

OPTIMASI DISTRIBUSI LPG MENGGUNAKAN ALGORITMA ACS-RVND PADA MODEL MULTI-TRIP VRPTW: STUDI KASUS PT. SEULAWAH INONG

Rafi Ferdian Nugroho

Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Malang, Malang, Indonesia
e-mail: rafi.ferdian.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

PT. Seulawah Inong menghadapi tantangan dalam menentukan rute distribusi gas LPG yang efisien karena adanya keterbatasan kapasitas kendaraan dan batasan waktu pengiriman (*time windows*) yang harus dipatuhi untuk setiap pelanggan. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan rute distribusi menggunakan model *Multi-Trip Vehicle Routing Problem with Time Windows* (MTVRPTW) dengan menerapkan algoritma *Ant Colony System with Randomized Variable Neighborhood Descent* (ACS-RVND). Metode ini menggabungkan kemampuan eksplorasi koloni semut dengan perbaikan solusi lokal melalui prosedur RVND. Pengujian dilakukan menggunakan data besar yang terdiri dari 1 depot dan 40 pangkalan di wilayah Malang menggunakan parameter 10 semut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma ACS-RVND berhasil membentuk lima rute distribusi optimal dengan memanfaatkan 3 armada kendaraan. Total jarak tempuh yang dihasilkan adalah sebesar 76,06 km dengan total waktu perjalanan selama 1.312,63 menit. Implementasi ini terbukti mampu memberikan solusi distribusi yang lebih terencana untuk meminimalkan jarak dan waktu pengiriman secara keseluruhan.

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

Abstract

PT. Seulawah Inong faces challenges in determining efficient LPG gas distribution routes due to limited vehicle capacity and delivery time windows that must be met for each customer. This study aims to optimize distribution routes using the Multi-Trip Vehicle Routing Problem with Time Windows (MTVRPTW) model by applying the Ant Colony System with Randomized Variable Neighborhood Descent (ACS-RVND) algorithm. This method combines the exploration capabilities of ant colonies with local solution refinement through the RVND procedure. Testing was conducted using large-scale data consisting of 1 depot and 40 bases in the Malang area using a parameter of 10 ants. The results showed that the ACS-RVND algorithm successfully formed five optimal distribution routes utilizing 3 vehicle fleets. The resulting total distance is 76.06 km with a total travel time of 1,312.63 minutes. This implementation is proven to provide a more planned distribution solution to minimize overall distance and delivery time.

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

PENDAHULUAN

Teori graf adalah salah satu konsep dasar dari mata kuliah Matematika Diskrit. Secara umum, graf dapat didefinisikan sebagai pola penghubungan antara himpunan elemen-elemen tidak kosong yang disebut titik dengan himpunan pasangan tidak terurut titik-titik yang disebut sisi, yang berfungsi untuk merepresentasikan objek-objek diskrit beserta hubungannya (Septima dkk., 2024). Teori graf pertama kali diperkenalkan oleh matematikawan Swiss Leonhard Euler pada tahun 1736 melalui makalah akademisnya yang berjudul "The Seven Bridges of Königsberg" (Harisman dkk., 2023).

Dalam kehidupan sehari-hari, teori graf diterapkan untuk memecahkan berbagai persoalan, khususnya masalah logika seperti pencarian lintasan terpendek yang dapat digunakan dalam konteks penentuan jalur distribusi terbaik agar proses pengiriman menjadi lebih cepat dan efisien (Septima dkk., 2024).

Distribusi barang merupakan aspek krusial dalam meningkatkan efisiensi operasional logistik, terutama di Indonesia sebagai negara kepulauan yang menghadapi berbagai tantangan dalam sistem distribusinya (Novita & Aryanny, 2025). Pelaksanaan distribusi merupakan faktor penting bagi perusahaan untuk memastikan produk terkirim secara tepat

kepada pelanggan. Dalam mendukung hal tersebut, perusahaan dituntut untuk merancang proses yang strategi dari segi waktu, jarak, dan tenaga (Kinanti & Aprilia, 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.

Permasalahan *Vehicle Routing Problem* memiliki banyak varian diantaranya yaitu *Vehicle Routing Problem with Time windows* (VRPTW). Varian ini menambahkan syarat agar setiap pelanggan harus dilayani dalam rentang waktu tertentu yang telah ditentukan. Tujuan utama dari VRPTW yaitu meminimalkan total biaya, jarak, waktu yang dibutuhkan sepanjang semua rute kendaraan (Maroof, dkk., 2024). Seiring dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan operasional, masalah VRP berkembang menjadi varian dengan beberapa kendala sekaligus. Salah satunya yaitu *Multi Trip Vehicle Routing Problem with Time windows* (MTVRPTW), di mana kendaraan dapat melakukan lebih dari satu perjalanan dalam satu periode operasional.

Multi-Trip Vehicle Routing Problem with Time windows (MTVRPTW) merupakan pengembangan dari *Vehicle Routing Problem with Time windows* (VRPTW) yang memperbolehkan setiap kendaraan

melakukan beberapa perjalanan selama horizon waktu perencanaan tertentu (Huang, dkk., 2021). Penerapan konsep multi-trip ini membuat masalah menjadi lebih kompleks dibandingkan VRPTW konvensional, yang hanya menuntut setiap kendaraan melakukan satu kali keberangkatan dan kembali ke depot pusat (Ariyani dkk., 2018). Hal ini menuntut strategi optimasi yang lebih cermat untuk meminimalkan jarak tempuh dan biaya operasional sekaligus memenuhi batasan waktu di setiap titik layanan.

PT. Seulawah Inong merupakan perusahaan yang bergerak di bidang distribusi gas untuk berbagai pelanggan di wilayah Malang dan sekitarnya. Dalam kegiatan operasionalnya, perusahaan menghadapi tantangan dalam menentukan rute distribusi yang efisien, terutama karena adanya keterbatasan kapasitas kendaraan serta batas waktu pengiriman yang harus dipatuhi oleh setiap pelanggan. Dalam konteks PT. Seulawah Inong, setiap kendaraan harus mengirimkan gas ke beberapa titik pelanggan dengan jumlah permintaan yang berbeda-beda dan dalam rentang waktu pelayanan tertentu. Jika pengiriman tidak terencana dengan baik, hal ini dapat mengakibatkan keterlambatan, peningkatan biaya operasional, dan ketidakefisienan penggunaan kendaraan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, salah satu pendekatan yang digunakan adalah *Ant Colony System with Randomized Variable Neighborhood Descent* (ACS-RVND) (Dianita, 2023; Lovina, 2023; Jannah, 2023). Metode ini memanfaatkan perilaku koloni semut dalam membentuk rute terbaik dan kemudian menyempurnakannya melalui proses perbaikan lokal, sehingga diharapkan mampu menghasilkan solusi distribusi yang lebih efisien bagi PT. Seulawah Inong.

KAJIAN TEORI

A. *Multi Trip Vehicle Routing Problem with Time windows* (MTVRPTW)

Berikut ini adalah formulasi matematis dari MTVRPTW (Jannah, 2023).

Fungsi Tujuan:

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} x_{ijk}$$

Kendala (*constraint*):

- a. Setiap pelanggan harus dikunjungi tepat satu kali dari satu kendaraan

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in V} x_{ijk} = 1, \forall i \in N$$

- b. Setiap kendaraan yang berangkat dari depot wajib kembali ke depot yang sama.

$$\sum_{j \in N} x_{0jk} = 1, \forall k \in K$$

$$\sum_{j \in N} x_{j0k} = 1, \forall k \in K$$

- c. Jika kendaraan masuk ke suatu pelanggan, maka kendaraan itu juga harus keluar dari pelanggan tersebut.

$$\sum_{i \in V} x_{ijk} - \sum_{i \in V} x_{jik} = 0, \forall k \in K, j \in N$$

- d. Total permintaan pelanggan yang dilayani pada satu rute tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan.

$$\sum_{i \in V} q_i \sum_{i \in V} x_{ijk} \leq Q, \forall k \in K$$

- e. Kendaraan harus selesai mengantar barang dan kembali ke depot sebelum batas waktu yang ditentukan.

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in N} x_{ijk}(t_{ij} + w_{ik} + f_i) \leq l_0, \forall k \in K$$

- f. Total waktu perjalanan setiap kendaraan tidak boleh melebihi batas waktu maksimum yang ditentukan.

$$\sum_{r \in R^k} c_{ij} x_{ijk} \leq 1, \forall k \in K$$

- g. Setiap kendaraan harus melakukan setidaknya satu perjalanan dalam satu rute.

$$\sum x_{ijk} \geq 1, \forall k \in K$$

- h. Nilai variabel keputusan harus berupa 0 atau 1.

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \forall k \in K, (i,j) \in A$$

Keterangan Variabel dan Parameter:

V : himpunan titik yang mewakili depot dan pelanggan

N : himpunan titik yang mewakili pelanggan

A : himpunan sisi

q_i : permintaan pada pelanggan $i \in \{1,2,3,\dots,n\}$

c_{ij} : jarak dari pelanggan i ke j

t_{ij} : waktu tempuh dari pelanggan i ke j

k : banyak kendaraan

K : himpunan kendaraan

w_{ik} : waktu tunggu kendaraan pada pelanggan

ke i

x_{ijk} : Bernilai 1 jika kendaraan k melakukan perjalanan dari i ke j , 0 jika lainnya

c_{ijk} : jarak tempuh kendaraan k melewati (i,j)

Q : kapasitas kendaraan

R^k : himpunan rute yang ditempuh kendaraan

f_i : Waktu pelayanan untuk pelanggan i

e_i : Waktu pelayanan paling awal untuk pelanggan i

l_i : Waktu pelayanan paling akhir untuk pelanggan i

l_0 : Waktu akhir semua pelayanan (kembali ke depot)

B. Algoritma ACS-RVND

Algoritma ACS-RVND merupakan gabungan algoritma Ant Colony System (ACS) dan Randomized Variable Neighborhood Search (RVND) yang dirancang untuk menghasilkan solusi lebih baik dari solusi yang telah dibentuk sebelumnya. Secara umum, algoritma ACS-RVND terdiri dari tiga tahap utama, yaitu tahap pembentukan solusi awal dengan menggunakan algoritma ACS, tahap perbaikan solusi melalui prosedur RVND, serta tahap penerimaan solusi akhir berdasarkan kriteria tertentu.

Algoritma ACS memiliki kemampuan dalam mengeksplorasi beragam alternatif rute secara efektif melalui mekanisme pencarian yang meniru perilaku semut dalam menandai lintasan terbaik menggunakan feromon sehingga algoritma dimanfaatkan untuk membentuk solusi awal. Selanjutnya, RVND digunakan untuk meningkatkan kualitas solusi dengan memilih urutan *Neighborhood* secara acak. Dalam penelitian da Silva, dkk. (2021), model serupa disebut Multiple Ant Colony System with Randomized Variable Neighborhood Descent (MACSRVND) yang diterapkan pada VRPTW standar dengan satu tipe armada, dimana tahap ACS digunakan untuk konstruksi awal kemudian RVND digunakan untuk meningkatkan kualitas solusi pada tingkat local sehingga menghasilkan total jarak tempuh dan jumlah kendaraan yang lebih efisien serta kompetitif dibandingkan dengan metode lainnya. Berikut ini merupakan tahapan-tahapan algoritma ACS-RVND dalam menyelesaikan permasalahan MTRPTW (Dianita, 2023; Jannah, 2023).

- 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 $j \in M_k$: 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*

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

dan perpindahan *Intra-route* menggunakan $NL' = \{reinsertion, exchange, 2 - opt, Or - opt\}$ 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 MTRVPTW 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 MTRVPTW. 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 MTRVPTW 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

No.	Nama Pelanggan	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 1 Hari		2,221

Perusahaan didukung oleh lima unit truk dengan kapasitas masing-masing 560 tabung dengan kecepatan rata-rata 30 km/jam untuk setiap kendaraan, yang digunakan untuk mengoptimalkan distribusi gas LPG ke seluruh pangkalan.

B. Penyelesaian MTRVPTW pada Data Kecil Secara Manual dengan Algoritma ACS RVND

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

Tabel 3. Tabel Permintaan dan Waktu Pelayanan

Pelanggan	Permintaan	Service time (menit)/f
0	100	50
3	100	50
6	100	50
9	58	29
10	100	50
14	64	32
18	63	32
21	100	50

Berikut tahapan penyelesaian MTRVPTW pada data kecil secara manual:

1. Inisialisasi Solusi Awal

Parameter yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Parameter ACS-RVND

α	β	ρ	q_0	$\sum \text{iterasi}$	Banyak semut
0,1	1	0,1	0,9	1	1

Kemudian menentukan solusi *Nearest Neighbor* dari data kecil dan didapat hasil seperti yang tertera pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Solusi *Nearest Neighbor*

Kendaraan	Rute	Jarak (km)	Waktu (menit)
1	0 – 5 – 2 – 6 – 8 – 4 – 1 – 0	26,303	303,612
2	0 – 3 – 7 – 0	24,2	129,9
Total Jarak		50,503	433,712

Selanjutnya dilanjutkan dengan pembentukan *Tabulist* dengan menentukan nilai *Visibility* terlebih dahulu. Nilai *Visibility* yaitu $\frac{1}{c_{ij}}$. Proses selanjutnya yaitu inisialisasi pheromone awal dengan memilih pelanggan 18 sebagai pelanggan yang dikunjungi pertama. Pada proses ini didapatkan hasil akhir pembentukan solusi awal yang terdapat pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pembentukan Solusi Awal

Kendaraan	Rute	Jarak (km)	Waktu (menit)
1	0 – 7 – 1 – 3 – 8 – 4 – 6 – 0	33	309
2	0 – 2 – 5 – 0	9,303	118,606
Total		42,303	427,606

Selanjutnya melakukan *Updating pheromone local* dari hasil solusi awal yang didapat.

Setelah tahap inisialisasi solusi awal selesai, tahap selanjutnya yaitu perbaikan solusi menggunakan algoritma RVND.

2. Perbaikan Solusi RVND

Proses perhitungan bisa dilakukan dengan bantuan Microsoft Excel. Berdasarkan hasil perhitungan pada tahap perbaikan solusi RVND, diperoleh hasil pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perbaikan RVND.

Kendaraan	Rute	Jarak (km)	Waktu (Menit)
Truk 1	0 – 4 – 7 – 1 – 3 – 8 – 5 – 0	26,503	313,506
Truk 2	0 – 2 – 6 – 0	11,1	104,2
Total		37,603	417,706

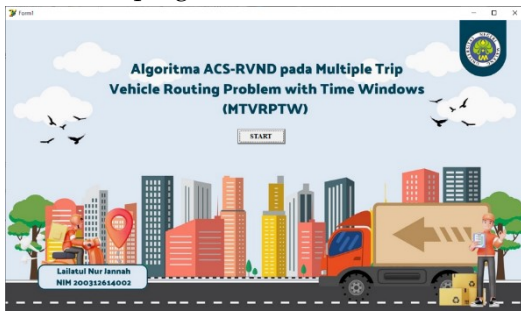
3. Penerimaan Solusi

Pada tahap awal, jumlah semut yang digunakan dalam perhitungan telah ditentukan sebanyak satu, sehingga proses iterasi dapat diselesaikan. Berdasarkan hasil iterasi tersebut, diperoleh solusi terbaik yang kemudian menjadi hasil akhir dari proses optimasi yaitu hasil perbaikan RVND.

C. Penyelesaian MTRVPTW pada Data Kecil dengan Aplikasi ACS RVND

Berikut langkah-langkah penyelesaian masalah penentuan rute distribusi optimal menggunakan aplikasi algoritma ACS-RVND pada permasalahan MTRVPTW.

- 1) Jalankan aplikasi hingga muncul halaman beranda seperti Gambar 1. Tekan tombol "START" untuk masuk ke tampilan menu utama program



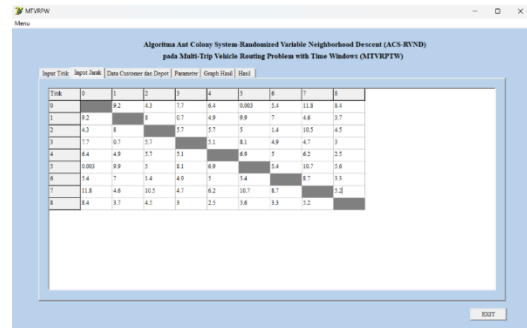
Gambar 1. Cover Aplikasi

- 2) Masukkan ke menu "Input Titik". Tentukan jumlah titik (termasuk depot dan pelanggan).



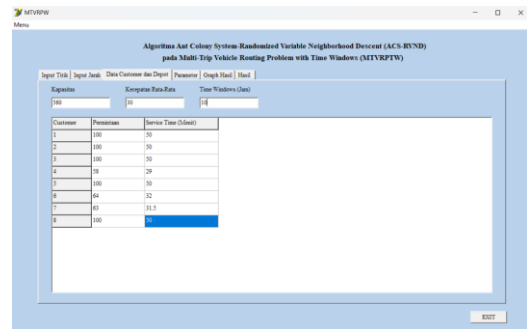
Gambar 2. Menu "Input Titik" (Data Kecil)

- 3) Setelah titik dimasukkan, buka menu "Input Jarak". Masukkan jarak antartitik lokasi secara manual.



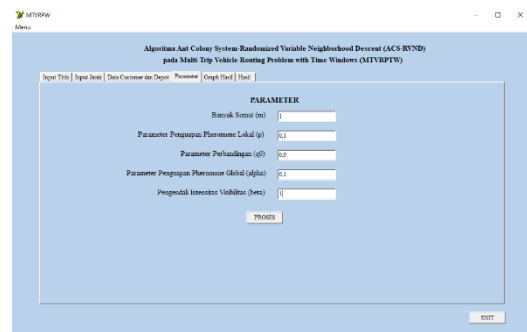
Gambar 3. Menu "Input Jarak" (Data Kecil)

- 4) Buka menu "Data Customer dan Depot" untuk memasukkan data utama.



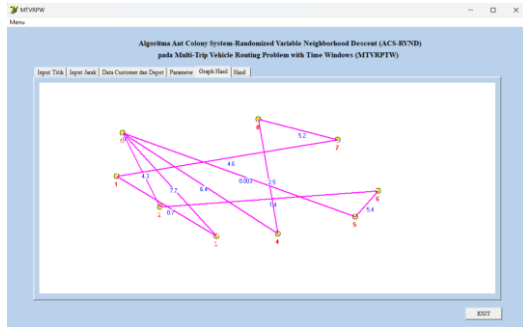
Gambar 4. Menu "Data Customer dan Depot" (Data Kecil)

- 5) Buka menu "Parameter" untuk memasukkan parameter algoritma. Gunakan parameter yang sama dengan penyelesaian secara manual.

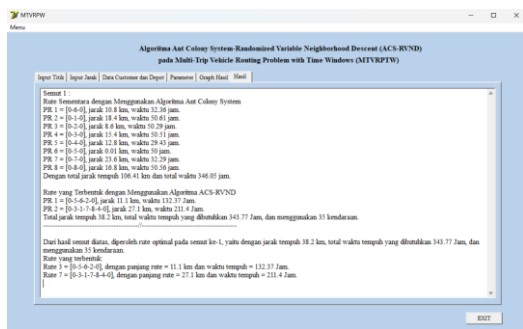


Gambar 5. Menu "Parameter" (Data Kecil)

- 6) Setelah semua data terisi lengkap, tekan tombol "Proses" untuk menjalankan algoritma.
- 7) Lihat hasil graf berarah yang terbentuk di menu "Graph Hasil" dan detail perhitungan pada menu "Hasil". Hasil yang diperoleh tertera di tabel 8.



Gambar 6. Menu “Graph Hasil” (Data Kecil)



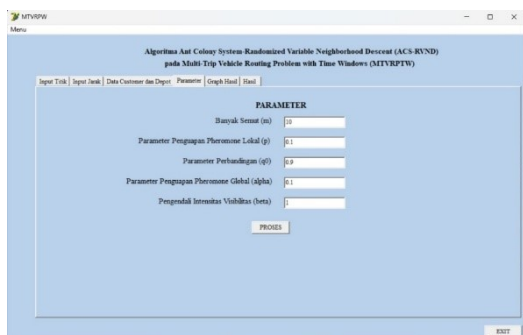
Gambar 7. “Menu Hasil” (Data Kecil)

Tabel 8. Hasil Penyelesaian MTRVPTW pada Data Kecil dengan Aplikasi

Semut	Rute	Total Jarak (km)	Total Waktu (menit)
1	Rute 1 : 0 – 5 – 6 – 2 – 0 Rute 2 : 0 – 3 – 1 – 7 – 8 – 4 – 0	38.2	343,77

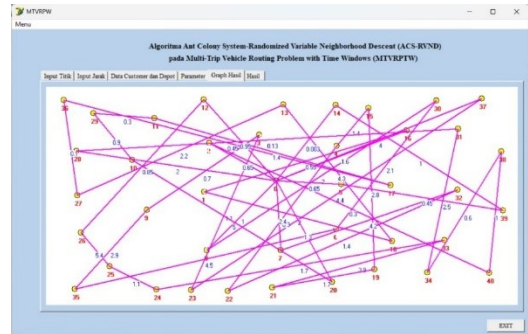
D. Penyelesaian MTRVPTW pada Data Besar dengan Aplikasi ACS RVND

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

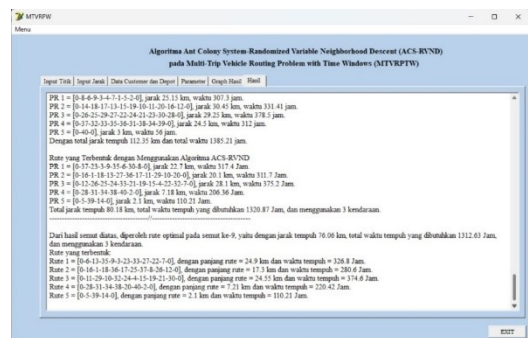


Gambar 8. Menu “Parameter” (Data Besar)

Berikut adalah hasil perhitungan data besar aplikasi menggunakan algoritma ACS-RVND pada permasalahan MTRVPTW yang ditampilkan pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Menu “Graph Hasil” (Data Besar)



Gambar 10. Menu “Hasil” (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 memiliki urutan perjalanan 0 → 6 → 13 → 35 → 9 → 3 → 23 → 33 → 27 → 22 → 7 → 0 dengan panjang rute 24,9 km dan waktu tempuh 326,8 menit. Rute 2 memiliki urutan perjalanan 0 → 16 → 1 → 18 → 36 → 17 → 25 → 37 → 8 → 26 → 12 → 0 dengan panjang rute 17,3 km dan waktu tempuh 280,6 menit. Rute 3 memiliki urutan perjalanan 0 → 11 → 29 → 10 → 32 → 24 → 4 → 15 → 19 → 21 → 30 → 0 dengan panjang rute 24,55 km dan waktu tempuh 374,6 menit. Rute 4 memiliki urutan perjalanan 0 → 28 → 31 → 34 → 38 → 20 → 40 → 2 → 0 dengan panjang rute 7,21 km dan waktu tempuh 220,42 menit. Rute 5 memiliki urutan perjalanan 0 → 5 → 39 → 14 → 0 dengan panjang rute 2,1 km dan waktu tempuh 110,21 menit. Dari keseluruhan rute tersebut, diperoleh total jarak

tempuh 76,06 km dan total waktu perjalanan 1.312,63 menit, dengan kebutuhan 3 kendaraan. Nilai tersebut merupakan hasil akhir dari proses optimasi menggunakan algoritma ACS-RVND pada kasus MTRVPTW

PENUTUP

SIMPULAN

Penerapan aplikasi algoritma ACS-RVND pada permasalahan MTRVPTW berhasil menentukan lima rute distribusi gas LPG secara optimal dengan memanfaatkan 3 armada kendaraan. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan parameter 10 semut, diperoleh rute distribusi sebagai berikut:

Rute 1: Depot (0) → Dana Mulia (6) → Kamsiati (13) → Toko Lumintu (35) → Hadi (9) → Bambang Sis Kuncoro (3) → Rachmad Subekti (23) → Toko Bedak 2 (33) → SPBU 54.651.21 (27) → Pak Rite (22) → Darmiati/Sableng (7) → Depot (0). (Jarak: 24,9 km, Waktu: 326,8 menit),

Rute 2: Depot (0) → Mochamad Makin (16) → Andik (1) → Mursidi/Jack (18) → Toko Nusantara (36) → Muntiasih (17) → Slamet Budiadi (25) → Toko Qomariyah (37) → Gondo Susadam (8) → Sofya Savira (26) → Jaenal Arifin (12) → Depot (0). (Jarak: 17,3 km, Waktu: 280,6 menit),

Rute 3: Depot (0) → Hafis (11) → Suryanto (29) → Hadi Budiman (10) → Toko Azzamart (32) → Ratna Intan Sinaga (24) → Bu Emi (4) → Khomariyatul Badriyah (15) → Newin Yulianto (19) → Nuryati (21) → Thuning Sumaeni (30) → Depot (0). (Jarak: 24,55 km, Waktu: 374,6 menit),

Rute 4: Depot (0) → Sujatmoko (28) → Titi Motor/Ramli (31) → Toko Diva (34) → Toko Tulus (38) → Nurul Ma'rifatul Janah (20) → Wiwik Suyanti (40) → Ari Wibisono (2) → Depot (0). (Jarak: 7,21 km, Waktu: 220,42 menit),

Rute 5: Depot (0) → Burhan (5) → Tutik Winarti (39) → Karya Bersama (14) → Depot (0). (Jarak: 2,1 km, Waktu: 110,21 menit).

Dari keseluruhan rute tersebut, diperoleh total jarak tempuh 76,06 km dan total waktu perjalanan 1.312,63 menit, dengan kebutuhan 3 kendaraan. Strategi distribusi yang dihasilkan memastikan seluruh permintaan pelanggan terpenuhi dengan tetap mematuhi batasan waktu operasional (*time*

windows) masing-masing pangkalan dan kapasitas kendaraan.

SARAN

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan untuk mempertimbangkan penerapan algoritma hibrida lain atau pengembangan dari Multiple Ant Colony System (MACS-RVND) guna membandingkan efisiensi rute yang dihasilkan. Selain itu, penelitian dapat dikembangkan dengan menambahkan variabel biaya bahan bakar atau mempertimbangkan kondisi lalu lintas yang dinamis agar model distribusi menjadi lebih realistis.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyani, A. K., Mahmudy, W. F., & Anggodo, Y. P. (2018). Hybrid Genetic Algorithms and Simulated Annealing for Multi-trip Vehicle Routing Problem with Time windows. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 8(6), 4713. <https://doi.org/10.11591/ijece.v8i6.pp4713-4723>
- 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.
- da Silva Júnior, dkk (2021). A multiple ant colony system with random variable neighborhood descent for the dynamic vehicle routing problem with time windows. *Soft Computing*, 25(4), 2935-2954. <https://doi.org/10.1007/s00500-020-05350-4>
- Dianita, C, A. (2023) Algoritma acs-rvnd pada heterogeneous fleet Vehicle Routing Problem with Time windows (MTRVPTW) dan implementasinya. Sarjana skripsi, Universitas Negeri Malang.
- Harisman, Y., Pratiwi, N.I., & Harun, L. (2023). Eksplorasi Pemahaman Mahasiswa Calon Guru Pada Lintasan Terpendek Dengan Pengaplikasian Teori Graf. *Delta: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika*. 11(2). 213-224. <https://doi.org/10.31941/delta.v11i2.2785>
- Huang, N., Li, J., Zhu, W., & Qin, H. (2021). The multi-trip Vehicle Routing Problem with Time windows and unloading queue at depot. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 152. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102370>
- 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>
- Jannah, L, N. (2023) Algoritma acs-rvnd pada *Multi Trip Vehicle Routing Problem with Time windows* (mtvrptw) dan implementasinya. Sarjana skripsi, Universitas Negeri Malang.
- 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>
- Lovina, A, V. (2023) Algoritma ant colony *system-randomized variable Neighborhood descent* (acs-rvnd) pada open *Vehicle Routing Problem with Time windows* (ovrptw) dan implementasinya / Anggi Vidila Lovina</p>. Diploma thesis, Universitas Negeri Malang.
- 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>
- Novitasari, F., & Aryanny, E. (2025). Route Optimization Using Ant Colony for Three-Wheel Vehicle Delivery: Optimasi Rute Menggunakan Koloni Semut untuk Pengiriman Kendaraan Roda Tiga. *Academia Open*, 10(2), 10-21070. <https://doi.org/10.21070/acopen.10.2025.11192>
- 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>
- Septima, R., Zulfa, I., & Wulandari, M. (2024). Pelatihan Penentuan Jalur Distribusi Pupuk Terbaik Menggunakan Teori Graf di PT Iskandar Muda Kabupaten Aceh Utara. *Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat Indonesia*. 3(1). 37-45. <https://doi.org/10.55542/jppmi.v3i1.973>