

Perancangan Rute Pengiriman Produk dengan Metode *Ant Colony Optimization* untuk Minimisasi Biaya Transportasi pada Permasalahan *Split Delivery Vehicle Routing Problem* (Studi Kasus : PD Vina Jaya Snack)

1st Mohammad Faizul Firdaus
School of Industrial Engineering
Telkom University
Bandung, West Java, Indonesia
mohammadfaizulf@student.telkomuniv
esirty.ac.id

2nd Muhammad Nashir Ardiansyah
School of Industrial Engineering
Telkom University
Bandung, West Java, Indonesia
nashiardiansyah@telkomuniversity.ac.i
d

3rd Seto Sumargo
School of Industrial Engineering
Telkom University
Bandung, West Java, Indonesia
setosumargo@telkomuniversity.ac.id

Abstrak—Di era industri 4.0, kemajuan teknologi dalam *supply chain* berdampak signifikan pada manajemen transportasi, elemen penting dalam menjaga efisiensi bisnis. PD Vina Jaya Snack, perusahaan distribusi makanan ringan di Bekasi, menghadapi tantangan dalam mengelola pengiriman akibat rute yang kurang optimal dan fluktuasi permintaan. Dengan hanya satu kendaraan operasional, perusahaan mengalami tingginya konsumsi bahan bakar dan biaya transportasi. Penelitian ini bertujuan merancang rute pengiriman yang lebih efisien menggunakan metode *Ant Colony Optimization* (ACO) untuk menekan biaya bahan bakar di bawah Rp1.500.000. Penelitian ini dibagi menjadi tiga tahap: input, proses, dan output. Tahap input mencakup data lokasi *distribution center*, titik ritel, permintaan produk, waktu operasional, dan kapasitas kendaraan, yang kemudian diolah menjadi matriks jarak dan waktu tempuh sebagai input penerapan ACO untuk menemukan rute optimal. Hasil penelitian menunjukkan pengurangan total jarak tempuh hingga 50,07% dan penurunan biaya bahan bakar menjadi Rp1.315.063, sehingga biaya BBM bulan April tercatat Rp1.311.189, di bawah anggaran yang ditetapkan.

Kata kunci— *Supply Chain*, *Distribusi Produk*, *SDVRP*, *Ant Colony Optimization*, *Manajemen Transportasi*.

I. PENDAHULUAN

Isi Di era industri 4.0, perkembangan teknologi, khususnya di bidang *supply chain*, mempengaruhi banyak aspek pekerjaan manusia. Perusahaan-perusahaan di Indonesia berfokus untuk memperbaiki strategi bisnis agar lebih kompetitif, salah satunya melalui pengelolaan *supply chain* yang efektif. *Supply chain* mencakup berbagai pihak, mulai dari manufaktur hingga konsumen akhir, dan keberhasilannya sangat bergantung pada koordinasi yang baik antara berbagai pihak yang terlibat, termasuk dalam manajemen transportasi [1].

Bidang transportasi memainkan peran penting dalam performa *supply chain*, terutama dalam hal responsivitas dan efisiensi [2]. Namun, tantangan sering muncul ketika perusahaan harus menyeimbangkan antara responsivitas tinggi dan efisiensi biaya transportasi, yang seringkali

berlawanan [3]. PD Vina Jaya Snack, sebuah perusahaan yang mendistribusikan makanan ringan, menghadapi masalah serupa. Dengan hanya satu kendaraan operasional dan permintaan yang fluktuatif, perusahaan ini sering kewalahan dalam mengelola pengiriman yang efisien.

Masalah ini diperparah oleh rute pengiriman yang tidak optimal, yang menyebabkan tingginya konsumsi bahan bakar dan biaya transportasi.

PD Vina Jaya Snack adalah sebuah perusahaan yang mendistribusikan makanan ringan dan cemilan rumahan, seperti keripik pisang, keripik baso goreng, dan keripik singkong. Perusahaan ini memiliki delapan toko retail dan satu *distribution center* (DC) di Kota Bekasi. Setiap hari, DC bertanggung jawab mengirimkan 190 jenis produk ke retail berdasarkan permintaan harian tanpa peramalan sebelumnya, menggunakan satu truk *Colt Diesel Double* (CDD) untuk distribusi.

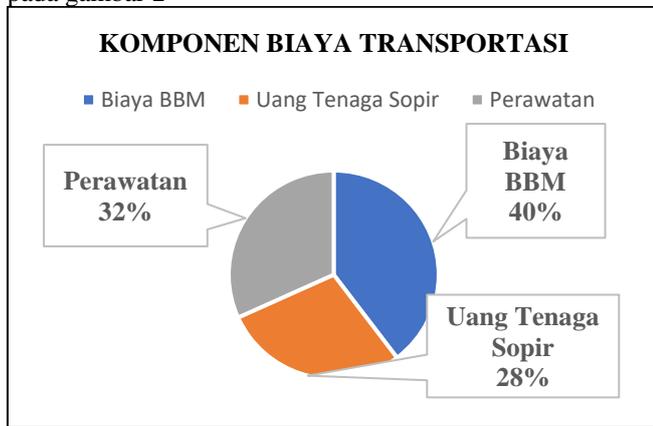
Pada tahun 2023, permintaan bulanan dari delapan retail PD Vina Jaya Snack mengalami fluktuasi, membuat perusahaan sering kewalahan dalam pengiriman harian. Hal ini disebabkan oleh tingginya permintaan harian dari pelanggan retail, yang seringkali menyebabkan stok produk cepat habis.



Gambar 1. Grafik Permintaan Produk Setiap Retail Tahun 2023

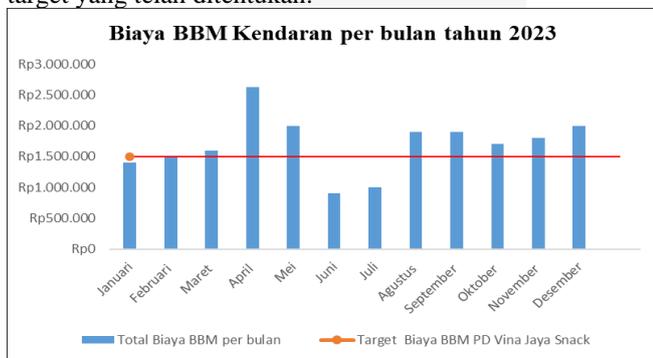
Berdasarkan hasil wawancara, hal ini kerap terjadi karena setiap retail tersebut memiliki pelanggan yang melakukan pembelian setiap harinya, sehingga beberapa produk yang tersedia sering habis dan stock menjadi minimum. Dalam

melakukan proses pendistribusian, PD Vina Jaya Snack tidak memiliki jalur yang tetap, sehingga konsumsi bahan bakar untuk melakukan pengantaran menjadi cukup tinggi dan berdampak pada biaya transportasi. Selain itu, komponen biaya transportasi terbesar adalah konsumsi bahan bakar transportasi PD Vina Jaya Snack, seperti yang ditampilkan pada gambar 2



Gambar 2. Komponen Biaya Transportasi

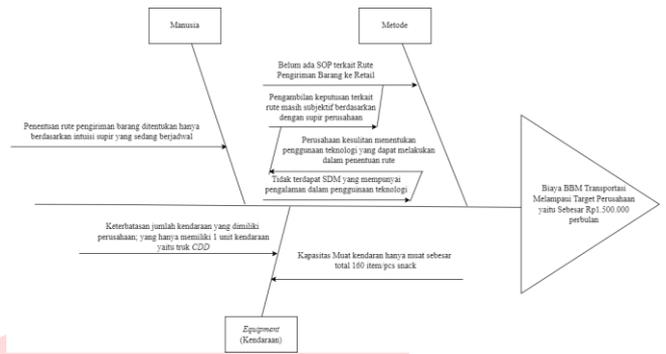
Konsumsi bahan bakar minyak (BBM) merupakan komponen terbesar dalam biaya transportasi PD Vina Jaya Snack, mencapai 40% dari total biaya. Meskipun komponen biaya lainnya relatif stabil setiap bulan, fluktuasi permintaan dari retail menyebabkan biaya BBM kerap melebihi target perusahaan sebesar Rp1.500.000 per bulan, seperti terlihat pada gambar 3. Untuk menghadapi situasi ini, perusahaan perlu mengoptimalkan rute pengiriman agar dapat meminimalkan pengeluaran BBM, sehingga biaya transportasi bisa ditekan dan tetap berada di bawah batas target yang telah ditentukan.



Gambar 3. Total Biaya BBM Transportasi PD Vina Jaya Snack Tahun 2023

Peningkatan ini berdampak pada pengiriman ke retail PD Vina Jaya Snack, yang menyebabkan biaya BBM meningkat melebihi anggaran yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Kenaikan ini menunjukkan inefisiensi dalam pengelolaan rute dan penggunaan armada, dengan rute yang kurang optimal dan kapasitas terbatas. Masalah ini relevan dengan *split delivery vehicle routing problem* (SDVRP).

Untuk mengidentifikasi akar masalah yang menyebabkan peningkatan biaya BBM ini, dilakukan analisis menggunakan diagram *fishbone*.



Gambar 2. Fishbone Diagram

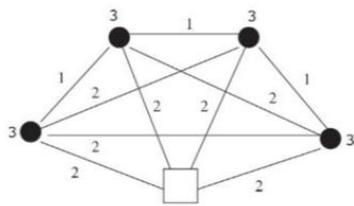
Berdasarkan analisis yang dilakukan, kendala utama yang dihadapi perusahaan meliputi belum adanya SOP yang mengatur rute pengiriman, ketergantungan pada intuisi sopir dalam menentukan rute, serta keterbatasan jumlah dan kapasitas armada. Berdasarkan masalah tersebut dan hasil dan wawancara dengan pemilik, perancangan rute pengiriman baru menjadi sangat penting untuk mengurangi biaya transportasi. Rute yang dirancang akan mengoptimalkan jalur pengiriman ke cabang-cabang PD Vina Jaya Snack, dengan potensi penghematan biaya BBM transportasi tiap bulan sebesar Rp1.500.000. Penelitian ini berfokus pada penyelesaian masalah *split delivery vehicle-routing*.

II. KAJIAN TEORI

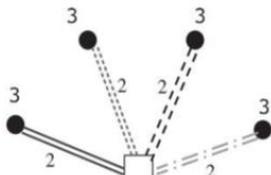
A. Split Delivery Vehicle Routing Problem

Split Delivery Vehicle Routing Problem (SDVRP) adalah perluasan dari Vehicle Routing Problem (VRP) yang memungkinkan setiap pelanggan dilayani oleh lebih dari satu kendaraan jika hal ini dapat mengurangi biaya. SDVRP muncul ketika permintaan pelanggan sebanding atau melebihi kapasitas kendaraan. Tujuan utama dari SDVRP adalah meminimalkan jumlah kendaraan dan total jarak tempuh dengan memastikan total permintaan di setiap rute tidak melebihi kapasitas kendaraan.

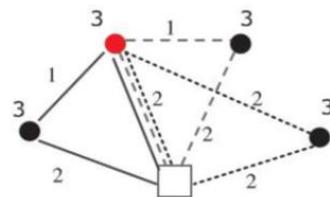
Perbedaan antara VRP dan SDVRP dapat dilihat melalui ilustrasi pada Gambar 5.



A. Data jarak antar titik & titik kebutuhan setiap titik



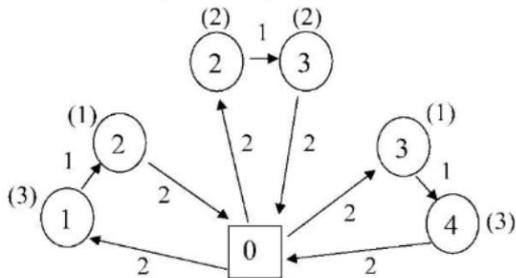
B. Penyelesaian VRP dengan 4 rute dan total jarak 16



C. Penyelesaian SDVRP dengan 3 rute dan total jarak 16

Gambar 3. Ilustrasi Perbedaan Antara VRP dengan SDVRP

Dalam VRP, setiap titik dilayani sekali dengan total empat rute dan jarak 16. Sebaliknya, dalam SDVRP, satu titik dapat dilayani lebih dari sekali, yang terlihat pada penyelesaian dengan tiga rute dan jarak yang sama. Kemungkinan kunjungan berulang pada titik tertentu dapat mengurangi jumlah rute dan total jarak tempuh [4].



Gambar 4. Penyelesaian SDVRP dengan 3 rute dan total jarak 15

Gambar 6 menunjukkan bahwa SDVRP dengan tiga rute berhasil mengurangi total jarak menjadi 15, dibandingkan dengan VRP yang berjarak 16. Pada SDVRP, jumlah produk yang diangkat pada setiap kunjungan menjadi variabel yang menambah kompleksitas VRP, menjadikannya masalah NP-Hard. Penyelesaian NP-Hard memerlukan waktu yang lama, namun dapat dipercepat menggunakan algoritma heuristik dan metaheuristik, meskipun hasilnya belum tentu optimal. Penelitian ini menggunakan algoritma metaheuristik, yaitu *Ant Colony Optimization* (ACO) [5].

B. Supply Chain Management

Supply chain management adalah pendekatan sistematis dan strategis untuk mengatur dan mengelola aktivitas bisnis yang meliputi berbagai pihak untuk mengatur dan mengelola

antara penawaran dan permintaan dengan baik. Aktivitas ini mencakup serangkaian kegiatan yang dimulai dari perencanaan, pengelolaan, pengiriman dan distribusi produk (barang atau jasa) [6].

Rantai pasok melibatkan semua pihak terkait untuk mengkoordinasikan pemasok, pengusaha, gudang, distributor, dan pengecer. Tujuannya adalah mendistribusikan produk secara efisien dalam jumlah, lokasi, dan waktu yang tepat untuk menurunkan biaya dan memenuhi kebutuhan pelanggan [7].

Tujuan dari *supply chain management* adalah untuk mengurangi waktu, meminimalkan biaya keseluruhan, meningkatkan efisiensi rantai pasok, serta memusatkan kegiatan perencanaan dan distribusi [8].

C. Distribusi dan Transportasi

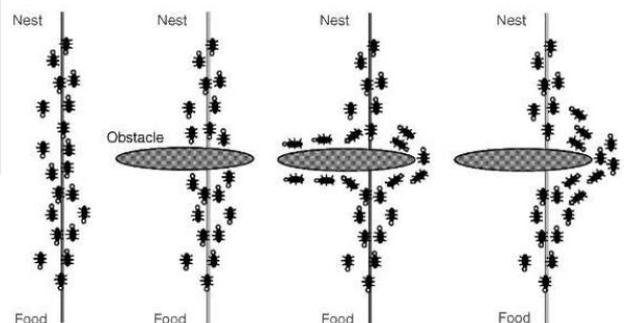
Distribusi adalah suatu kegiatan untuk memindahkan produk dari pihak supplier kepada konsumen. Distribusi merupakan suatu kunci dari keuntungan yang akan diperoleh perusahaan karena distribusi secara langsung akan mempengaruhi biaya dari rantai pasok. Sehingga jaringan distribusi yang tepat diperlukan untuk mencapai berbagai macam tujuan dari rantai pasok itu sendiri, mulai dari biaya yang rendah sampai respons yang tinggi terhadap permintaan dari konsumen [9].

Transportasi merupakan suatu pergerakan produk dari suatu lokasi ke lokasi lain yang mempresentasikan awal dari suatu rangkaian rantai pasok sampai ke konsumen. Transportasi dengan penting karena suatu produk jarang yang diproduksi dan digunakan di lokasi yang sama [10].

D. Ant Colony Optimization (ACO)

Ant Colony Optimization (ACO) adalah sebuah metaheuristik di mana sekumpulan semut tiruan bekerja bersama untuk mencari solusi optimal dalam masalah optimasi [11]. ACO terinspirasi dari perilaku semut nyata yang hidup dalam koloni dan mampu menemukan rute terpendek antara sarang dan sumber makanan [12].

Dalam proses pencarian makanan, semut pertama meninggalkan jejak pheromone di sepanjang jalur yang dilewatinya. Semut-semut lain kemudian mengikuti jejak tersebut. Semakin banyak semut yang memilih jalur tertentu, semakin pekat pheromone yang tertinggal, meningkatkan kemungkinan jalur itu dipilih oleh semut berikutnya. Pheromone ini juga mengalami penguapan seiring waktu, yang menjaga keseimbangan dalam pemilihan jalur [13].



Gambar 5. Gambaran Semut Dalam Memilih Jalur Untuk Jalur Untuk Menemukan Makanan

Peluang suatu jalur untuk dilewati oleh semut dapat dinyatakan melalui persamaan matematis, yang memperhitungkan kepekatan pheromone (τ_{ij}) dan kebalikan jarak antar titik (η_{ij}) yang akan mempengaruhi keputusan semut dalam memilih jalur.

Peluang suatu jalur untuk dilewati oleh semut dapat dituliskan pada persamaan matematis berikut ini:

$$p_{ij}^k(t) = \frac{\tau_{ij}^a(t) \cdot \eta_{ij}^\beta}{\sum_{j \in N_i^k} \tau_{ij}^a(t) \cdot \eta_{ij}^\beta}, \text{ if } j \in N_i^k$$

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

Keterangan:

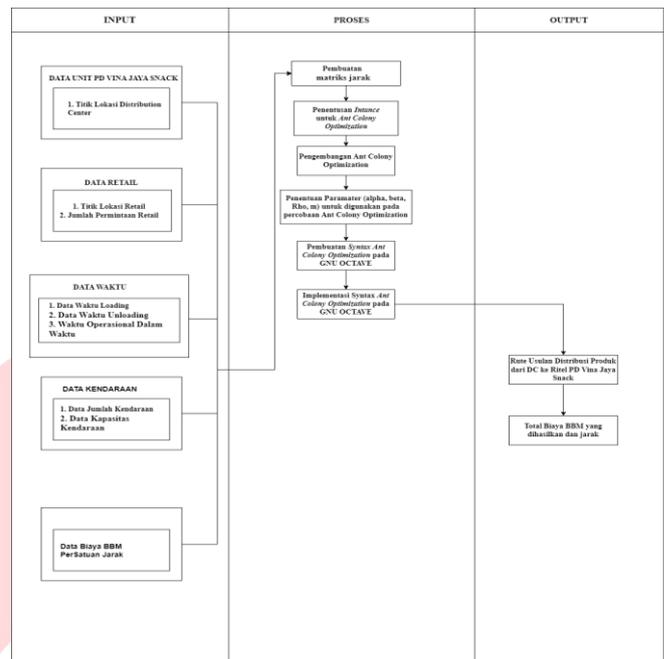
- $p_{ij}^k(t)$ = Peluang semut k memilih jalur dan titik i ke titik j
- t = iterasi
- k = Semut k
- i = titik i
- j = titik j
- a = derajat kepentingan *pheromone*
- β = derajat kepentingan kebalikan jarak antar titik
- N_i^k = titik – titik yang dapat dipilih oleh semut k pada saat berada di titik i
- τ_{ij} = kepekatan *pheromone* jalur dari titik i ke titik j
- η_{ij} = Kebalikan jarak jalur dari titik i ke titik j
- d_{ij} = Jarak antara titik i ke titik j

Faktor penguapan pheromone (ρ) juga dimasukkan dalam persamaan ini untuk menggambarkan penurunan intensitas pheromone di jalur seiring berjalannya waktu, menjaga keseimbangan dalam eksplorasi jalur oleh semut-semut tiruan [14].

III. METODE

A. Metode Penelitian

Definisikan Metodologi penelitian ini terdiri dari beberapa tahap untuk mengoptimalkan rute pengiriman barang pada PD Vina Jaya Snack dengan *Ant Colony Optimization* (ACO), sebagai berikut:



. Gambar 6. Metodologi Penelitian

1. Tahap Input

Penelitian ini diawali dengan pengumpulan data yang meliputi lokasi *Distribution Center* PD Vina Jaya Snack, lokasi retail, dan jumlah permintaan dari setiap retail. Selain itu, data terkait proses *loading*, *unloading*, waktu operasional kendaraan, jumlah serta kapasitas kendaraan juga dikumpulkan. Data biaya bahan bakar per satuan jarak dihimpun untuk menghitung total biaya transportasi.

2. Tahap Proses

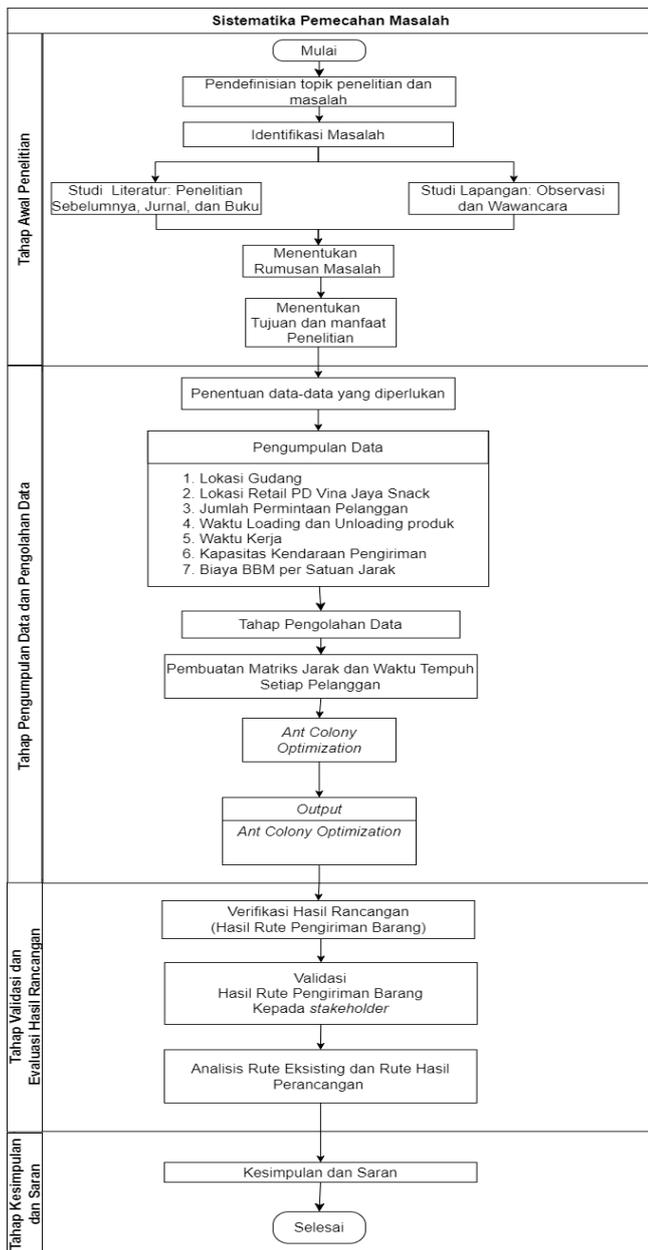
Setelah data terkumpul, data diolah menjadi matriks waktu tempuh dan jarak tempuh kendaraan. Matriks ini digunakan dalam penerapan *Ant Colony Optimization* (ACO) untuk mencari solusi optimal dalam menentukan rute pengiriman. Proses optimasi mempertimbangkan total waktu perjalanan, waktu pengambilan produk, dan total waktu layanan, sehingga dapat mengidentifikasi rute pengiriman yang paling efisien.

3. Tahap Output

Tahap akhir menghasilkan *output* berupa rute pengiriman optimal yang meminimalkan biaya transportasi sambil memenuhi permintaan retail. Total biaya transportasi dihitung berdasarkan rute yang dioptimalkan, memberikan solusi distribusi yang efisien baik dari segi waktu maupun biaya, dan menjadi dasar untuk strategi pengiriman yang lebih efektif di masa depan.

B. Sistematika Penyelesaian Masalah

Sistematika penyelesaian masalah ini dimulai dengan analisis masalah dan dibagi menjadi beberapa tahap utama: tahap awal penelitian, pengumpulan serta pengolahan data, hingga kesimpulan dan saran. Tahapan-tahapan ini dijelaskan lebih lanjut pada Gambar 9 sebagai berikut:



Gambar 7. Sistematika Pemecahan Masalah

1. Tahap Awal Penelitian

Pada tahap ini, permasalahan dianalisis melalui studi lapangan dan studi literatur. Studi lapangan dilakukan di PD Vina Jaya Snack di Bekasi untuk memahami proses distribusi, sedangkan studi literatur digunakan untuk mendapatkan teori-teori yang relevan terkait vehicle routing problem (VRP) dan algoritma yang digunakan. Setelah itu, dilakukan perumusan masalah dan penetapan tujuan serta manfaat penelitian.

2. Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data yang dikumpulkan meliputi fasilitas, permintaan konsumen, biaya operasional, dan jarak antar lokasi. Data ini diolah menggunakan metode Ant Colony Optimization (ACO) untuk menghasilkan output berupa rute pengiriman optimal. Proses pemodelan dilakukan dengan menerapkan

Split Delivery Vehicle Routing Problem (SDVRP) untuk meminimalkan biaya dan menentukan rute yang efisien.

3. Tahap Analisis dan Evaluasi Hasil Perancangan

Setelah rute terpilih dihasilkan, dilakukan verifikasi dan validasi hasil rancangan untuk memastikan kesesuaiannya dengan spesifikasi yang ditentukan. Selain itu, dilakukan analisis terhadap stakeholder untuk memastikan kepentingan mereka terpenuhi. Analisis lanjutan seperti analisis luaran model dan analisis sensitivitas dilakukan untuk membandingkan dan menyesuaikan parameter-parameter yang relevan.

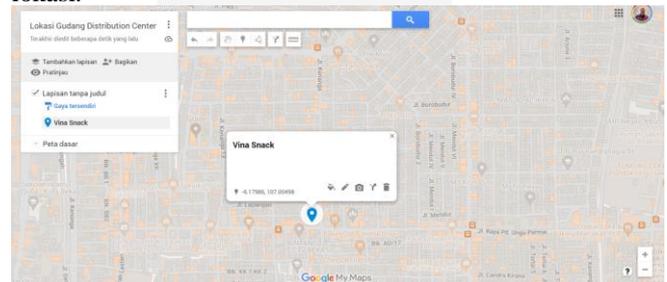
4. Tahap Kesimpulan dan Saran

Setelah melalui seluruh tahapan perancangan dan evaluasi, dihasilkan kesimpulan dan saran terkait efektivitas penggunaan metode genetika dan ACO dalam pemecahan masalah distribusi di PD Vina Jaya Snack. Metodologi penelitian ini diilustrasikan melalui diagram untuk memudahkan pemahaman tentang alur input, proses, dan output dalam perancangan ini.

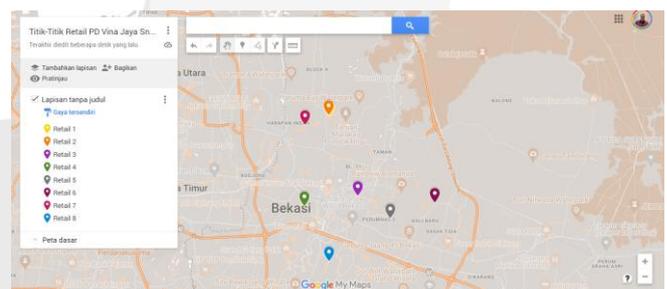
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pada penelitian ini, data yang digunakan meliputi lokasi gudang, lokasi retail, jumlah permintaan retail, kapasitas kendaraan, biaya bahan bakar, serta waktu tempuh antar lokasi.



Gambar 8. Lokasi Gudang PD Vina Jaya Snack



Gambar 9. Lokasi Retail PD Vina Jaya Snack

Tanggal	Permintaan Retail PD Vina Jaya Snack							
	1	2	3	4	5	6	7	8
01/04/2023	83	59	36	13	56	24	29	20
02/04/2023	40	20	33	27	30	73	47	50
03/04/2023	120	80	23	37	23	90	70	37
04/04/2023	30	20	10	30	40	10	10	10
05/04/2023	75	85	40	110	70	80	10	10
06/04/2023	50	30	40	50	10	50	40	50
07/04/2023	80	69	37	34	40	60	100	60
-----	----	----	----	----	----	----	----	----
30/04/2023	40	85	50	90	120	105	110	20

Gambar 10. Jumlah Permintaan Retail PD Vina Jaya Snack April 2023

Kapabilitas Kendaraan Pengiriman			
Jenis Kendaraan	Dimensi Bak	Kapasitas (Ton)	Kapasitas (Pcs)
Truck CDD (Colt Double Diesel)	(3,12 X 1,6 X 1,6)	3,5	160 pcs

Gambar 11. Detail Kapabilitas Kendaraan PD Vina Jaya Snack

Biaya BBM Per Satuan Jarak					
Jenis Kendaraan	Kapasitas Tangki (L)	Pembakaran Bersih 1 liter BBM (km)	Harga BBM (Rp)	Harga BBM 1 km (Rp)	Harga BBM 1 m (Rp)
Truk CDD (Colt Double Diesel)	75	10	6800	680	0,68

Gambar 12. Biaya BBM per Satuan Jarak Kendaraan PD Vina Jaya Snack

Data-data tersebut diperoleh melalui wawancara dengan manajemen PD Vina Jaya Snack serta hasil observasi langsung di lapangan dan pencarian melalui Google Maps API.

Tahapan pengolahan data dilakukan dengan membuat matriks jarak tempuh setiap titik ke lokasi toko retail dihitung dengan satuan kilometer.

Asal Tujuan	Matriks Jarak PD Vina Jaya Snack								
	DC	Retail 1	Retail 2	Retail 3	Retail 4	Retail 5	Retail 6	Retail 7	Retail 8
DC	0	1	1	10	12	11	14	4	14
Retail 1	1	0	0,136	10	11	12	15	3	14
Retail 2	1	0,136	0	10	11	12	15	3	14
Retail 3	10	10	10	0	6	4	10	13	7
Retail 4	12	11	11	6	0	8	13	8	6
Retail 5	11	12	12	4	8	0	6	13	9
Retail 6	14	15	15	10	13	6	0	20	14
Retail 7	4	3	3	13	8	13	20	0	14
Retail 8	14	14	14	7	6	9	14	14	0

Gambar 13. Matriks Jarak Tempuh Lokasi Retail PD Vina Snack

B. Model Matematis

Model Matematis yang digunakan akan mengacu pada model yang dibuat oleh Ma & Liu, (2024). Model ini menggunakan permasalahan *split delivery vehicle routing problem with a single depot, a single vehicle type, and no time window constraint*. Tabel berikut merupakan simbol definisi dari daftar indeks, parameter dan variabel keputusan yang digunakan dalam model matematis penelitian ini.

Tabel 1 Daftar Parameter dan Variabel yang digunakan didalam SDVRP

Simbol	Definisi
N	Nomor konsumen (ritel PD Vina Jaya Snack)
M	Jumlah minimum kendaraan, yang nilainya ditunjukkan pada persamaan (1)
V	Himpunan titik depot dan pelanggan, yang mencakup 0 dan V_c , di mana 0 mewakili

	depot dan $V_c = \{1,2, \dots, N\}$ mewakili himpunan dari pelanggan
d_{ij}	Jarak antara konsumen i dan j
q_i	Permintaan produk konsumen i
Q	Kapasitas kendaraan
x_{ij}^m	Indikator yang menunjukkan apakah sisi (i, j) yang telah dilalui oleh kendaraan m , seperti yang tertera dalam persamaan (2)
y_i^m	Permintaan pelanggan i dipasok oleh kendaraan m

Model Asumsi:

- Jarak antara dua titik pelanggan mana pun bersifat simetris, yang dapat dinyatakan sebagai $d_{ij} = d_{ji}$
- Jarak antara titik-titik pelanggan mengikuti ketentuan ketidaksetaraan segitiga, yang dapat dinyatakan sebagai $d_{ik} + d_{kj} > d_{ij}$
- Permintaan setiap pelanggan harus dipenuhi, dan pemenuhan permintaan tersebut dapat dilakukan oleh satu atau lebih kendaraan.
- Semua kendaraan berangkat dari depot dan kembali ke depot setelah menyelesaikan tugas,

$$M = \left\lceil \sum_{i=1}^N q_i / Q \right\rceil \quad (1)$$

$$x_{ij}^m = \begin{cases} \text{Vehicle passing } (i, j) \text{ in route } m & \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

Dengan Demikian model matematisnya sebagai berikut:

$$\min Z = \sum_{m=1}^M \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N d_{ij} x_{ij}^m \quad (3)$$

Batasan Model:

$$\sum_{i=0}^N x_{ik}^m = \sum_{j=0}^N x_{kj}^m; k = 0,1, \dots, N, m = 1,2, \dots, M \quad (4)$$

$$\sum_{m=1}^M y_i^m = q_i; i = 1,2, \dots, N \quad (5)$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{i=0}^N x_{ij}^m \geq 1; j = 0,1, \dots, N \quad (6)$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{i,j \in V_c} x_{ij}^m \leq |V_c| - 1 \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^N y_i^m \leq Q; m = 1,2, \dots, M \quad (8)$$

$$q_i \geq y_i^m \geq 0; i = 1,2, \dots, N, m = 1,2, \dots, M \quad (9)$$

$$x_{ij}^m \in \{0,1\}; i, j = 1,2, \dots, N, m = 1,2, \dots, M \quad (10)$$

Persamaan (3) adalah fungsi tujuan, yang menunjukkan bahwa total jarak tempuh kendaraan harus serendah mungkin. Persamaan (4) menunjukkan bahwa jumlah kendaraan yang memasuki suatu titik pelanggan harus sama

dengan jumlah kendaraan yang meninggalkan titik pelanggan tersebut. Persamaan (5) berarti bahwa jumlah permintaan pelanggan yang dipenuhi oleh setiap kendaraan harus sama dengan total permintaan pelanggan tersebut. Persamaan (6) memastikan bahwa setiap titik pelanggan dikunjungi setidaknya sekali. Persamaan (7) digunakan untuk menghilangkan siklus k-split, dikarenakan kendaraan yang dipunyai hanya satu. Maka dari itu tidak menggunakan k-split. Persamaan (8) menunjukkan bahwa kapasitas kendaraan tidak boleh terlampaui yang mana kapasitas kendaraan hanya 160pcs, dikarenakan kapasitas 160 pcs itu sudah standart dari perusahaan untuk menjaga kualitas produk. Persamaan (9) bahwa permintaan pelanggan yang dipenuhi oleh setiap kendaraan tidak boleh melebihi permintaan maksimum pelanggan tersebut. Persamaan (10) menggambarkan rentang nilai dari variable keputusan.

C. Perancangan Rute Kendaraan

Proses perancangan rute pengiriman produk PD Vina Jaya Snack menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) dimulai dengan pembuatan *instance*, *instance* merupakan sekumpulan data awal yang akan menjadi acuan pengerjaan untuk perancangan rute menggunakan *ant colony optimization* (ACO). *Instance* yang akan digunakan adalah *PD-Vina Jaya Snack-9-Nodes-SDVRP instance*.

<i>Name</i>	: PD Vina Jaya Snack -9- Nodes
<i>Type</i>	: SDVRP
<i>Dimension</i>	: 9
<i>Node_No of Depot</i>	: 1
<i>Capacity</i>	: 160
<i>Source</i>	: Google Maps API
<i>Edge Weight Type</i>	: Distance Matrix
<i>Creator</i>	: Mohammad Faizul Firdaus
<i>Created Date</i>	: 31 June 2024
<i>Comment</i>	

Kemudian Langkah selanjutnya, menentukan nilai-nilai parameter jumlah semut yang sudah ditentukan. Dengan 12 kali percobaan dan 100 kali penggunaan iterasi.

Percobaan	α	β	ρ	m	τ_{ij}	R
1	1	1	0,01	5	10	100
2	1	1	0,01	10	10	100
3	2	1	0,01	5	10	100
4	2	1	0,01	10	10	100
5	2	2	0,01	5	10	100
6	2	2	0,01	10	10	100
7	1	1	0,02	5	10	100
8	1	1	0,02	10	10	100
9	2	1	0,02	5	10	100
10	2	1	0,02	10	10	100
11	2	2	0,02	5	10	100
12	2	2	0,02	10	10	100

Selanjutnya memasuki penggunaan syntax, pertama dimulai dengan pengaturan input data dan parameter, termasuk jumlah depot, ritel, kapasitas kendaraan, dan permintaan ritel. Algoritma ACO diatur menggunakan

parameter seperti jumlah semut (m), iterasi maksimal, dan tingkat penguapan feromon (ρ). Nilai pheromone dan heuristik memandu semut dalam memilih rute optimal, sementara GNU Octave digunakan sebagai platform untuk menjalankan simulasi.

```
% Inisialisasi parameter masalah
num_depots = 1;
num_ritels = 8;
num_nodes = num_depots + num_ritels;

% Kapasitas kendaraan dan permintaan ritel
vehicle_capacity = 160;
ritels_demand = [83, 59, 36, 13, 56, 24, 29, 20];
```

Gambar 14. Syntax Input dan Parameter

Selanjutnya, jarak antar titik geografis dihitung menggunakan Google Maps untuk menentukan jarak terpendek antar node. Matriks jarak yang terbentuk menjadi dasar optimasi, di mana algoritma mengevaluasi jarak terpendek antar depot dan ritel.

```
% Matriks jarak yang diberikan
distance_matrix = [
    0 1 1 10 12 11 14 4 14;
    1 0 0.136 10 11 12 15 3 14;
    1 0.136 0 10 11 12 15 3 14;
    10 10 10 0 6 4 10 13 7;
    12 11 11 6 0 8 13 8 6;
    11 12 12 4 8 0 6 13 9;
    14 15 15 10 13 6 0 20 14;
    4 3 3 13 8 13 20 0 14;
    14 14 14 7 6 9 14 14 0
];
```

Gambar 15. Syntax Matriks Jarak

Dalam tahap berikutnya penyesuaian parameter yang sudah ditentukan dengan 12 kali percobaan dan 100 kali iterasi.

```
% Parameter untuk Ant Colony Optimization
num_ants = 10;
max_iterations = 100;
alpha = 1; % Pheromone importance
beta = 1; % Heuristic importance
rho = 0.01; % Pheromone evaporation rate
Q = 100; % Pheromone intensity
```

Gambar 18. Syntax Penggunaan Parameter ACO

Selanjutnya yaitu, melakukan pemilihan node dan perhitungan biaya rute.

```
% Fungsi untuk pemilihan node berikutnya menggunakan roulette wheel
function next_node = roulette_wheel_selection(probabilities)
    cumulative_prob = cumsum(probabilities);
    r = rand();
    next_node = find(cumulative_prob >= r, 1, 'first');
end

% Fungsi untuk menghitung biaya rute (total jarak)
function cost = calculate_route_cost(route, distance_matrix)
    cost = 0;
    for i = 1:length(route) - 1
        cost = cost + distance_matrix(route(i), route(i + 1));
    end
end
```

Gambar 19. Syntax Pemilihan Node dan Perhitungan Biaya Rute

Selanjutnya yaitu *plotting rute*, Plotting rute bertujuan untuk menampilkan rute tersebut dalam bentuk peta dua dimensi.

```
% Fungsi untuk memplot rute terbaik dengan warna yang berbeda
function plot_route(route, distance_matrix, color)
    hold on;
    num_nodes = size(distance_matrix, 1);
    % Visualisasi node dengan lingkaran
    theta = linspace(0, 2*pi, num_nodes+1);
    x = cos(theta);
    y = sin(theta);
    % Plot node sebagai titik
    scatter(x, y, 100, 'filled', 'r'); % Menampilkan depot dan ritel sebagai titik
    % Menampilkan label setiap node
    for i = 1:num_nodes
        text(x(i), y(i), sprintf('Node %d', i), 'VerticalAlignment', 'bottom', 'HorizontalAlignment', 'right');
    end
    % Plot rute antar node dengan warna yang diberikan
    for i = 1:length(route) - 1
        start_node = route(i);
        end_node = route(i + 1);
        plot([x(start_node), x(end_node)], [y(start_node), y(end_node)], 'LineWidth', 2, 'Color', color);
    end
    hold off;
    axis equal;
    title('Visualisasi Rute Terbaik');
    xlabel('X');
    ylabel('Y');
    grid on;
end
```

Gambar 20. Syntax Matriks Jarak

Selanjutnya tahapan implementa fungsi utama pada *syntax ant colony optimization (ACO)* untuk menyelesaikan masalah *split delivery vehicle routing problem*.

```

Proses utama ACO untuk SDVRP dengan multiple rute (split)
mendata (best_routes, best_cost, total_demand_met, products_carried) = ant_colony_optimization(datarata_jarita, titik_tujuan, sum_tujuan, sum_sisa, sum_sisa_max, sum_sisa_max, alpha, beta, rho, Q, vehicle_capacity)
pheromone = ones(size(titik_tujuan, 2), sum_tujuan); % Inisialisasi tingkat pheromone
best_routes = []; % Inisialisasi array rute terbaik
best_cost = Inf; % Inisialisasi biaya rute terbaik
total_demand_met = 0; % Inisialisasi total permintaan yang dipenuhi
products_carried = 0; % Mengapal produk yang dibawa di setiap rute

for iter = 1:sum_sisa_max
    % Mengapal rute untuk setiap semut
    routes = cell(size(titik_tujuan, 2), sum_tujuan); % Mengapal rute untuk setiap semut
    costs = zeros(size(titik_tujuan, 2), sum_tujuan); % Mengapal biaya untuk setiap semut
    demand_met = zeros(size(titik_tujuan, 2), sum_tujuan); % Mengapal permintaan yang terpenuhi untuk setiap rute
    products_carried = zeros(size(titik_tujuan, 2), sum_tujuan); % Mengapal produk yang dibawa untuk setiap semut

    % Menempatkan semut untuk setiap semut
    for ant = 1:sum_sisa_max
        all_routes = []; % Tabak dari array ke cell array untuk menyimpan semua rute
        current_demand = 0; % Inisialisasi permintaan yang dibawa
        visited = zeros(1, sum_tujuan); % Inisialisasi array untuk melacak
        products_in_route = []; % Mengapal produk yang dibawa di setiap rute

        while not(isNaN(costs)) & sum_tujuan > 0
            route = []; % Mulai dari depot (node 1)
            current_demand = 0;

            while true
                % Menghitung probabilitas transit ke setiap node
                deg = sum_tujuan;
                if (visited(i) == 0 && current_demand <= titik_tujuan(i).demand) && vehicle_capacity >= (sum_tujuan(i) + current_demand))
                    % Mengapal probabilitas transit ke node j
                    p = pheromone(i,j) * Q / (sum_tujuan(i) + current_demand);
                    eta = (1 / distance_matrix(i,j)) * beta; % Heuristik (balikan dari jarak)
                    probabilitas(j) = deg * eta;
                end
            end
        end
    end
end

```

Gambar 21. Ant Colony Optimization untuk SDVRP (Bagian 1)

```

% Normalisasi probabilitas
if sum(probabilitas) == 0
    break; % Menghentikan loop jika tidak ada kemungkinan transit yang valid
end
probabilitas = probabilitas / sum(probabilitas);
best_routes = roulette_wheel_selection(probabilitas);

% Memisahkan node yang dipilih ke rute
routes = {route, best_routes};
visited(best_routes) = 1;
current_demand = current_demand + titik_tujuan(best_routes).demand - 1; % Memisahkan produk yang dibawa
if current_demand >= vehicle_capacity
    break; % Jika kapasitas kendaraan tercapai, hentikan rute
end

% Menempatkan rute kembali ke depot
route = {route, []};
all_routes{best_routes} = route; % Simpan rute dalam cell array
visited(best_routes) = products_in_route; % Simpan produk yang dibawa
costs(best_routes) = calculate_route_cost(route, distance_matrix);
demand_met(best_routes) = calculate_demand_met(route, demand_matrix);
products_carried(best_routes) = calculate_products_carried(route, products_in_route); % Total permintaan yang dipenuhi
products_in_route = []; % Reset produk di rute untuk rute selanjutnya

routes{ant} = all_routes; % Simpan rute-rute split yang ditempatkan

% Memperbarui pheromone
pheromone = (1 - rho) * pheromone; % Evaporasi pheromone
for ant = 1:sum_sisa_max
    all_routes = routes{ant};
    for i = 1:length(all_routes)
        route = all_routes{i};
        for k = 1:length(route) - 1
            j = route{k+1};
            pheromone(i, j) = pheromone(i, j) + Q / costs{ant};
        end
    end
end

```

Gambar 22. Ant Colony Optimization untuk SDVRP (Bagian 2)

```

% Mencari rute dan biaya terbaik dalam iterasi saat ini
[best_cost, min_index] = min(costs);
if min_cost < best_cost
    best_cost = min_cost;
    best_routes = routes{min_index};
    total_demand_met = demand_met{min_index}; % Catat total permintaan yang dipenuhi oleh rute terbaik
    products_carried = products_carried{min_index}; % Catat produk yang dibawa oleh rute terbaik
end

% Menampilkan hasil iterasi
fprintf('Iteration %d: Best Cost = %.2f, Total Demand Met = %d\n', iter, best_cost, total_demand_met);
end

```

Gambar 23. Ant Colony Optimization untuk SDVRP (Bagian 3)

Selanjutnya Eksekusi Algoritma dan memvisualisasi hasil *ant colony optimization(ACO)* agar mendapatkan hasil perancangan rute yang paling pendek dan optimal.

```

Menampilkan rute terbaik beserta demand dan jaraknya dengan warna berbeda
if ~isempty(best_routes)
    total_distance = 0; % Inisialisasi total jarak
    route_colors = lines(length(best_routes)); % Mendapatkan array warna berbeda untuk setiap rute

    for i = 1:length(best_routes)
        route = best_routes{i}; % Mendapatkan rute saat ini
        products = products_carried{i}; % Mendapatkan produk yang dibawa pada rute ini
        route_distance = calculate_route_cost(route, distance_matrix); % Menghitung jarak rute

        % Menampilkan rute dan produk yang dibawa
        fprintf('Route %d: ', i);
        disp(route); % Menampilkan rute yang dilalui
        % Menampilkan produk yang dibawa ke setiap ritel
        fprintf('Products carried to retailers: ');
        disp(products);

        % Menampilkan jarak rute
        fprintf('Route distance: %.2f\n', route_distance);

        % Mengkumulasi total jarak
        total_distance = total_distance + route_distance;

        % Memvisualisasikan rute dengan warna berbeda
        plot_route(route, distance_matrix, route_colors(i, :)); % Gunakan warna yang berbeda untuk setiap rute
    end

    % Menampilkan total jarak untuk semua rute
    fprintf('Total Distance for all routes: %.2f\n', total_distance);
end

% Menampilkan biaya terbaik dan total demand yang dipenuhi
fprintf('Best Cost: %.2f\n', best_cost);
fprintf('Total Demand Met: %d\n', total_demand_met);

```

Gambar 24. Syntax Eksekusi Algoritma ACO dan Visualisasi Hasil

D. Hasil Perancangan Rute Pengiriman

Setelah data pengiriman PD Vina Jaya Snack dikumpulkan, perancangan rute dilakukan menggunakan metode *Ant Colony Optimization (ACO)*. Penelitian ini bertujuan untuk meminimalkan total jarak tempuh dan biaya operasional, termasuk biaya bahan bakar, melalui optimasi rute pengiriman ke 8 ritel PD Vina Jaya Snack yang tersebar di beberapa wilayah.

Pada proses optimasi, ACO mengandalkan simulasi dengan parameter yang telah diatur, seperti jumlah semut (m), tingkat penguapan pheromone (ρ), dan iterasi maksimal. Setiap percobaan menghasilkan solusi rute pengiriman yang berbeda, namun dengan tujuan utama untuk meminimalkan total jarak tempuh.

Proses optimasi melibatkan 12 kali percobaan dengan variasi parameter sebagai berikut

Percobaan	α	β	ρ	m	Iterasi
1	1	1	0,01	5	100
2	1	1	0,01	10	100
3	2	1	0,01	5	100
...
12	2	2	0,02	10	100

Dari hasil percobaan tersebut, diperoleh rute pengiriman optimal yang menghasilkan pengurangan jarak tempuh dan biaya bahan bakar secara signifikan dibandingkan dengan rute aktual. Sebagai contoh, pada tanggal 01 April 2023, rute aktual sepanjang 99,14 km berhasil dikurangi menjadi 59,14 km setelah optimasi. Hal ini menghasilkan penghematan bahan bakar yang cukup signifikan, serta meningkatkan efisiensi pengiriman.

Tanggal	Rute Aktual (Km)	Rute usulan (Km)	Pengurangan (%)
01/04/2023	99.14	59,14	40,34%
02/04/2023	86.00	68	20,9%
03/04/2023	99.00	76	23,2%
04/04/2023	57.00	49,14	14,03%
05/04/2023	112.00	82,12	20,42%
...

Selain pengurangan jarak, optimasi ini juga mempertimbangkan kapasitas kendaraan yang hanya mampu mengangkut maksimal 160 pcs per pengiriman. Dalam perancangan rute usulan, setiap kendaraan tidak melebihi kapasitas ini, sehingga operasional berjalan sesuai dengan aturan perusahaan. Sebagai contoh, pada tanggal 03 April 2023, rute yang dihasilkan mampu mencakup seluruh pengiriman dengan total jarak tempuh 76 km, tanpa melampaui kapasitas maksimal kendaraan

V. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan menentukan rute pengiriman produk PD Vina Jaya Snack guna meminimalkan biaya bahan bakar. Hasilnya menunjukkan bahwa penerapan metode Ant Colony Optimization berhasil menghasilkan rute distribusi yang optimal, dengan penurunan total jarak sebesar 1928,22 km (50,07%) yang berdampak pada pengurangan signifikan biaya bahan bakar sebesar Rp1.315.063 (50,07%). Rute ini juga berhasil memenuhi seluruh permintaan pelanggan PD Vina Jaya Snack pada bulan April 2023 dan mampu membantu perusahaan untuk menurunkan biaya BBM yang tidak sampai melampaui target perbulan sebesar Rp1.500.000.

REFERENSI

[1] S. Chopra dan P. Meindl, *Supply chain management* :

strategy, planning, and operation. 2016.

- [2] L. Hermalena, M. Noer, N. Nazir, dan R. A. Hadiguna, "Manajemen rantai pasok agroindustri rumput laut," *J. REKAYASA*, vol. 12, no. 2, hal. 153–163, 2022, [Daring]. Tersedia pada: https://www.researchgate.net/profile/Rika-Hadiguna/publication/372319015_LITERRATURE_REVIEW_MANAJEMEN_RANTAI_PASOK_A_GROINDUSTRI_RUMPUT_LAUT/links/6514f88f4aa1fe04700ae028/LITERRATURE-REVIEW-MANAJEMEN-RANTAI-PASOK-AGROINDUSTRI-RUMPUT-LAUT.pdf
- [3] N. Hidayat, D. Kushariyadi, R. Ngizudin, D. Y. Purbaningsih, dan I. S. Hadi M.Si, *Supply Chain Management*. Kota Batam: Yayasan Cendikia Mulia Mandiri, 2024. [Daring]. Tersedia pada: https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=dvYWEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=tantangan+sering+muncul+ketika+perusahaan+harus+menyei+mbangkan+antara+responsivitas+tinggi+dan+efisien+si+biaya+transportasi&ots=GIHzzkxN3m&sig=-mms0S9QwNDZY0L29ILMPUWIBs&redir_es
- [4] A. Archetti dan M. G. Speranza, "Vehicle Routing Problems With Split Deliveries," *Int. Trans. Oper. Res.*, 2012.
- [5] N. Labadie, C. Prins, dan C. Prodhon, *Metaheuristics for Vehicle Routing Problem*, vol. 3. Great Britain and the United States: ISTE – London, 2016.
- [6] A. Muhammad Yusuf dan D. Soediantono, "Supply Chain Management and Recommendations for Implementation in the Defense Industry: A Literature Review," *Int. J. Soc. Manag. Stud.*, vol. 3, no. 3, hal. 63–77, 2022.
- [7] A. Mojumder dan A. Singh, "An exploratory study of the adaptation of green supply chain management in construction industry: The case of Indian Construction Companies," *J. Clean. Prod.*, vol. 295, hal. 126400, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126400.
- [8] T. H. Nazifa dan K. K. Ramachandran, "Information sharing in supply chain management: A case study between the cooperative partners in manufacturing industry," *J. Syst. Manag. Sci.*, vol. 9, no. 1, hal. 19–47, 2019, doi: 10.33168/jsms.2019.0102.
- [9] W. Zulkarnaen, I. D. Fitriani, dan ..., "Pengembangan Supply Chain Management Dalam Pengelolaan Distribusi Logistik Pemilu Yang Lebih Tepat Jenis, Tepat Jumlah Dan Tepat Waktu Berbasis Human ...," ... *Ilm. MEA (Manajemen ...)*, vol. 4, no. June, hal. 222–243, 2020, [Daring]. Tersedia pada: <http://www.journal.stiemb.ac.id/index.php/mea/article/view/372>
- [10] Zaroni, "Transportation dalam Rantai Pasok dan Logistik," *Supply Chain Indones.*, vol. 1, no. 1, hal. 3, 2015, [Daring]. Tersedia pada: <http://supplychainindonesia.com/new/transportasi-dalam-rantai-pasok-dan-logistik/>
- [11] M. Dorigo, M. Birattari, dan T. Stutzle, "Ant colony optimization," *IEEE Comput. Intell. Mag.*, hal. 28–39, 2006.
- [12] B. Santosa, *Pengantar Metaheuristik: Implementasi dengan Matlab*, vol. 1. 2017.
- [13] E. Sanggala dan M. Bisma Ardhya, "Analisis Pengaruh Jumlah Semut Pada Ant Colony Optimization Untuk Penyelesaian Russia-20-Nodes-SDVRP Instance," *Sainteks J. Sain dan Tek.*, vol. 5, 2023.
- [14] W. Gao, "New ant colony optimization algorithm for the traveling salesman problem," *Int. J. Comput. Intell. Syst.*, vol. 1, no. 13, hal. 44–55, 2020.