

OPTIMASI *SPLIT DELIVERY VEHICLE ROUTING PROBLEM* DENGAN KETIDAKPASTIAN PERMINTAAN: STUDI KASUS PT. REZEKI SURYA GASINDO

Rts Syakila Yuanza¹, Syamsyida Rozi^{2§}, Niken Rarasati³

¹Program Studi Matematika, Universitas Jambi, Jambi [Email: yzkila58@gmail.com]

²Program Studi Matematika, Universitas Jambi, Jambi [Email: syamsyida.rozi@unja.ac.id]

³Program Studi Matematika, Universitas Jambi, Jambi [Email: nikenrarasati@unja.ac.id]

[§]Corresponding Author

ABSTRACT

Distribution activities at PT Rezeki Surya Gasindo face challenges due to limited vehicle capacity and uncertain customer demand, which complicate route planning and may affect distribution performance. This study aims to model and optimize the Split Delivery Vehicle Routing Problem (SDVRP) under demand uncertainty. The problem is formulated using Integer Linear Programming (ILP), where demand uncertainty is incorporated into the optimization framework to ensure that the resulting solutions remain feasible under varying customer demands. The model is implemented using Python with the PuLP library and further solved using a Genetic Algorithm based on the company's distribution data. The results show that the proposed SDVRP model produces a distribution plan with a minimum total travel distance of 54.60 km. The optimal solution consists of two main routes: Route 1 serves Depot – Jalan Baru – Talang Gulo – Depot with a total delivery of 20 cylinders, while Route 2 serves Depot – Talang Gulo – Jeramba Bolong – Jambi Timur – Depot with a total delivery of 20 cylinders. These results demonstrate the applicability of the proposed SDVRP model in generating feasible distribution routes under demand uncertainty.

Keywords: Genetic Algorithm, Integer Linear Programming, Route Optimization, SDVRP, Uncertain Demand

1. PENDAHULUAN

PT Rezeki Surya Gasindo (RSG) merupakan perusahaan swasta yang memproduksi gas medis dan industri serta menyediakan layanan distribusi langsung kepada pelanggan di Kota Jambi. Dalam operasional distribusinya, perusahaan menghadapi tantangan dalam penentuan rute pengiriman yang dipengaruhi oleh keterbatasan kapasitas kendaraan serta fluktuasi permintaan pelanggan. Perusahaan hanya memiliki satu unit kendaraan L300 dengan kapasitas 20 tabung gas oksigen untuk melayani seluruh pelanggan. Kondisi ini memungkinkan terjadinya pengiriman lebih dari satu kali ke pelanggan yang sama apabila permintaan melebihi kapasitas kendaraan. Selain itu, perubahan permintaan secara mendadak berpotensi mempengaruhi perencanaan distribusi, sementara penentuan rute masih didasarkan pada pengalaman pengemudi tanpa pendekatan optimasi yang

sistematis. Hal ini menunjukkan adanya peluang untuk meningkatkan efisiensi distribusi melalui penerapan model optimasi rute yang lebih terstruktur.

Permasalahan distribusi telah banyak dikaji dalam kerangka optimasi rute. Salah satunya ditunjukkan oleh penelitian (Rangkuti et al., 2025), yang mengoptimalkan pengiriman tandan buah segar kelapa sawit menggunakan metode *Saving Matrix* dan algoritma *Best First Search*, serta menunjukkan adanya penghematan jarak tempuh yang signifikan dibandingkan rute konvensional. Hasil tersebut menegaskan bahwa penerapan metode optimasi rute mampu meningkatkan efisiensi distribusi secara nyata pada sistem logistik (Rangkuti et al., 2025). Permasalahan tersebut termasuk dalam kategori *Vehicle Routing Problem* (VRP), yaitu model optimasi yang bertujuan meminimalkan total jarak atau biaya distribusi (Hajar et al., 2025; Toth & Vigo, 2014).

Salah satu varian dari VRP adalah *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP), yang mengasumsikan setiap pelanggan dilayani tepat satu kali. Namun, asumsi ini tidak sesuai dengan kondisi nyata perusahaan, di mana permintaan pelanggan sering melebihi kapasitas kendaraan. Oleh karena itu, model yang lebih relevan adalah *Split Delivery Vehicle Routing Problem* (SDVRP), yang memungkinkan satu pelanggan dilayani melalui beberapa kali pengiriman (Toth & Vigo, 2014).

Permasalahan menjadi semakin kompleks dengan adanya ketidakpastian permintaan yang dapat berubah secara tiba-tiba. Ketidakpastian ini menyebabkan rute distribusi menjadi tidak stabil, berpotensi melanggar kapasitas kendaraan, serta meningkatkan biaya dan menurunkan tingkat pelayanan (Januantoro et al., 2021). Berdasarkan kondisi tersebut, permasalahan utama dalam penelitian ini adalah bagaimana menentukan rute distribusi yang optimal dengan mempertimbangkan keterbatasan kapasitas kendaraan, kemungkinan pengiriman parsial, serta ketidakpastian permintaan pelanggan.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, digunakan pendekatan *Robust Optimization* yang mampu menghasilkan solusi yang tetap layak terhadap variasi permintaan. Model diformulasikan dalam kerangka Integer Linear Programming (ILP) karena variabel keputusan berupa jumlah pengiriman bersifat bilangan bulat dan harus memenuhi kendala kapasitas kendaraan. Model kemudian diselesaikan menggunakan perangkat lunak Python dengan pustaka PuLP. Pendekatan ini memberikan solusi optimal yang dapat dijadikan acuan dalam menentukan rute distribusi terbaik pada kondisi deterministik maupun di bawah ketidakpastian.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penerapan *Split Delivery Vehicle Routing Problem* (SDVRP) dapat meningkatkan efisiensi distribusi dibandingkan model klasik seperti CVRP, khususnya dalam kondisi keterbatasan kapasitas kendaraan dan permintaan yang bervariasi. SDVRP memungkinkan pemenuhan permintaan pelanggan secara parsial melalui beberapa kunjungan, sehingga dapat mengurangi total jarak tempuh dan meningkatkan pemanfaatan kapasitas kendaraan (Archetti & Speranza, 2008; Toth & Vigo, 2014).

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model SDVRP dengan pendekatan *Robust Optimization* dalam kerangka ILP guna menentukan rute distribusi yang optimal, sehingga dapat meminimalkan biaya operasional pada PT RSG.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif terapan yang bertujuan untuk mengoptimalkan sistem distribusi gas pada PT RSG melalui pendekatan pemodelan matematis. Objek kajian dalam penelitian ini adalah penentuan rute distribusi yang optimal di wilayah Kota Jambi.

Data yang digunakan terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi dan dokumentasi langsung di perusahaan, meliputi daftar pelanggan tetap, jumlah permintaan tabung gas, serta kapasitas kendaraan distribusi. Sedangkan data sekunder berupa jarak antar lokasi pelanggan dan depot diperoleh dari *Google Maps*. Tabel 1 menyajikan pelanggan aktif (yang dinyatakan dalam kode numerik). Empat pelanggan ini dilayani dalam periode distribusi tertentu.

Tabel 1. Nama Pelanggan PT RSG

Kode Pelanggan	Alamat
1	Jeramba Bolong
2	Talang Gulo
3	Jalan Baru
4	Jambi Timur

Jarak PT RSG dengan lokasi pelanggan-pelanggan disajikan pada Tabel 2, dengan 0 adalah kode untuk depot PT RSG.

Tabel 2. Jarak PT RSG dan Pelanggan (km)

	0	1	2	3	4
0	0	12,7	5,5	5	12,1
1	12,7	0	7,7	14,2	8,3
2	5,5	7,7	0	10,5	13,2
3	5	14,2	10,5	0	12,5
4	12,1	8,3	13,2	12,5	0

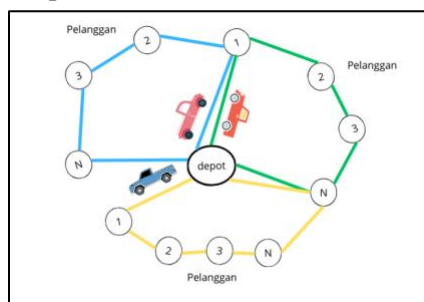
Penelitian ini menggunakan data distribusi tabung gas oksigen dari empat pelanggan tersebut. Berdasarkan data yang diperoleh, dihitung rata-rata dan standar deviasi permintaan tabung gas dari setiap pelanggan di PT RSG, dan kemudian disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Permintaan Tabung Gas (unit)

Pelanggan (i)	1	2	3	4
Rata-rata permintaan ($\bar{d}_i$)	4,25	14,75	7	5,5
Standar deviasi Permintaan ($\hat{d}_i$)	0,5	2,5	1,8	1,9

Permasalahan distribusi dalam penelitian ini dikaji dalam kerangka VRP, yaitu model optimasi yang bertujuan menentukan rute kendaraan secara optimal untuk meminimalkan total jarak tempuh atau biaya distribusi. Diperkenalkan oleh Dantzig dan Ramser pada 1959, VRP menjadi salah satu masalah optimasi kombinatorial paling banyak diteliti di bidang logistic dan transportasi (Toth & Vigo, 2014). Ada pun tujuan dari penyelesaian masalah dengan VRP diantaranya Meminimalkan total biaya transportasi, termasuk jarak tempuh dan biaya operasional kendaraan, menyeimbangkan beban rute dari segi waktu perjalanan dan muatan kendaraan agar setiap kendaraan digunakan tetap efisien dan meminimalkan penalti layanan, seperti keterlambatan atau permintaan yang tidak terpenuhi (Moudya et al., 2023; Toth & Vigo, 2014).

Salah satu pengembangan dari VRP adalah CVRP, yang mempertimbangkan keterbatasan kapasitas kendaraan dengan asumsi bahwa setiap pelanggan hanya dilayani satu kali. Namun, asumsi tersebut tidak sepenuhnya sesuai dengan kondisi nyata di PT RSG, di mana permintaan pelanggan seringkali melebihi kapasitas kendaraan sehingga diperlukan lebih dari satu kali pengiriman ke pelanggan yang sama. Oleh karena itu, digunakan model SDVRP, yang merupakan pengembangan dari CVRP dan memungkinkan satu pelanggan dilayani melalui beberapa kali pengiriman, sehingga memberikan fleksibilitas dalam pemenuhan permintaan (Archetti & Speranza, 2008; Toth & Vigo, 2014). Ilustrasi pengiriman barang yang dimodelkan dengan SDVRP disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi SDVRP

Jika permintaan pelanggan bersifat tidak pasti, model SDVRP dapat dikombinasikan dengan pendekatan Robust Optimization untuk mempertimbangkan skenario terburuk dan memastikan solusi tetap layak terhadap variasi permintaan (Ben-Tal et al., 2009; Bertsimas & Sim, 2004). Pendekatan ini telah banyak diterapkan pada permasalahan Vehicle Routing Problem dengan ketidakpastian permintaan dan terbukti mampu meningkatkan keandalan solusi distribusi (Gounaris et al., 2013; Sungur et al., 2008). Ketidakpastian permintaan dimodelkan menggunakan pendekatan *Robust Optimization*, yang ditransformasikan ke dalam bentuk *robust counterpart* sehingga solusi yang diperoleh tetap layak pada berbagai kemungkinan variasi permintaan. Ketidakpastian permintaan dimodelkan menggunakan himpunan ketidakpastian berbentuk interval, di mana nilai permintaan berada dalam rentang tertentu di sekitar nilai nominal

$$d_i^* \in [\bar{d}_i - \hat{d}_i, \bar{d}_i + \hat{d}_i]$$

dengan:

$\bar{d}_i$: Rata-rata nilai permintaan

$\hat{d}_i$: Deviasi maksimum dari permintaan

d_i^* : Permintaan aktual yang tidak pasti

(Ben-Tal et al., 2009; Bertsimas & Sim, 2004).

Teknik penyelesaian masalah rute pengiriman barang diawali dengan formulasi model SDVRP di bawah ketidakpastian permintaan dalam kerangka ILP. Hal ini dikarenakan adanya variabel yang harus bernilai biner yang menyatakan pemilihan, dan variabel yang bernilai bilangan bulat nonnegatif karena menyatakan banyaknya tabung. Selanjutnya penyelesaian model dilakukan menggunakan perangkat lunak Python dengan pustaka PuLP. Prinsip yang dibentuk dalam model SDVRP juga diselesaikan menggunakan algoritma genetika.

Algoritma Genetika (AG), yaitu metode metaheuristik yang terinspirasi dari mekanisme seleksi alam dan evolusi (Goldberg, 1989). Algoritma ini bekerja dengan membangkitkan populasi solusi awal, mengevaluasi kualitas solusi melalui fungsi *fitness*, serta melakukan proses seleksi, *crossover*, dan mutasi secara iteratif untuk menghasilkan solusi yang lebih baik. Keunggulan AG terletak pada kemampuannya dalam menjelajahi ruang solusi secara luas dan menghindari jebakan optimum lokal, sehingga banyak diterapkan dalam penyelesaian permasalahan optimasi rute,

termasuk VRP dan variannya (Ochelska-Mierzejewska et al., 2021). Selain itu, beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa Algoritma Genetika efektif dalam meningkatkan efisiensi rute distribusi dibandingkan metode konvensional (Moudya et al., 2023; Ochelska-Mierzejewska et al., 2021).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Model SDVRP dikembangkan untuk menangani permintaan pelanggan yang melebihi kapasitas kendaraan dengan *split delivery*, yaitu satu pelanggan dapat dilayani oleh lebih dari satu rute dalam sehari sedangkan pendekatan *robust counterpart* digunakan untuk memastikan bahwa solusi tetap layak meskipun terjadi fluktuasi permintaan. Diasumsikan proses distribusi dimulai dari depot menuju empat pelanggan tetap perusahaan. Pengiriman dilakukan menggunakan satu kendaraan dengan dua rute.

Adapun variabel keputusan untuk model SDVRP adalah:

- $X_{i,j,t}$: dilakukan atau tidak dilakukan perjalanan dari i ke j dengan rute t
- $Y_{i,t}$: banyak permintaan pelanggan i yang dikirim pada rute t (dalam satuan unit)
- $U_{i,t}$: urutan kunjungan pelanggan i pada rute t

Variabel $X_{i,j,t}$ bernilai 1 jika dan hanya jika dilakukan perjalanan dari i ke j dengan rute t , dan bernilai 0 jika dan hanya jika tidak dilakukan perjalanan dari i ke j dengan rute t .

Sedangkan parameter yang digunakan dalam model disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter Untuk Model SDVRP

Parameter	Keterangan
N	Jumlah pelanggan
$\bar{d}_i$	Rata-rata permintaan pelanggan i
$\hat{d}_i$	Standar deviasi permintaan pelanggan i
Q_t	Kapasitas kendaraan pada rute ke t
$C_{i,j}$	Jarak dari pelanggan i ke pelanggan j

Fungsi tujuan pada penelitian ini adalah meminimalkan total jarak tempuh rute pengiriman. Diasumsikan dalam 1 hari, ada 2 rute perjalanan yang dilakukan oleh kendaraan pengangkut. Sehingga, fungsi tujuan dari model SDVRP yang dibentuk adalah

Meminimumkan

$$Z = \sum_{t=1}^2 \sum_{i=0}^4 \sum_{j=0}^4 C_{i,j} \cdot X_{i,j,t} \quad (1)$$

dengan Z menyatakan total jarak tempuh kendaraan pengangkut pada rute 1 dan rute 2 (dalam satuan km). Kendala dalam model SDVRP adalah sebagai berikut:

- 1) Setiap pelanggan harus dikunjungi minimal satu kali:

$$\sum_{t=1}^2 \sum_{i=0}^4 X_{i,j,t} \geq 1 \quad (2)$$

$$\forall j = 1,2,3,4$$

- 2) Setiap rute diawali dan diakhiri di depot PT RSG:

$$\sum_{j=1}^4 X_{0,j,t} = 1 \text{ dan } \sum_{i=1}^4 X_{i,0,t} = 1, \quad (3)$$

$$\forall t = 1,2$$

- 3) Keseimbangan perjalanan, yaitu kendaraan yang masuk ke pelanggan p pada suatu rute t harus sama dengan kendaraan yang keluar dari pelanggan p tersebut, sehingga kendaraan dapat melanjutkan perjalanan tanpa ada rute yang terputus:

$$\sum_{i=0}^4 X_{i,p,t} = \sum_{j=0}^4 X_{p,j,t}, \quad (4)$$

$$\forall p = 1,2,3,4 \text{ dan } \forall t = 1,2$$

- 4) Depot merupakan titik awal kunjungan:

$$U_{0,t} = 0 \quad (5)$$

$$\forall t = 1,2$$

- 5) Urutan kunjungan pelanggan i pada rute t tidak melebihi jumlah maksimum pelanggan yang dapat dikunjungi:

$$U_{i,t} \leq N \cdot \sum_{j=0}^4 X_{j,i,t} \quad (6)$$

$$\forall j = 1,2,3,4 \text{ dan } \forall t = 1,2$$

- 6) Urutan kunjungan pelanggan i pada rute t tidak lebih kecil dari jumlah kunjungan yang dilakukan ke pelanggan i tersebut:

$$U_{i,t} \geq \sum_{j=0}^4 X_{j,i,t} \quad (7)$$

$$\forall j = 1,2,3,4 \text{ dan } \forall t = 1,2$$

- 7) Jika kendaraan berangkat dari pelanggan i ke j pada suatu rute ($X_{i,j,t} = 1$), maka urutan kunjungan harusnya meningkat, yaitu $U_j > U_i$. Hal ini supaya semua pelanggan akan terhubung dalam suatu rute yang valid:

$$U_{i,t} - U_{j,t} + N \cdot X_{i,j,t} \leq N - 1 \quad (8)$$

$\forall i = 1,2,3,4$ dan $i \neq j$

- 8) Setiap pelanggan dilayani oleh kendaraan yang tersedia. Dalam wujud *robust counterpart*, digunakan informasi pada Tabel 3:

$$Y_{i,t} \leq (\bar{d}_i + \hat{d}_i) \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^4 X_{j,i,t} \quad (9)$$

$\forall j = 1,2,3,4$ dan $\forall t = 1,2$

- 9) Seluruh permintaan pelanggan harus terpenuhi. Dalam wujud *robust counterpart*, digunakan informasi pada Tabel 3:

$$\sum_{t=1}^2 Y_{i,t} \geq (\bar{d}_i + \hat{d}_i) \quad (10)$$

- 10) Pengiriman harus memenuhi kapasitas kendaraan, yaitu maksimal 20 tabung gas untuk setiap kendaraan untuk setiap rute:

$$\sum_{i=1}^4 Y_{i,t} \leq Q_t \quad (11)$$

$\forall t = 1,2$

- 11) Batasan untuk variabel keputusan:

$$X_{i,j,t} \in \{0,1\},$$

$$Y_{i,t} \in \mathbb{Z}^+ \cup \{0\},$$

$$U_{i,t} \in \mathbb{Z}^+ \cup \{0\}.$$

Model SDVRP di atas diselesaikan menggunakan pustaka PuLP pada python. Dan diperoleh solusi dari model SDVRP, yaitu yang berkaitan dengan nilai $X_{i,j,t}$ disajikan pada Tabel 5, nilai $Y_{i,t}$ disajikan pada Tabel 6, dan nilai $U_{i,t}$ pada Tabel 7.

Tabel 5. Solusi Berkaitan $X_{i,j,t}$

Rute 1	Rute 2
$X_{0,1,1} = 0$	$X_{0,1,2} = 0$
$X_{1,0,1} = 0$	$X_{1,0,2} = 0$
$X_{2,0,1} = 1$	$X_{2,0,2} = 1$
$X_{3,0,1} = 0$	$X_{3,0,2} = 0$
$X_{4,0,1} = 0$	$X_{4,0,2} = 0$
$X_{0,2,1} = 0$	$X_{0,2,2} = 0$
$X_{1,2,1} = 0$	$X_{1,2,2} = 1$
$X_{2,1,1} = 0$	$X_{2,1,2} = 0$
$X_{3,1,1} = 0$	$X_{3,1,2} = 0$
$X_{4,1,1} = 0$	$X_{4,1,2} = 1$
$X_{0,3,1} = 1$	$X_{0,3,2} = 0$
$X_{1,3,1} = 0$	$X_{1,3,2} = 0$
$X_{2,3,1} = 0$	$X_{2,3,2} = 0$
$X_{3,2,1} = 1$	$X_{3,2,2} = 0$
$X_{4,2,1} = 0$	$X_{4,2,2} = 0$
$X_{0,4,1} = 0$	$X_{0,4,2} = 1$
$X_{1,4,1} = 0$	$X_{1,4,2} = 0$
$X_{2,4,1} = 0$	$X_{2,4,2} = 0$
$X_{3,4,1} = 0$	$X_{3,4,2} = 0$
$X_{4,3,1} = 0$	$X_{4,3,2} = 0$

Tabel 6. Solusi Berkaitan $Y_{i,t}$

Rute 1	Rute 2
$Y_{1,1} = 0$	$Y_{1,2} = 5$
$Y_{2,1} = 11$	$Y_{2,2} = 7$
$Y_{3,1} = 9$	$Y_{3,2} = 0$
$Y_{4,1} = 0$	$Y_{4,2} = 8$

Tabel 7. Solusi Berkaitan $U_{i,t}$

Rute 1	Rute 2
$U_{1,1} = 0$	$U_{1,2} = 2$
$U_{2,1} = 2$	$U_{2,2} = 3$
$U_{3,1} = 1$	$U_{3,2} = 0$
$U_{4,1} = 0$	$U_{4,2} = 1$

Penerapan Algoritma Genetika

Algoritma genetika untuk menyelesaikan SDVRP dilakukan dengan alur sebagai berikut:

a) Penetapan parameter algoritma genetika

Ukuran populasi (Pop size) : 30 kromosom

Probabilitas *crossover* (pc) : 0,8

Probabilitas mutasi (pm) : 0,1

Jumlah generasi (Generations) : 100

Parameter ini dipilih untuk menyeimbangkan eksplorasi dan eksploitasi selama proses pencarian solusi optimal.

b) Pembentukan populasi awal

Populasi awal dibangun sebagai kumpulan kromosom yang disusun berdasarkan urutan kode pelanggan, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Populasi Awal

Kromosom	(Pelanggan,Banyak Permintaan) Per-Rute
1	[(2,18),(1,2)],[(1,3),(3,9),(4,8)]
2	[(2,18),(1,2)],[(1,3),(4,8),(3,9)]
3	[(2,18),(1,2)],[(3,9),(1,3),(4,8)]
4	[(2,18),(1,2)],[(3,9),(4,8),(1,3)]
5	[(2,18),(1,2)],[(4,8),(1,3),(3,9)]
6	[(2,18),(1,2)],[(4,8),(3,9),(1,3)]
7	[(1,2),(2,18)],[(1,3),(3,9),(4,8)]
8	[(1,2),(2,18)],[(1,3),(4,8),(3,9)]
9	[(1,2),(2,18)],[(3,9),(1,3),(4,8)]
10	[(1,2),(2,18)],[(3,9),(4,8),(1,3)]
11	[(1,2),(2,18)],[(4,8),(1,3),(3,9)]
12	[(1,2),(2,18)],[(4,8),(3,9),(1,3)]
13	[(4,8),(2,12)],[(2,6),(1,5),(3,9)]
14	[(4,8),(2,12)],[(1,5),(2,6),(3,9)]
15	[(4,8),(2,12)],[(1,5),(3,9),(2,6)]
16	[(4,8),(2,12)],[(3,9),(2,6),(1,5)]
17	[(4,8),(2,12)],[(3,9),(1,5),(2,6)]
18	[(4,8),(2,12)],[(2,6),(3,9),(1,5)]
19	[(3,9),(2,11)],[(2,7),(4,8),(1,5)]
20	[(3,9),(2,11)],[(1,5),(4,8),(2,7)]
21	[(3,9),(2,11)],[(1,5),(2,7),(4,8)]
22	[(3,9),(2,11)],[(4,8),(1,5),(2,7)]
23	[(3,9),(2,11)],[(4,8),(2,7),(1,5)]
24	[(3,9),(2,11)],[(2,7),(1,5),(4,8)]
25	[(1,5),(2,15)],[(2,3),(3,9),(4,8)]
26	[(1,5),(2,15)],[(2,3),(4,8),(3,9)]
27	[(1,5),(2,15)],[(3,9),(2,3),(4,8)]
28	[(1,5),(2,15)],[(3,9),(4,8),(2,3)]
29	[(1,5),(2,15)],[(4,8),(3,9),(2,3)]
30	[(1,5),(2,15)],[(4,8),(2,3),(3,9)]

c) Menghitung evaluasi *fitness*

Evaluasi nilai *fitness* dilakukan dengan menghitung total jarak tempuh setiap kromosom dalam populasi menggunakan rumus fungsi *fitness* yang telah dirumuskan sebagai berikut:

$$fitness = \frac{1}{Total\ Jarak}$$

Hasil perhitungan nilai *fitness* untuk populasi awal disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Nilai *Fitness* Setiap Kromosom

Kromosom	Nilai <i>Fitness</i>
1	$\frac{1}{77,4} = 0,01292$
2	$\frac{1}{64,4} = 0,015528$
3	$\frac{1}{65,5} = 0,015267$
4	$\frac{1}{64,4} = 0,015528$
5	$\frac{1}{65,5} = 0,015267$
6	$\frac{1}{77,4} = 0,01292$
7	$\frac{1}{77,4} = 0,01292$
8	$\frac{1}{64,4} = 0,015528$
9	$\frac{1}{65,5} = 0,015267$
10	$\frac{1}{64,4} = 0,015528$
11	$\frac{1}{65,5} = 0,015267$
12	$\frac{1}{77,4} = 0,01292$
13	$\frac{1}{63,2} = 0,015823$
14	$\frac{1}{66,7} = 0,014993$
15	$\frac{1}{73,7} = 0,013569$
16	$\frac{1}{66,7} = 0,014993$
17	$\frac{1}{63,2} = 0,015823$
18	$\frac{1}{73,7} = 0,013569$
19	$\frac{1}{60,7} = 0,016474$
20	$\frac{1}{60,7} = 0,016474$
21	$\frac{1}{66,7} = 0,014993$
22	$\frac{1}{54,6} = 0,018315$
23	$\frac{1}{66,7} = 0,014993$
24	$\frac{1}{54,6} = 0,018315$
25	$\frac{1}{66,5} = 0,015038$
26	$\frac{1}{62,1} = 0,016103$
27	$\frac{1}{66,7} = 0,014993$
28	$\frac{1}{62,1} = 0,016103$
29	$\frac{1}{66,5} = 0,015038$
30	$\frac{1}{66,7} = 0,014993$

d) Proses seleksi

Proses seleksi dilakukan menggunakan metode *Tournament Selection*. Tahapannya dimulai dengan memilih beberapa kromosom secara acak dari populasi digunakan tiga kromosom per tournament. Nilai *fitness* dari kromosom-kromosom tersebut dibandingkan dan kromosom dengan nilai *fitness* tertinggi ditetapkan sebagai pemenang tournament. Kromosom pemenang dipilih sebagai *parent* untuk proses selanjutnya.

e) Proses Crossover

Berdasarkan hasil seleksi dipilih dua kromosom yang digunakan sebagai *parent* untuk proses *crossover*. Sebelum dilakukan penyilangan, dilakukan pengecekan probabilitas *crossover* ($pc = 0,8$). Jika nilai $\text{random} \leq pc$, maka proses *crossover* dapat dilaksanakan, jika tidak kedua *parent* diteruskan ke generasi berikutnya tanpa modifikasi.

Pada penelitian ini, digunakan metode *Route Level Crossover* (RLX).

Asumsi penelitian, terdapat empat pelanggan dengan kode 1,2,3, dan 4 dengan permintaan maksimum masing-masing pelanggan yang didapat dari batas atas *robust optimization*:

Pelanggan 1: 5 tabung

Pelanggan 2: 18 tabung

Pelanggan 3: 9 tabung

Pelanggan 4: 8 tabung

Kapasitas kendaraan (mobil L300) adalah 20 tabung, dengan batasan operasional maksimal dua rute per hari (pagi dan sore).

Parent yang terpilih yaitu kromosom 25 dan 2:

Parent 1: [(1,5),(2,15)],[(2,3),(3,9),(4,8)]

Rute 1: [(1,5),(2,15)]

Rute 2: [(2,3),(3,9),(4,8)]

Parent 2: [(2,18),(1,2)],[(1,3),(4,8),(3,9)]

Rute 1: [(2,18),(1,2)]

Rute 2: [(1,3),(4,8),(3,9)]

Proses *crossover* RLX:

- 1) Pilih satu rute utuh dari parent 1
Ambil rute 1 : [(1,5),(2,15)]
- 2) Hitung sisa permintaan yang belum terpenuhi:
Pelanggan 1: $5 - 5 = 0$ tabung
Pelanggan 2: $18 - 15 = 3$ tabung
Pelanggan 3: 9 tabung (belum dilayani)
Pelanggan 4: 8 tabung (belum dilayani)
- 3) Pilih seluruh rute dari parent 2
 - Rute 1: [(2,18),(1,2)]
Lakukan penyesuaian:
Pelanggan 2 membutuhkan 3 tabung (bukan 18) sesuaikan menjadi (2,3)

Pelanggan 1 sudah dilayani (dihapus)

- Rute 2: [(1,3),(4,8),(3,9)]

Lakukan penyesuaian:

pelanggan 1 sudah dilayani (dihapus)

pelanggan 4 membutuhkan 8 tabung (tambahkan (4,8))

pelanggan 3 membutuhkan 9 tabung (tambahkan (3,9))

4) Gabungkan kebutuhan sisa ke dalam satu rute baru [(2,3),(4,8),(3,9)] total permintaan 20 tabung

5) hasil keturunan RLX:

Anak 1: [(1,5),(2,15)], [(2,3),(4,8),(3,9)]

f) Proses Mutasi

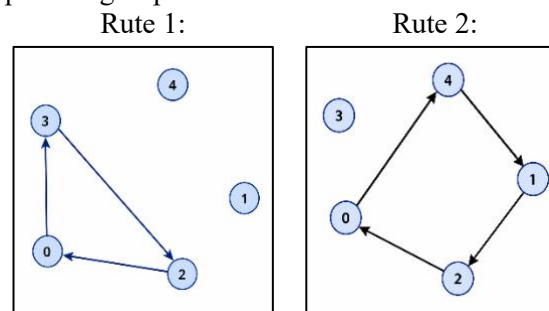
Dari hasil anak yang di dapat dari proses *crossover* agar hasil yang didapat beragam dan dapat lebih optimal maka dapat dilakukan proses mutasi dengan tahapan pengecekan probabilitas mutasi ($pm = 0,1$). Jika nilai $\text{random} \leq pm$, maka proses mutasi dapat dilaksanakan, jika tidak maka hasil *crossover* diteruskan ke generasi berikutnya tanpa modifikasi. Proses mutasi menggunakan metode swap

g) Pembentukan generasi baru

Setelah semua tahapan telah dilakukan maka bentuklah generasi baru dimana generasi ini didapat dari setiap proses yaitu seleksi, *crossover* dan mutasi. Namun pada pengambilan kromosom diproses mutasi harus dibandingkan terlebih dahulu dengan proses *crossover*, dengan cara memilih nilai *fitness* yang lebih besar untuk generasi selanjutnya agar solusi yang didapatkan lebih layak.

Berdasarkan kriteria penghentian yang ditetapkan yaitu tidak adanya peningkatan nilai *fitness* terbaik dalam rentang generasi tertentu maka proses evolusi dihentikan.

Jika nilai-nilai variabel keputusan pada Tabel 5, Tabel 6 dan Tabel 7 dan hasil dari algoritma genetika disajikan dalam bentuk graf, maka diperoleh graf pada Gambar 2.



Gambar 2. Rute Pengiriman Optimal

Solusi-solusi tersebut dapat diinterpretasikan sebagai berikut:

- a) Rute 1: Depot → Jalan Baru (9 tabung) → Talang Gulo (11 tabung) → Depot
- b) Rute 2: Depot → Talang Gulo (7 tabung) → Jeramba Bolong (5 tabung) → Jambi Timur (8 tabung) → Depot

Sehingga total jarak tempuh rute 1 dan rute 2 untuk mendistribusikan semua permintaan pelanggan adalah 54,60 km.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian ini memodelkan dan mengoptimalkan rute distribusi gas pada PT Rezeki Surya Gasindo dengan menerapkan pendekatan *Split Delivery Vehicle Routing Problem* (SDVRP) yang diintegrasikan dengan *Robust Optimization* untuk menangani ketidakpastian permintaan. Berdasarkan hasil implementasi *Integer Linear Programming* (ILP) dan Algoritma Genetika, diperoleh solusi optimal berupa dua rute distribusi utama dengan total jarak tempuh minimum sebesar 54,60 km. Rute pertama melayani pelanggan Jalan Baru dan sebagian kebutuhan Talang Gulo, sementara rute kedua melayani sisa kebutuhan Talang Gulo, Jeramba Bolong, dan Jambi Timur. Model ini terbukti mampu menjamin pemenuhan seluruh permintaan pelanggan meskipun terjadi fluktuasi permintaan, dengan tetap mematuhi batasan kapasitas kendaraan sebesar 20 tabung.

Kelebihan utama dari model yang dikembangkan terletak pada fleksibilitas *split delivery*, yang memungkinkan satu pelanggan dilayani melalui beberapa rute untuk memaksimalkan utilitas kapasitas kendaraan. Penggunaan *Robust Optimization* memberikan keandalan lebih dibandingkan model deterministik karena solusi yang dihasilkan tetap layak (*feasible*) dalam rentang variasi permintaan tertentu. Namun, penelitian ini hanya mencakup variabel yang masih terbatas, di mana optimasi berfokus pada jarak tempuh dan belum mempertimbangkan faktor biaya operasional secara menyeluruh, waktu pengiriman, maupun variasi jenis kendaraan.

Berdasarkan data aktual di lapangan, ditemukan bahwa kondisi distribusi eksisting di PT RSG saat ini masih tidak sistematis dan tidak konsisten. Penentuan rute saat ini hanya didasarkan pada pengalaman pengemudi tanpa jadwal yang terstruktur, sehingga data historis

performa distribusi (seperti total jarak tempuh harian yang presisi). Oleh karena itu, hasil penelitian ini dapat dipertimbangkan sebagai instrumen standarisasi operasional. Model yang diusulkan memberikan keunggulan kompetitif berupa perencanaan yang terukur dan saintifik, yang dapat menggantikan praktik distribusi konvensional yang belum efisien menjadi sistem yang lebih terprediksi dan optimal.

Kemungkinan pengembangan selanjutnya mencakup perluasan model dengan mempertimbangkan aspek *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) untuk menyesuaikan jadwal operasional pelanggan, serta penggunaan metode *stochastic programming* untuk perbandingan performa dengan pendekatan *robust*. Selain itu, pengujian pada skala data pelanggan yang lebih besar sangat disarankan untuk mengevaluasi skalabilitas algoritma metaheuristik yang digunakan.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan model dengan mempertimbangkan aspek yang lebih kompleks seperti *time windows*, variasi jenis kendaraan, serta biaya operasional secara langsung agar lebih merepresentasikan kondisi riil distribusi. Selain itu, pendekatan ketidakpastian permintaan dapat diperluas menggunakan metode *stochastic programming* atau *chance-constrained* untuk memperoleh solusi yang lebih adaptif. Mengingat keterbatasan skala pada penelitian ini, diperlukan pengujian pada data yang lebih besar guna mengevaluasi kinerja model, serta perbandingan dengan metode heuristik atau metaheuristik untuk meningkatkan efisiensi komputasi. Dari sisi implementasi, perusahaan disarankan mulai mengadopsi pendekatan optimasi berbasis model matematis secara bertahap sebagai dasar pengambilan keputusan distribusi yang lebih efisien dan sistematis.

DAFTAR PUSTAKA

- Archetti, C., & Speranza, M. G. (2008). The Split Delivery Vehicle Routing Problem: A Survey. In B. Golden, S. Raghavan, & E. Wasil (Eds.), *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges* (pp. 103–122). Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-77778-8>

8_5

- Ben-Tal, A., Ghaoui, L. El, & Nemirovski, A. (2009). *Robust Optimization*. Princeton University Press.
- Bertsimas, D., & Sim, M. (2004). The Price of Robustness. *Operations Research*, 52(1), 35–53.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1287/opre.1030.0065>
- Goldberg, D. E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.
- Gounaris, C. E., Wiesemann, W., & Floudas, C. A. (2013). The Robust Capacitated Vehicle Routing Problem Under Demand Uncertainty. *Operations Research*, 61(3), 677–693.
<http://www.jstor.org/stable/23474011>
- Hajar, G., Fauzi, M. D., & Harnaningrum, R. N. (2025). Development of an Application Model for Solving the Vehicle Routing Problem (VRP) Using the Nearest Neighbour Approach. *Tekmapro : Journal of Industrial Engineering and Management*, 20(2), 90–99.
<https://doi.org/https://doi.org/10.33005/tekmapro.v20i2.924>
- Januantoro, A., Septiyanto, A. F., & Hapantenda, A. K. W. (2021). PENENTUAN RUTE OPTIMAL PADA DISTRIBUSI BARANG MENGGUNAKAN ALGORITMA GREEDY (Studi Kasus: UD XYZ). *KONVERGENSI*, 17(1), 47–55.
<https://doi.org/https://doi.org/10.30996/konv.v17i1.5295>
- Moudya, F., Rarasati, N., & Syafmen, W. (2023). Optimisasi rute pada cvrp dalam pendistribusian gas oksigen menggunakan algoritma clarke and wright savings 1,2). *Fibonacci: Jurnal Pendidikan Matematika Dan Matematika*, 9(1), 105–118.
<https://doi.org/https://dx.doi.org/10.24853/fbc.9.1.105-118>
- Ochelska-Mierzejewska, J., Poniszewska-Marańda, A., & Marańda, W. (2021). Selected Genetic Algorithms for Vehicle Routing Problem Solving. *Electronics*, 10(24).
<https://doi.org/10.3390/electronics10243147>
- Rangkuti, F. Q., Rozi, S., & Gusmanely, Z. (2025). Optimisasi Pengiriman Tandan Buah Segar Kelapa Sawit untuk Efisiensi Rute Menggunakan Integrasi Metode Saving Matrix dan Algoritma Best First Search. 14(2), 235–246.
- Sungur, I., Ordóñez, F., & Dessouky, M. (2008). A robust optimization approach for the capacitated vehicle routing problem with demand uncertainty. *IIE Transactions*, 40(5), 509–523.
<https://doi.org/10.1080/07408170701745378>
- Toth, P., & Vigo, D. (2014). *Vehicle Routing* (D. Vigo & P. Toth (eds.)). Society for Industrial and Applied Mathematics.
<https://doi.org/10.1137/1.9781611973594>