0	3	6	9	10	14	18	21	24
0	0	9,2	4,3	7,7	6,4	0,003	5,4	11,8	8,4
3	9,2	0	8	0,7	4,9	9,9	7	4,6	3,7
6	4,3	8	0	5,7	5,7	5	1,4	10,5	4,5
9	7,7	0,7	5,7	0	5,1	8,1	4,9	4,7	3
10	6,4	4,9	5,7	5,1	0	6,9	5	6,2	2,5
14	0,003	9,9	5	8,1	6,9	0	5,4	10,7	5,6

18	5,4	7	1,4	4,9	5	5,4	0	8,7	3,3
21	11,8	4,6	10,5	4,7	6,2	10,7	8,7	0	5,2
24	8,4	3,7	4,5	3	2,5	5,6	3,3	5,2	0

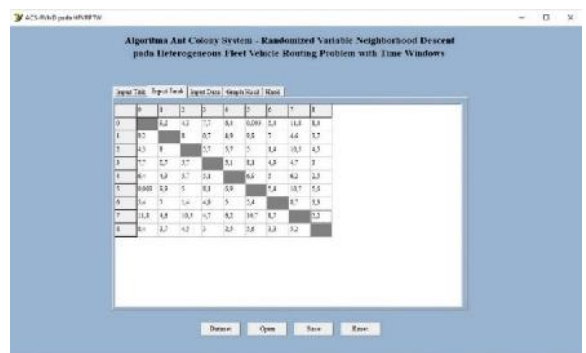
Selanjutnya, dijelaskan langkah-langkah penyelesaian masalah penentuan rute distribusi optimal menggunakan aplikasi algoritma ACS-RVND pada permasalahan HFVRPTW. Selanjutnya, dijelaskan langkah-langkah penyelesaian masalah penentuan rute distribusi optimal menggunakan aplikasi algoritma ACS-RVND pada permasalahan HFVRPTW.

- (1) Pada menu "Input Titik", pengguna memplot 9 titik pada area putih hingga tampilan seperti pada Gambar 1, dimana titik merah sebagai depot dan titik hijau sebagai pelanggan.



Gambar 1. Input Titik Pelanggan dan Depot (Data Kecil)

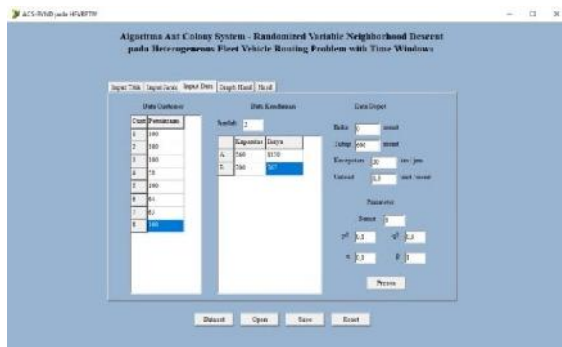
- (2) Setelah titik-titik lokasi dimasukkan, menu "Input Jarak" digunakan untuk memasukkan jarak antar titik lokasi secara manual, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Input Jarak Pelanggan dan Depot (Data Kecil)

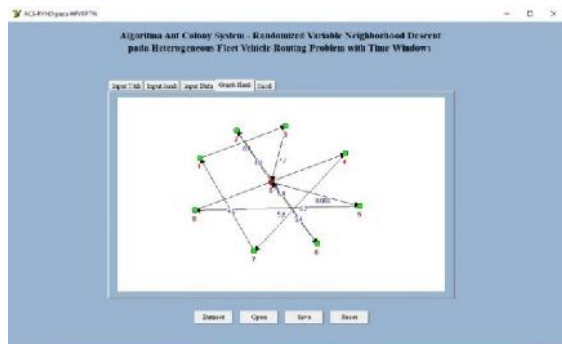
- (3) Menu "Input Data" kemudian digunakan untuk memasukkan data utama yang meliputi permintaan pelanggan, kendaraan, waktu buka

tutup depot, dan waktu bongkar muat (*unload time*), serta parameter algoritma ACS-RVND seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Input Data Utama (Data Kecil)

- (4) Setelah semua data lengkap, algoritma dijalankan dengan menekan tombol “Proses”, dan hasil optimasi ditampilkan dalam bentuk graf seperti pada Gambar 4. Garis pada graf menunjukkan urutan rute kendaraan, sementara angka di atas garis menunjukkan jarak tempuh antar titik.



Gambar 4. Hasil Optimasi Rute dalam Bentuk Graf (Data Kecil)

- (5) Detail hasil dapat dilihat pada menu “Hasil”.



Gambar 5. Rincian Hasil Perhitungan Optimasi Rute (Data Kecil)

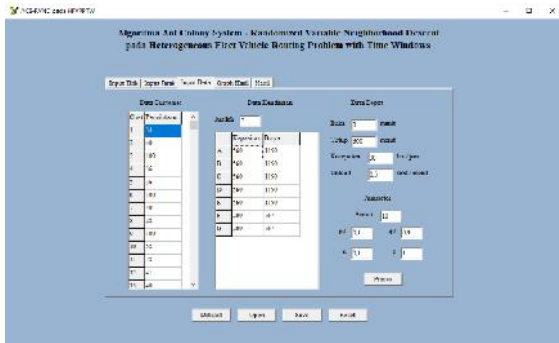
Hasil perhitungan dengan aplikasi menunjukkan terbentuknya dua rute pengiriman yang dijalankan oleh kendaraan dengan karakteristik berbeda. Rute 1 memiliki urutan perjalanan 0 → 4 → 7 → 1 → 3 → 8 → 5 → 0, dimana kendaraan truk melayani enam pelanggan dalam satu perjalanan sebelum kembali ke depot. Sementara itu, Rute 2 memiliki urutan yang lebih pendek, yaitu 0 → 2 → 6 → 0, yang dilayani oleh kendaraan pickup dan hanya mencakup dua titik pelanggan. Dari kedua rute tersebut, diperoleh total jarak tempuh sebesar 37,6 km, dengan total waktu perjalanan 417,7 menit, serta total biaya operasional mencapai Rp 38.988,7. Hasil ini konsisten dengan perhitungan manual menggunakan algoritma ACS-RVND pada permasalahan HFVRPTW yang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Aplikasi dan Manual

Hasil	Rute	Total Jarak (km)	Total Waktu (menit)	Total Biaya (Rp)
Aplikasi ACS-RVND	Rute 1 : 0-4-7-1-3-8-5-0 Rute 2 : 0-2-6-0	37,6	417,7	38.988,7
Manual ACS-RVND	Rute 1 : 0-4-7-1-3-8-5-0 Rute 2 : 0-2-6-0	37,6	417,7	38.988,7

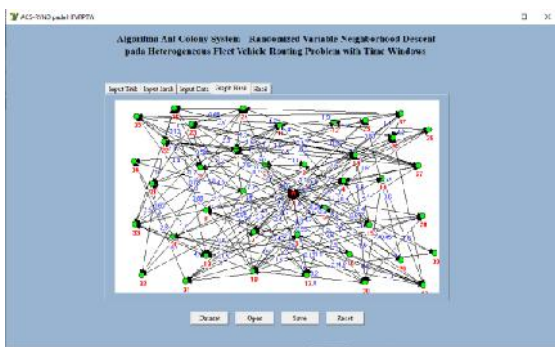
C. Perhitungan Data Besar dengan Aplikasi ACS-RVND pada HFVRPTW

Data besar yang digunakan terdiri dari 1 lokasi depot dan 40 lokasi pelanggan menggunakan aplikasi ACS-RVND pada permasalahan HFVRPTW, dapat dilihat pada Tabel 1. Dalam proses perhitungan, digunakan parameter 10 semut untuk mencari rute distribusi yang optimal.

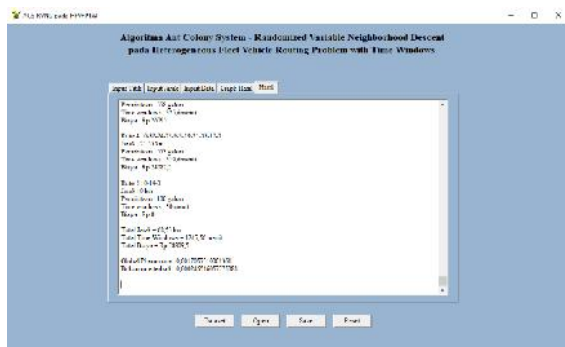


Gambar 6. Input Data Utama (Data Besar)

Berikut adalah hasil perhitungan data besar aplikasi menggunakan algoritma ACS-RVND pada permasalahan HFVRPTW yang ditampilkan pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Hasil Optimasi Rute dalam Bentuk Graf (Data Besar)



Gambar 8. Rincian Hasil Perhitungan Optimasi Rute (Data Besar)

Dengan menggunakan parameter 10 semut, solusi terbaik diperoleh pada semut ke-10, sehingga rute yang dihasilkan dianggap sebagai rute paling optimal. Pada solusi ini terbentuk lima rute distribusi, masing-masing melayani sejumlah pelanggan sesuai urutan yang ditentukan oleh algoritma. Rute 1 menempuh perjalanan dari 0 → 16 → 1 → 34 → 38 → 20 → 40 → 8 → 26 → 12 → 2 → 39 → 5 → 0, rute 2 menempuh perjalanan dari 0 → 7 → 28 → 31 → 37 → 18 → 6 → 30 → 0, rute 3 menempuh

perjalanan dari 0 → 25 → 29 → 10 → 11 → 4 → 22 → 27 → 36 → 17 → 24 → 32 → 0, rute 4 menempuh perjalanan dari 0 → 33 → 21 → 19 → 15 → 9 → 3 → 23 → 13 → 35 → 0, dan rute 5 menempuh perjalanan 0 → 14 → 0. Dari keseluruhan rute tersebut diperoleh total jarak tempuh sebesar 66,11 km, total waktu pelayanan 1.242,72 menit, serta total biaya operasional sebesar Rp 76.026,5, yang menjadi hasil akhir proses optimasi permasalahan HFVRPTW menggunakan algoritma ACS-RVND.

PENUTUP

SIMPULAN

Penerapan aplikasi algoritma ACS-RVND pada permasalahan HFVRPTW berhasil menentukan lima rute distribusi gas LPG PT. Seulawah Inong secara optimal, dengan memanfaatkan armada kendaraan heterogen. Pada rute pertama, kendaraan pertama menempuh jalur dari depot (0) → Mochamad (16) → Andik (1) → Toko Diva (34) → Toko Tulus (38) → Nurul (20) → Wiwik (40) → Gondo (8) → Sofya (26) → Jaenal (12) → Ari (2) → Tutik (39) → Burhan (5) → depot (0). Rute kedua menempuh jalur depot (0) → Darmiati (7) → Sujatmoko (28) → Titi Motor (31) → Toko Qomariyah (37) → Mursidi (18) → Dana Mulia (6) → Thuning (30) → depot (0), sedangkan rute ketiga mengikuti jalur depot (0) → Slamet (25) → Suryanto (29) → Hadi (10) → Hafis (11) → Bu Emi (4) → Pak Rite (22) → SPBU (27) → Toko Nusantara (36) → Muntiasih (17) → Ratna (24) → Toko Azzamart (32) → depot (0). Rute keempat menempuh jalur dari depot (0) → Toko Bedak 2 (33) → Nuryati (21) → Newin (19) → Khomariyatul (15) → Hadi (9) → Bambang (3) → Rachmad (23) → Kamsiati (13) → Toko Lumintu (35) → depot (0), dan rute kelima hanya mencakup jalur singkat depot (0) → Karya Bersama (14) → depot (0). Kelima rute tersebut menghasilkan total jarak pendistribusian gas LPG sebesar 66,11 km dengan total waktu pelayanan 1.242,72 menit dan total biaya operasional kendaraan sebesar Rp 76.026,5.

SARAN

Sebagai saran untuk penelitian selanjutnya dalam penyelesaian penentuan rute optimal pendistribusi gas LPG di PT. Seulawah Inong, dapat dipertimbangkan untuk menerapkan algoritma

hibrida lain seperti algoritma *Multiple Ant Colony System with Randomized Variable Neighborhood Descent* (MACS-RVND), yang berpotensi meningkatkan efisiensi rute distribusi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agusnur, A. (2025). Penggunaan Teori Graf dalam Optimasi Jaringan Transportasi Kota. *Jurnal Matematika dan Aplikasi (JMA)*, 1(1), 29-35. <https://jurnal.pustakabangsaindonesia.com/index.php/jma>.
- Ahmad, M., & Garside, A. K. (2022). Penyelesaian Heterogenous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Windows Menggunakan Algoritma Sequential Insertion. *Jurnal Teknik Industri*, 12(1), 48-57. <https://doi.org/10.25105/jti.v12i1.13960>.
- Andriati, D. A., Dariato, E., & Hafizh, R. (2025). Implementasi Teori Graf dan Optimisasi Alogaritma Dijkstra, BFS dan DFS Dalam Menentukan Rute Terpendek Jaringan Bengkel di Jakarta Berbasis Google Maps. *Jurnal Multimedia dan Teknologi Informasi (Jatilima)*, 7(03), 674-684. <https://doi.org/10.54209/jatilima.v7i03.1654>.
- Azizah, D. N. (2025). Penyelesaian Capacitated Vehicle Routing Problem With Time Windows dengan Metode Mixed Integer Linear Programming Pada Distribusi Obat Di UPKF Banyumas. *Journal of Systems Engineering and Management*, 4(1), 26-30. <http://dx.doi.org/10.62870/joseam.v4i1.32073>.
- Barrero, L., Robledo, F., Romero, P., & Viera, R. (2021). A GRASP/VND heuristic for the heterogeneous fleet vehicle routing problem with time windows. In *International Conference on Variable Neighborhood Search*, 152-165. https://doi.org/10.1007/978-3-030-69625-2_12.
- Dhari, A. W., & Wahyuningsih, S. (2022). Optimalisasi Rute Pengangkutan Sampah di Kota Serang dengan Algoritma ACS-RVND Pada VRPTW. In *Prosiding Seminar Nasional Matematika dan Pembelajarannya*, 1, 106-115. <https://conference.um.ac.id/index.php/snmp/article/view/2997>.
- James, J. J., & Nugroho, A. J. (2024). Penyelesaian Vehicles Routing Problem dalam Meminimumkan Waktu Transportasi PT Petrogas Prima Services. *Sci-tech Journal*, 3(1), 60-73. <https://doi.org/10.56709/stj.v3i1.326>.
- Kinanti, T., & Aprilia, R. (2025). Optimasi Vehicle Routing Problem (VRP) Terhadap Rute Pengangkutan Sampah Di Kota Medan Dengan Algoritma Ant Colony Optimization. *Mandalika Mathematics and Educations Journal*, 7(3), 1271-1285. <https://doi.org/10.29303/jm.v7i3.9787>.
- Kristina, S., Sianturi, R., & Wijaya, V. J. (2020). Pengembangan Algoritma Ant Colony System Pada Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Soft Time Window. *Journal of Integrated System*, 3(2), 85-102. <https://doi.org/10.28932/jis.v3i2.2839>.
- Kritikos, M. N., & Ioannou, G. (2013). The heterogeneous fleet vehicle routing problem with overloads and time windows. *International Journal of Production Economics*, 144(1), 68-75. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.01.020>.
- Lin, N., Akkerman, R., Kanellopoulos, A., Hu, X., Wang, X., Ruan, J. (2023). Vehicle routing with heterogeneous service types: Optimizing post-harvest preprocessing operations for fruits and vegetables in short food supply chains. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 172, 103084, ISSN 1366-5545, <https://doi.org/10.1016/j.tre.2023.103084>.
- Majeed, A., & Rauf, I. (2020). Graph theory: A comprehensive survey about graph theory applications in computer science and social networks. *Inventions*, 5(1), 10. <https://doi.org/10.3390/inventions5010010>.
- Maroof, A., Ayvaz, B., & Naeem, K. (2024). Logistics Optimization Using Hybrid Genetic Algorithm (HGA): A Solution to the Vehicle Routing Problem With Time Windows (VRPTW). *IEEE Access*, 12, 36974-36989. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3373699>.
- Molina, J. C., Salmeron, J. L., & Eguia, I. (2020). An ACS-based memetic algorithm for the heterogeneous vehicle routing problem with time windows. *Expert Systems with*

- Applications*, 157, 113379.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113379>.
- Ningsih, F. I., & Sari, R. F. (2025). Optimisasi Rute Distribusi Gas LPG 3 Kg Pada PT Arafizza Sikumbang Menggunakan Model VRP dan Algoritma Clarke and Wright Savings. *Mandalika Mathematics and Educations Journal*, 7(3), 1286-1298.
<https://doi.org/10.29303/jm.v7i3.9835>
- Oktaviani, P., Dalnis, I. P., & Wirdianto, E. (2025). Usulan Rute Pendistribusian Gas LPG Menggunakan Algoritma Dijkstra dan Algoritma Genetika Pada Model CGVRP. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 14(1), 131-145.
<https://doi.org/10.26593/jrsi.v14i1.8491.131-145>.
- Olivia, L. J. M., Rahayudi, B., & Cholissodin, I. (2022). Optimasi Rute Distribusi Gas Lpg 3 Kg dengan Integrasi Algoritma K-Means dan Ant Colony Optimization pada Multiple Travelling Salesman Problem. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 6(2), 947-955. <https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/10663>.
- Riaño, H., Escobar, J., & Clavijo-Buritica, N. (2022). A new metaheuristic approach for the meat routing problem by considering heterogeneous fleet with time windows. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 13(4), 661-676.
 DOI:10.5267/j.ijiec.2022.5.001.
- Rizkiani, F. N., Sari, R., & Imran, A. (2023). A Simulated Annealing for Heterogenous Fleet Vehicle Routing Problem with Multiple Trips and Pickup-Delivery. *Rekayasa Hijau: Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*, 7(3), 277-288.
<https://doi.org/10.26760/jrh.v7i3.277-288>.
- Šedivý, J., & Čejka, J. (2025). Possible Application of Solver Optimization Module for Solving Vehicle Routing Problems. *Transportation Research Procedia*, 87, 94-102.
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2025.04.113>.
- Setiawan, A., Nensi, S. W., Rizani, N. C., Matutina, T. Y. B., & Hamidi, K. (2025). Optimasi Pemilihan Rute Terpendek Distribusi Gas LPG 3 Kg Menggunakan Algoritma Sweep Berbasis Python. *JISI: Jurnal Integrasi Sistem Industri*, 12(2), 235-248.
<https://doi.org/10.24853/jisi.12.2.235-248>.
- Teng, Y., Chen, J., Zhang, S., Wang, J., & Zhang, Z. (2024). Solving dynamic vehicle routing problem with time windows by ant colony system with bipartite graph matching. *Egyptian Informatics Journal*, 25, 100421.
<https://doi.org/10.1016/j.eij.2023.100421>.
- Wahyuningsih, S., Satyananda, D., & Oktoviana, L. T. (2022). Implementation of the ACS-RVND algorithm on the VRP variant and its application to distribution optimization. In *Journal of Physics: Conference Series*, 2157(1), 012025. IOP Publishing.