

# ***Distribution Cost Optimization Using Vehicle Routing Problem (VRP) Approach and Heuristics Savings Matrix***

## **[Optimasi Biaya Distribusi Menggunakan Pendekatan *Vehicle Routing Problem (VRP)* dan *Heuristics Savings Matrix*]**

Rojil Aminuddin Ismail<sup>1)</sup>, Indah Apriliana Sari Wulandari<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

<sup>2)</sup>Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

\*Email Penulis Korespondensi: [indahapriliana@umsida.ac.id](mailto:indahapriliana@umsida.ac.id)

**Abstract.** *Distribution is one of the important activities in the logistics system, especially in CNG distribution which requires distance and cost efficiency. The problem that occurred at PT Parama Energi Raya, a CNG distribution company in East Java, the distribution process is still reactive without optimal route planning, resulting in wasted operational costs. This study aims to minimize transportation costs. The method used is the Vehicle Routing Problem (VRP) with a heuristic approach, namely Saving Matrix, Nearest Insert, and Nearest Neighbor. The data used include customer location, distance, demand, vehicle capacity, and distribution costs. The results showed that the three methods produced the same route, namely SPBG-P1-SPBG, SPBG-P3-SPBG, SPBG-P2-P3-P4-SPBG, and SPBG-P5-P6-SPBG, with a total distance of 836.9 km and distribution costs of Rp 39,372,340 per month, 28% more efficient than the previous period with distribution costs of around Rp 55,000,000.*

**Keywords -** *CNG, Vehicle Routing Problem (VRP), Saving Matrix, Nearest Insert, Nearest Neighbor, Route Optimization*

**Abstrak.** *Distribusi merupakan salah satu aktivitas penting dalam sistem logistik, khususnya pada distribusi CNG yang membutuhkan efisiensi jarak dan biaya. Permasalahan yang terjadi pada PT Parama Energi Raya, perusahaan distribusi CNG di Jawa Timur, proses distribusi yang masih bersifat reaktif tanpa perencanaan rute yang optimal, sehingga menyebabkan pemborosan biaya operasional. Penelitian ini bertujuan untuk meminimalkan biaya transportasi. Metode yang digunakan adalah Vehicle Routing Problem (VRP) dengan pendekatan heuristik yaitu Saving Matrix, Nearest Insert, dan Nearest Neighbor. Data yang digunakan meliputi lokasi pelanggan, jarak, permintaan, kapasitas kendaraan, dan biaya distribusi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketiga metode menghasilkan rute yang sama, yaitu SPBG-P1-SPBG, SPBG-P3-SPBG, SPBG-P2-P3-P4-SPBG, dan SPBG-P5-P6-SPBG, dengan total jarak tempuh 836,9 km dan biaya distribusi sebesar Rp 39.372.340 per bulan, lebih hemat 28% dibanding periode sebelumnya dengan biaya distribusi sekitar Rp 55.000.000.*

**Kata Kunci -** *CNG, Vehicle Routing Problem (VRP), Saving Matrix, Nearest Insert, Nearest Neighbor, Optimasi Rute*

## **I. PENDAHULUAN**

Distribusi merupakan salah satu aktivitas penting dalam sistem logistik perusahaan yang berperan langsung terhadap kelancaran proses penyaluran produk kepada konsumen. Dalam konteks industri energi, khususnya pada distribusi *Compressed Natural Gas (CNG)* [1], kegiatan distribusi memiliki tantangan tersendiri karena harus mempertimbangkan kapasitas pemakaian pelanggan, kapasitas kendaraan, jarak tempuh, waktu pengiriman, dan biaya operasional agar penyaluran berjalan efisien. Optimasi distribusi merupakan hal yang sangat penting karena biaya transportasi biasanya menyumbang porsi terbesar dari total biaya logistik perusahaan [2]. Optimalisasi rute sangat diperlukan untuk meningkatkan efisiensi khusus pada aspek waktu dan biaya, terutama ketika pelanggan tersebar di berbagai lokasi dengan jarak yang tidak seragam [3].

Penelitian ini dilakukan di PT Parama Energi Raya, sebuah perusahaan yang bergerak di bidang distribusi *Compressed Natural Gas (CNG)* berbasis sistem inject. Perusahaan ini berperan penting dalam mendistribusikan energi bersih ke berbagai sektor industri dan komersial di wilayah Provinsi Jawa Timur. CNG merupakan bentuk energi alternatif yang ramah lingkungan dan efisien, sehingga permintaan terhadap produk ini terus meningkat dari tahun ke tahun. PT Parama Energi Raya melakukan kegiatan operasional utamanya melalui Stasiun Pengisian Bahan Bakar Gas (SPBG) Zebra yang berlokasi di wilayah Sidoarjo, Jawa Timur. Dari stasiun ini, gas CNG dikirim menggunakan kendaraan khusus menuju pelanggan yang tersebar di berbagai daerah seperti Kabupaten Jember, Magetan, Kediri, Mojokerto, dan Sidoarjo. Distribusi gas dilakukan menggunakan tiga unit kendaraan Isuzu Traga yang masing-masing memiliki kapasitas angkut GTM (*Gas Transportation Module*) sebesar 400 meter kubik (m<sup>3</sup>).

Pada kondisi eksisting, proses distribusi gas CNG dilakukan berdasarkan pemantauan tekanan (*pressure gauge*) pada CNG storage pelanggan melalui sistem CCTV (*Closed-Circuit Television*) yang terpasang pada mesin PRS

(*Pressure Reduction System*). Ketika tekanan gas pada pelanggan mendekati batas minimum, staf logistik kemudian memberikan instruksi pengiriman kepada salah satu sopir. Pola pengiriman ini menyebabkan distribusi gas CNG bersifat reaktif dan dapat terjadi sewaktu-waktu tanpa perencanaan rute yang terjadwal. Akibatnya, pemanfaatan tiga armada kendaraan yang tersedia belum dapat dilakukan secara optimal, karena pengiriman dilakukan secara terpisah dan tidak mempertimbangkan efisiensi rute maupun penggabungan pelanggan dalam satu perjalanan. Kondisi ini berdampak pada meningkatnya penggunaan bahan bakar, biaya tol, serta bonus sopir, yang pada akhirnya menurunkan efisiensi operasional secara keseluruhan [4]. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan ilmiah untuk menentukan rute distribusi paling efisien dan biaya minimum dalam proses pengiriman gas CNG ke seluruh pelanggan.

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimalisasi distribusi adalah metode dalam bidang riset operasi (*operation research*), khususnya *Vehicle Routing Problem* (VRP) [5]. Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Putri Meiliawati Kabul et al. (2025) menunjukkan efektivitas VRP dalam meminimalkan jarak tempuh distribusi dengan pendekatan VRP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rute terbaik memiliki jarak 156 km lebih pendek dibandingkan metode lain yang mencapai 220 km, lebih efisien dibandingkan rute lain yang dianalisis. Temuan ini relevan dengan penelitian pada distribusi gas CNG, karena sama-sama berfokus pada penggunaan VRP untuk menekan jarak perjalanan dan biaya operasional [6]. Penelitian lain oleh Ghina Alya Putri dkk. (2025) juga mendukung pentingnya penggunaan metode heuristik dalam optimasi rute distribusi. Dengan menerapkan VRP beserta metode *saving matrix*, *nearest insert*, dan *nearest neighbor*, penelitian tersebut menemukan bahwa *saving matrix* merupakan metode paling optimal, menghasilkan total jarak tempuh 137,7 km lebih pendek dibandingkan metode lain yang mencapai 148,9 km. Hasil ini menunjukkan bahwa pendekatan heuristik dapat memberikan peningkatan signifikan terhadap optimasi rute dan biaya distribusi. Relevansinya terhadap penelitian distribusi gas CNG adalah pada kesamaan tujuan, yaitu meminimalkan jarak tempuh dan biaya menggunakan model VRP dan pendekatan heuristik, meskipun konteks dan jenis komoditas yang diteliti berbeda [7]. Untuk mendukung proses penentuan rute yang lebih efisien, digunakan pula metode *heuristic saving matrix*, yaitu teknik optimasi dalam permasalahan VRP yang berfungsi mengidentifikasi kombinasi pengiriman dengan nilai penghematan (*saving value*) terbesar. Melalui pendekatan ini, rute kendaraan dapat diatur sedemikian rupa sehingga perjalanan menjadi lebih singkat dan keseluruhan proses distribusi dapat dilakukan secara lebih efisien [8].

Berdasarkan pemanfaatan metode VRP dan *heuristic saving matrix* pada berbagai penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa kedua pendekatan tersebut sangat potensial untuk diterapkan dalam penyelesaian permasalahan distribusi di PT Parama Energi Raya. Dengan demikian, penelitian ini di fokuskan pada pendekatan VRP dengan metode *heuristic saving matrix* untuk menentukan rute distribusi gas CNG yang optimal. Sehingga, tujuan dari penelitian ini adalah mampu menghasilkan rute distribusi dengan biaya minimum serta menjadi dasar dalam perbaikan sistem perencanaan distribusi yang lebih efisien, terstruktur dan optimal.

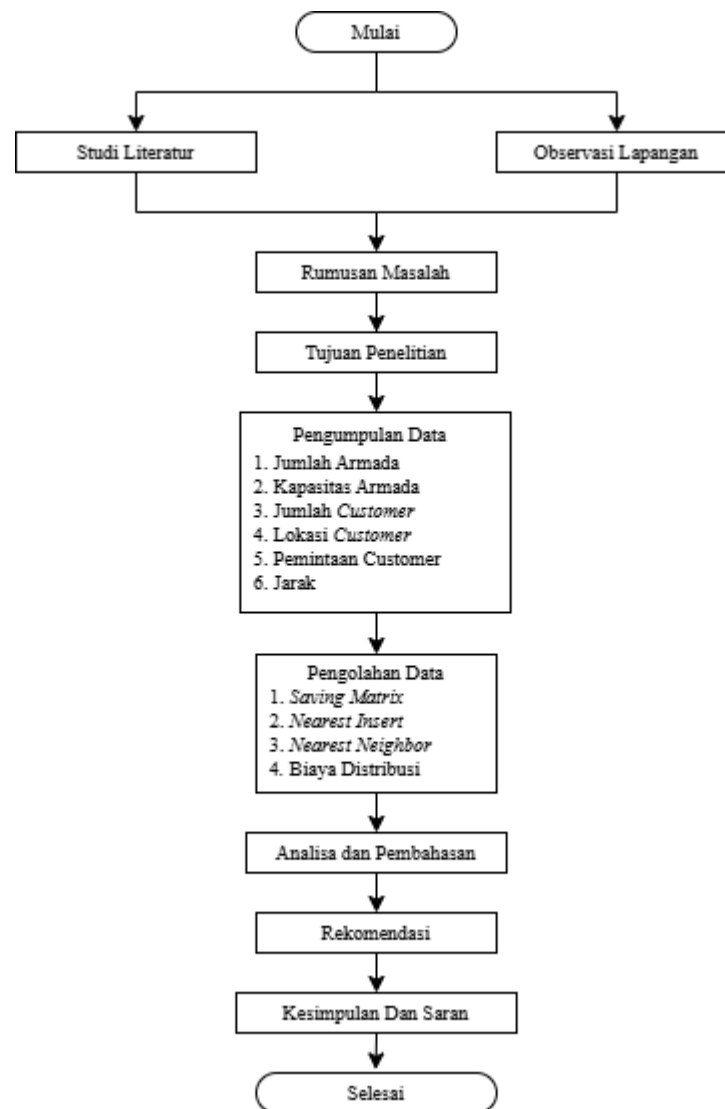
## II. METODE

Penelitian ini merupakan penelitian dengan pendekatan riset operasi (*operation research*) [9], karena berfokus pada perhitungan matematis untuk memperoleh solusi optimal terkait rute distribusi dan biaya operasional pengiriman gas CNG. Model utama yang digunakan adalah *Vehicle Routing Problem* (VRP), yaitu model optimasi yang menentukan rute terbaik bagi beberapa kendaraan dengan jarak dan biaya minimum, serta didukung metode *heuristic saving matrix* untuk menentukan rute secara efisien melalui perhitungan nilai penghematan terbesar [10]. VRP sendiri berkaitan dengan penentuan jumlah kendaraan dan rute optimal bagi pelanggan yang tersebar secara geografis [11]. sehingga total jarak tempuh dan biaya transportasi dapat ditekan [12]. Karena sistem distribusi memiliki keterbatasan seperti waktu, jarak, dan kapasitas kendaraan, VRP dianggap tepat digunakan dalam memastikan proses pengiriman berjalan lebih efisien dan optimal [13].

### A. Alur Penelitian

Berikut ini merupakan gambar 1 *flow chart* penelitian yang di lakukan dalam penelitian, gambar ini menjelaskan tentang alur penelitian ini diawali dengan tahap studi literatur dan observasi lapangan untuk memahami teori-teori pendukung serta kondisi nyata proses distribusi gas CNG pada PT Parama Energi Raya. Berdasarkan hasil studi literatur dan observasi lapangan, peneliti merumuskan masalah utama yang akan diselesaikan dalam penelitian ini. Setelah itu ditetapkan tujuan penelitian sebagai arah dan capaian yang ingin dicapai selama proses penelitian berlangsung. Penelitian kemudian berlanjut pada tahap pengumpulan data yang meliputi jumlah armada, kapasitas kendaraan, jumlah pelanggan, lokasi pelanggan, permintaan pelanggan, jarak antar titik, pemetaan rute (*mapping road*), serta waktu tempuh distribusi. Data yang diperoleh selanjutnya diolah menggunakan beberapa metode yaitu *saving matrix*, *nearest insert* dan *nearest neighbor*. Hasil dari masing - masing metode kemudian dibandingkan untuk mengetahui alternatif rute terbaik berdasarkan biaya operasional dan jarak tempuh minimum. Hasil penelitian ini merekomendasikan PT Parama Energi Raya untuk menerapkan perencanaan rute dan jadwal distribusi agar

penggunaan armada lebih optimal, jarak tempuh berkurang, dan biaya operasional dapat ditekan. Tahapan akhir penelitian adalah penyusunan kesimpulan dan saran sebagai hasil evaluasi dari seluruh proses yang telah dilakukan.



Gambar 1. *Flow Chart* Penelitian.

Berdasarkan gambar 1. *flow chart* penelitian, berikut ini merupakan tahapan yang harus dilakukan selama penelitian berlangsung.

1. Penelitian ini diawali dengan tahap studi literatur dan observasi lapangan untuk memahami teori-teori pendukung serta kondisi nyata proses distribusi gas CNG pada PT PER.
2. Studi Literatur merupakan tahap mengumpulkan teori dari beberapa sumber sumber untuk memahami perkembangan terbaru di bidang distribusi.
3. Studi lapangan dilakukan untuk memperoleh data primer mengenai kerusakan mesin di PT PER melalui observasi langsung dan wawancara dengan pihak terkait.
4. Berdasarkan hasil studi literatur dan observasi lapangan, peneliti merumuskan masalah utama yang akan diselesaikan dalam penelitian ini.
5. Setelah itu ditetapkan tujuan penelitian sebagai arah dan capaian yang ingin dicapai selama proses penelitian berlangsung.
6. Penelitian kemudian berlanjut pada tahap pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh melalui dua jenis sumber, yaitu data primer dan data sekunder. Kedua jenis data ini dikumpulkan untuk mendukung analisis optimasi rute dan biaya distribusi gas CNG menggunakan metode *Vehicle Routing Problem (VRP)* dan *Heuristic Savings Matrix*.
7. Data yang diperoleh selanjutnya diolah menggunakan ketiga metode yaitu, *saving matrix*, *nearest insert* dan *nearest neighbor*.

8. Hasil dari masing-masing metode kemudian dibandingkan untuk mengetahui alternatif rute terbaik berdasarkan biaya operasional dan jarak tempuh minimum.
9. Hasil penelitian ini merekomendasikan PT PER untuk menerapkan perencanaan rute dan jadwal distribusi agar penggunaan armada lebih optimal, jarak tempuh berkurang, dan biaya operasional dapat ditekan.
10. Tahapan akhir penelitian adalah penyusunan kesimpulan dan saran sebagai hasil evaluasi dari seluruh proses yang telah dilakukan.

**B. Saving Matrix**

Metode *saving matrix* merupakan teknik yang digunakan untuk menentukan jalur pendistribusian dan jumlah kendaraan yang diperlukan sehingga diperoleh rute terpendek dengan penggunaan armada yang sesuai kapasitas. Metode ini bertujuan menghasilkan rute dan jadwal pengiriman yang optimal guna meningkatkan efisiensi distribusi serta memaksimalkan *load factor* kendaraan [14]. Dalam penerapannya, *saving matrix* berfungsi meminimalkan total biaya dan jarak tempuh melalui pertimbangan berbagai kendala operasional. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa metode ini mampu mengurangi jumlah rute, jarak perjalanan, dan biaya transportasi secara signifikan [15][16]. Keunggulan *saving matrix* terletak pada fleksibilitasnya, karena metode ini mudah dimodifikasi untuk menyesuaikan batasan seperti waktu pengiriman, kapasitas dan jumlah kendaraan, maupun kendala distribusi lainnya, sehingga mampu memberikan solusi penjadwalan pengiriman yang lebih praktis dan efisien [17].

berikut ini adalah tahapan yang dapat dilakukan dalam penerapan metode *saving matrix* [18]:

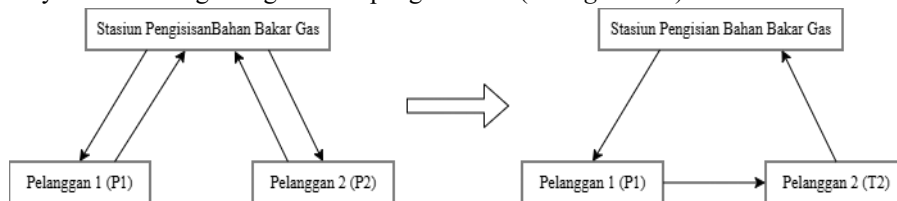
1. Langkah pertama adalah menyusun matriks jarak.

Misalkan terdapat dua lokasi dengan koordinat masing - masing  $(x_1, y_1)$  dan  $(x_2, y_2)$ . Jarak antara kedua lokasi tersebut dapat dihitung menggunakan rumus [18]:

$$J(1,2) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \dots\dots\dots \text{Rumus 1}$$

Sumber :[18].

2. Langkah berikutnya adalah menghitung matriks penghematan (*saving matrix*)



Gambar 2. Perubahan yang terjadi setelah pelanggan 1 dan pelanggan 2 digabung ke dalam satu rute.

Sumber :[18].

Jika diasumsikan bahwa jarak  $(P_1, P_2)$  sama dengan jarak  $(P_1, P_2)$  dan SPBG, maka perhitungan *saving matrix* dapat dinyatakan dengan rumus berikut [18]:

$$S(P_1, P_2) = J(SPBG, P_1) + J(SPBG, P_2) - J(P_1, P_2) \dots\dots\dots \text{Rumus 2}$$

Sumber : [19].

- 2 Mengalokasikan kendaraan dan menentukan rute sesuai dengan lokasi pelanggan.
- 3 Mengurutkan lokasi pelanggan dalam satu rute perjalanan.
- 4 Menyusun jadwal pengiriman.

**C. Nearest Insert**

Metode *nearest insert* merupakan teknik yang digunakan untuk menyusun urutan kunjungan dalam suatu rute dengan cara memilih lokasi yang akan dikunjungi terlebih dahulu berdasarkan penambahan jarak paling kecil ketika titik tersebut dimasukkan ke dalam rute [20]. Metode ini bekerja dengan menjadikan jarak total perjalanan sebagai acuan, yaitu jarak dari SPBG ke pelanggan dan kembali lagi ke SPBG, sehingga rute yang terbentuk memiliki total jarak tempuh yang paling efisien [21]. Metode *nearest insert* dan *saving matrix* dapat meningkatkan efisiensi proses distribusi dengan cara mengoptimalkan pembentukan rute pengiriman barang sesuai dengan kapasitas kendaraan. *nearest insert* bekerja dengan memasukkan lokasi pelanggan dengan jarak yang paling minimum ke dalam posisi terbaik dalam rute yang sedang dibangun berdasarkan jarak terdekat, sehingga rute yang terbentuk tetap efisien. Sementara itu, metode *saving matrix* mengidentifikasi kombinasi pelanggan yang memberikan nilai penghematan jarak terbesar, sehingga rute dapat disusun dengan meminimalkan total jarak tempuh. Dengan memanfaatkan kedua metode ini, perusahaan dapat menghasilkan rute distribusi yang lebih efisien, meminimalkan biaya perjalanan, serta meningkatkan produktivitas armada secara keseluruhan [22].

Berikut ini adalah tahapan yang digunakan dalam metode *nearest insert* [23]:

1. Menetapkan SPBG sebagai titik awal rute.
2. Memilih pelanggan yang memiliki jarak terdekat dari SPBG untuk membentuk *subtour* pertama.

3. Menentukan pelanggan dengan jarak terdekat berikutnya untuk membentuk *subtour* kedua.
4. Mengulangi langkah sebelumnya hingga tersisa satu pelanggan yang belum terhubung ke rute.
5. Menempatkan pelanggan yang belum dipilih ke dalam rute sementara dengan mempertimbangkan penambahan jarak paling kecil.
6. Menghubungkan pelanggan terakhir yang ada dalam *subtour* untuk menyempurnakan rute.

Sebagai ilustrasi, misalkan terdapat rute pengiriman dari SPBG menuju tiga pelanggan, yaitu Pelanggan 1 ( $P_1$ ), Pelanggan 2 ( $P_2$ ), dan Pelanggan 3 ( $P_3$ ). Pengiriman dari SPBG menuju masing-masing pelanggan tersebut menghasilkan jarak ( $J$ ) seperti berikut [18]:

$$SPBG-P_1-SPBG = R_1$$

$$SPBG-P_2-SPBG = R_2$$

$$SPBG-P_3-SPBG = R_3$$

Karena pelanggan pertama yang dipilih adalah pelanggan dengan jarak paling kecil, maka  $R_1$  untuk Pelanggan 1, sehingga rute awal yang terbentuk adalah sebagai berikut [7]:

$$SPBG-P_1-P_2-SPBG = R_1$$

$$SPBG-P_1-P_3-SPBG = R_2$$

Selanjutnya, pelanggan kedua yang dilayani setelah Pelanggan 1 adalah pelanggan dengan jarak terkecil berikutnya, misalnya  $R_1$  untuk Pelanggan 2, sehingga Pelanggan 3 menjadi pelanggan terakhir yang dikunjungi. Dengan demikian, rute yang terbentuk adalah sebagai berikut [7]:

$$SPBG-P_1-P_2-P_3-SPBG$$

#### D. Nearest Neighbor

Metode *nearest neighbor* merupakan salah satu teknik heuristik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan penentuan rute dengan cara memulai dari titik awal kemudian memilih lokasi dengan jarak terdekat sebagai tujuan berikutnya. Pada setiap langkah, metode ini akan memilih titik yang belum dikunjungi dan memiliki jarak paling minimum dari titik terakhir yang dikunjungi. Pendekatan ini dinilai efektif dalam pemecahan masalah *Vehicle Routing Problem* (VRP) karena mampu menghasilkan rute yang layak dalam waktu komputasi yang relatif singkat [24].

Berikut ini adalah tahapan yang digunakan dalam metode *nearest neighbor* [24]:

1. Menentukan titik SPBG sebagai titik awal serta daftar pelanggan yang akan dikunjungi.
2. Menyusun matriks jarak yang digunakan untuk menggambarkan posisi masing-masing pelanggan beserta jarak antar titik.
3. Proses penentuan rute dimulai dengan memilih pelanggan yang memiliki jarak yang paling minimum dari titik awal. Setelah pelanggan pertama terpilih, algoritma kemudian memilih pelanggan berikutnya yang belum dikunjungi dengan jarak paling minimum terhadap titik terakhir yang disinggahi.
4. Nilai optimal rute diperoleh dengan menjumlahkan seluruh jarak perjalanan dari titik awal sampai kembali ke titik akhir.

Sebagai ilustrasi, misalkan rute pengiriman dilakukan dari SPBG menuju tiga pelanggan, yaitu Pelanggan 1 ( $P_1$ ), Pelanggan 2 ( $P_2$ ), dan Pelanggan 3 ( $P_3$ ). Jarak pengiriman dari SPBG ke masing-masing pelanggan dinyatakan sebagai berikut [18]:

$$SPBG-P_1 = R_1$$

$$SPBG-P_2 = R_2$$

$$SPBG-P_3 = R_3$$

Dengan demikian, pelanggan pertama yang dikunjungi adalah pelanggan dengan jarak paling kecil (misalnya  $R_1$  untuk  $P_1$ ). Pelanggan berikutnya dipilih berdasarkan jarak terdekat dari  $P_1$ , misalnya  $P_2$ , sehingga rute lengkap yang terbentuk adalah [7]:

$$SPBG-P_1-P_2-P_3-SPBG$$

#### E. Biaya Distribusi

Perhitungan biaya distribusi dilakukan untuk mengetahui total biaya operasional yang dikeluarkan perusahaan berdasarkan rute hasil optimasi. Tahap ini menjadi sangat penting karena meskipun sebuah rute menawarkan jarak tempuh yang lebih singkat, belum tentu rute tersebut menghasilkan biaya distribusi yang paling efisien [25]. Oleh karena itu, setiap rute yang diperoleh dari metode *saving matrix*, *nearest insert*, dan *nearest neighbor* dianalisis berdasarkan komponen biaya utama sebagai berikut:

1. Biaya Bahan Bakar

Biaya bahan bakar dihitung dari total jarak yang ditempuh kendaraan. Semakin jauh jarak perjalanan, semakin besar pula penggunaan bahan bakar dan biaya yang harus ditanggung perusahaan. Harga bahan bakar solar yang digunakan dalam penelitian ini sebesar Rp 6.800 per liter, dengan konsumsi bahan bakar Isuzu Traga 1:11 yang

berati 1 liter bahan bakar dapat menempuh jarak 11 km, menjadi dasar untuk mengetahui total pengeluaran bahan bakar di setiap alternatif rute [26].

## 2. Biaya Tol

Jika rute yang dihasilkan melewati ruas jalan tol, maka biaya tol dimasukkan sebagai komponen biaya tambahan. Penggunaan jalan tol biasanya diperlukan untuk mempercepat waktu pengiriman, terutama apabila pelanggan membutuhkan pengisian segera. Meski memberi keuntungan dari sisi waktu, penggunaan tol meningkatkan biaya perjalanan, sehingga perlu diperhitungkan secara cermat [26].

## 3. Bonus Sopir

Perusahaan memberikan tambahan biaya berupa bonus sopir sebesar Rp 950 per kilometer berdasarkan jarak yang ditempuh kendaraan. Semakin panjang rute yang dilalui, semakin tinggi pula biaya bonus yang harus dikeluarkan. Komponen biaya ini merupakan faktor variabel yang signifikan dalam keseluruhan perhitungan biaya distribusi.

## 4. Total Biaya Distribusi

Setelah seluruh komponen biaya dihitung, total biaya distribusi diperoleh dengan menjumlahkan biaya bahan bakar, biaya tol, dan bonus sopir. Nilai total biaya ini kemudian digunakan sebagai dasar untuk membandingkan efektivitas rute dari masing-masing metode optimasi.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini merupakan hasil dan pembahasan yang di peroleh dari proses pengumpulan dan pengolahan data serta pembahasan terhadap hasil optimasi biaya distribusi gas CNG PT Parama Energi Raya yang berada di wilayah Jawa Timur.

#### A. Pengumpulan Data

##### 1. Data Jumlah Armada dan Kapasitas Maksimum

Berikut ini merupakan tabel yang memuat informasi mengenai jumlah armada Isuzu Traga serta kapasitas maksimum GTM (*Gas Transportation Module*) yang di angkut oleh armada penyalur gas CNG PT Parama Energi Raya yang berada di wilayah Jawa Timur. Informasi lengkap mengenai jumlah armada dan kapasitas maksimum GTM (*Gas Transportation Module*) yang di angkut oleh armada ditunjukkan pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Jumlah Armada dan Kapasitas Maksimum.

No	Armada Pengiriman	Kapasitas GTM ( <i>Gas Transportation Module</i> )
1.	Isuzu Traga 1	400 m <sup>3</sup>
2.	Isuzu Traga 2	400 m <sup>3</sup>
3.	Isuzu Traga 3	400 m <sup>3</sup>
Total Kapasitas		1200 m <sup>3</sup>

##### 2. Data Informasi Mengenai Pelanggan

Berikut ini merupakan tabel yang memuat informasi mengenai daftar pelanggan, lokasi, titik koordinat, jumlah permintaan pada bulan Juli 2025 serta jarak dari SPBG seluruh pelanggan gas CNG PT Parama Energi Raya yang berada di wilayah Jawa Timur. Data ini digunakan sebagai acuan untuk penentuan jarak antar lokasi serta penyusunan rute distribusi pada proses optimasi. Informasi lengkap mengenai alamat dan koordinat masing-masing pelanggan ditunjukkan pada tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Informasi Mengenai Pelanggan.

No	Pelanggan	Lokasi / Alamat	Koordinat	Permintaan (m <sup>3</sup> )	Jarak
1	PT Jafran Indonesia	Jl. Airlangga No.31, Gudang Rejo, Rambipuji, Kec. Rambipuji, Kabupaten Jember, Jawa Timur 68152	8°13'09.6"S 113°35'38.3"E	10968.28	152 KM
2	RPA Arjuna	Jl. Raya Gorang Gareng, Sumbermulyo, Jombang, Kec. Takeran, Kabupaten Magetan, Jawa Timur 63383	7°40'04.3"S 111°29'48.3"E	4047.93	157 KM
3	PT Widji Nusantara Makmur	Jl. Raya Mranggen, Kec. Purwoasri, Kabupaten Kediri, Jawa Timur 64154	7°39'41.5"S 112°05'19.4"E	18047.8	84,4 KM
4	PT Ionee Jaya Sentosa	Jl. Raya Kebonagung, Kabupaten Mojokerto, Jawa Timur 61363	7°32'04.8"S 112°27'48.7"E	1101.83	35,4 KM

5	RM Oemik Ika	Jl. Raya Jati No.23, Babatan, Jati, Kec. Sidoarjo, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur 61234	7°26'44.8"S 112°41'38.4"E	2155.27	11,1 KM
6	Dapur Bedjo	Bedugdowo, Durungbedug, Kec. Candi, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur 61271	7°27'38.5"S 112°40'10.8"E	6232.24	11.6 KM

### 3. Data Mapping Road dan Waktu Tempuh

Berikut ini hasil pemetaan rute distribusi gas CNG dari SPBG Zebra menuju masing-masing pelanggan menggunakan aplikasi Google Maps. Pemetaan dilakukan untuk memperoleh informasi jarak tempuh dan estimasi waktu perjalanan berdasarkan kondisi jaringan jalan yang tersedia. Data hasil pemetaan ini digunakan sebagai dasar dalam penyusunan matriks jarak serta analisis optimasi rute distribusi pada tahap selanjutnya.

### 4. Routing Problem

Permasalahan distribusi pada PT Parama Energi Raya melalui pendekatan *Vehicle Routing Problem* (VRP), yaitu penentuan rute optimal kendaraan dalam melayani pelanggan dengan tujuan meminimalkan total jarak tempuh dan biaya distribusi. Dalam penelitian ini, SPBG Zebra menjadi titik awal dan akhir perjalanan. Armada yang digunakan berjumlah tiga unit kendaraan dengan kapasitas maksimum GTM (*Gas Transportation Module*) 400 m<sup>3</sup>. Pelanggan tersebar di beberapa wilayah dengan permintaan yang bervariasi, sehingga memungkinkan terjadinya pengiriman terpisah apabila permintaan melebihi kapasitas kendaraan. Adapun rincian permasalahan *routing* adalah sebagai berikut:

1. Setiap rute diawali dan diakhiri dari Setasiun Bahan Bakar Gas (SPBG).
2. Setiap pelanggan harus dilayani sesuai dengan permintaan.
3. Kapasitas maksimum GTM (*Gas Transportation Module*) 400 m<sup>3</sup>.
4. Jumlah kendaraan terbatas sebanyak tiga unit.

Dengan demikian, permasalahan ini termasuk dalam VRP, yang bertujuan menghasilkan rute distribusi yang paling efisien dan optimal.

### 5. Rute Distribusi gas CNG

Berikut ini merupakan rute distribusi yang dilakukan oleh PT Parama Energi Raya dari SPBG Zebra menuju masing-masing pelanggan dalam bulan Juli 2025 ditunjukkan pada tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Informasi Mengenai Pelanggan.

No	Pelanggan	Rute	Armada	Jumlah Perjalanan	Jarak PP
1	PT Jafran Indonesia (P1)	SPBG–P1–SPBG	Isuzu Traga 1/2/3	28 kali	304 KM
2	RPA Arjuna (P2)	SPBG–P2–SPBG	Isuzu Traga 1/2/3	11 kali	314 KM
3	PT Widji Nusantara Makmur (P3)	SPBG–P3–SPBG	Isuzu Traga 1/2/3	46 kali	168,8 KM
4	PT Ionee Jaya Sentosa (P4)	SPBG–P4–SPBG	Isuzu Traga 1/2/3	3 kali	70,8 KM
5	RM Oemik Ika (P5)	SPBG–P5–SPBG	Isuzu Traga 1/2/3	6 kali	22,2 KM
6	Dapur Bedjo (P6)	SPBG–P6–SPBG	Isuzu Traga 1/2/3	16 kali	23,2 KM

Distribusi gas CNG PT Parama Energi Raya pada bulan Juli 2025 dilakukan dari SPBG Zebra ke enam pelanggan dengan pola rute pulang-pergi. Setiap pelanggan dilayani secara terpisah menggunakan armada Isuzu Traga tanpa penggabungan rute. Pengiriman menuju PT Jafran Indonesia (P1) terjadi sebanyak 28 kali dengan jarak 304 KM dalam sekali perjalanan, pengiriman menuju RPA Arjuna (P2) terjadi sebanyak 11 kali dengan jarak 314 KM dalam sekali perjalanan, pengiriman menuju PT Widji Nusantara Makmur (P3) terjadi sebanyak 46 kali dengan jarak 168,8 KM dalam sekali perjalanan, pengiriman menuju PT Ionee Jaya Sentosa (P4) terjadi sebanyak 3 kali dengan jarak 70,8 KM dalam sekali perjalanan, pengiriman menuju RM Oemik Ika (P5) terjadi sebanyak 6 kali dengan jarak 22,2 KM dalam sekali perjalanan, pengiriman menuju Dapur Bedjo (P6) terjadi sebanyak 16 kali dengan jarak 23,2 KM dalam sekali perjalanan. Pola distribusi ini menunjukkan belum optimalnya efisiensi rute dan pemanfaatan armada. Total biaya distribusi yang mencakup biaya solar, bonus driver, serta tol berangkat untuk pelanggan jarak jauh sekitar Rp 55.000.000.

## B. Pengolahan Data

Setelah proses pengumpulan data selesai, tahap selanjutnya adalah pengolahan data untuk menentukan rute distribusi yang paling optimal berdasarkan biaya distribusi dengan menggunakan metode *Vehicle Routing Problem* (VRP). Dalam penelitian ini, VRP diselesaikan menggunakan tiga pendekatan heuristik, yaitu *saving matrix*, *nearest insert*, dan *nearest neighbor*, yang digunakan untuk menghasilkan rute distribusi yang paling efisien.

Tabel 4. Rencana Pemenuhan Permintaan Pelanggan di Wilayah Jawa Timur.

No	Pelanggan	Permintaan (m <sup>3</sup> )	Jumlah Pengiriman	Permintaan perhari (m <sup>3</sup> )
1	PT Jafran Indonesia	10968,28	30 Hari	365,60
2	RPA Arjuna	4047,93	30 Hari	134,93
3	PT Widji Nusantara Makmur	18047,8	30 Hari	601,59

4	PT Ionee Jaya Sentosa	1101,83	30 Hari	36,72
5	RM Oemik Ika	2155,27	30 Hari	71,84
6	Dapur Bedjo	6232,24	30 Hari	207,74
	Total	42553,35	Total	1418,45

Tabel 4 berisikan rencana pemenuhan permintaan pelanggan PT Parama Energi Raya di wilayah Jawa Timur, terdapat 2 pelanggan yang permintaan CNG perhari nya mendekati dan melebihi kapasitas maksimum GTM (*Gas Transportation Module*) sebesar 400 m<sup>3</sup>, sehingga hal ini dapat mempengaruhi pembagian kendaraan dalam rute pengiriman yang akan di rencanakan dalam metode *saving matrix*, *nearest insert*, dan *nearest neighbor*. Dalam hal ini pelanggan yang permintaan CNG perhari nya mendekati dan melebihi kapasitas maksimum GTM (*Gas Transportation Module*) akan menjadi prioritas dalam rencana pengiriman.

#### 1. Saving Matrix

Metode pertama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *saving matrix*. Metode ini diterapkan untuk menentukan rute distribusi gas CNG PT Parama Energi Raya ke beberapa pelanggan di wilayah Jawa Timur dengan mempertimbangkan kombinasi rute dan jumlah kendaraan berdasarkan kapasitas angkut armada. Dalam penerapan metode ini terdapat 2 pelanggan yang menjadi prioritas dalam rencana pengiriman yaitu P1, PT Jafran Indonesia dengan permintaan perhari 365,60 m<sup>3</sup> perhari, sehingga armada ke 1 di fokuskan pada rute pengiriman menuju pelanggan tersebut, sedangkan P3, PT Widji Nusantara Makmur dengan permintaan perhari 601,59 m<sup>3</sup> perhari, sehingga armada ke 2 di fokuskan pada rute pengiriman menuju pelanggan tersebut, tetapi terdapat keterbatasan kapasitas maksimum GTM (*Gas Transportation Module*) sebesar 400 m<sup>3</sup>, sehingga dalam pengiriman terbagi menjadi 2, periode pertama menggunakan armada ke 2 dengan kuota pengiriman 400 m<sup>3</sup>, dan sisanya 201,59 m<sup>3</sup> menjadi periode kedua dalam pengiriman menuju pelanggan tersebut menggunakan armada ke 3 dalam 1 rute pengiriman menuju beberapa pelanggan lainnya. Tujuannya adalah untuk memperoleh rute distribusi yang paling efisien sehingga biaya operasional dapat diminimalkan. Hasil perhitungan *saving matrix* disajikan pada Tabel 4.

Tabel 5. *Matrix* Jarak Dari SPBG Menuju Masing Masing pelanggan.

	SPBG	P1	P2	P3	P4	P5	P6
P1	152	0					
P2	157	306	0				
P3	84,4	234	89	0			
P4	35,4	185	128	56	0		
P5	11,1	162	161	89	40	0	
P6	11,6	162	159	86	36	4	0

Tabel 5 menunjukkan jarak aktual dari SPBG menuju masing-masing pelanggan, maupun jarak dari pelanggan menuju masing-masing pelanggan lainnya.

Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai penghematan jarak antar pelanggan, nilai penghematan dapat dilihat dalam perhitungan di bawah ini:

$$\begin{aligned} P_2 - P_3 &= J(\text{SPBG}, P_2) + J(\text{SPBG}, P_3) - J(P_2, P_3) \\ &= 157 + 84,4 - 89 \\ &= 152,4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2 - P_4 &= J(\text{SPBG}, P_2) + J(\text{SPBG}, P_4) - J(P_2, P_4) \\ &= 157 + 35,4 - 128 \\ &= 64,4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2 - P_5 &= J(\text{SPBG}, P_2) + J(\text{SPBG}, P_5) - J(P_2, P_5) \\ &= 157 + 11,1 - 161 \\ &= 7,1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2 - P_6 &= J(\text{SPBG}, P_2) + J(\text{SPBG}, P_6) - J(P_2, P_6) \\ &= 157 + 11,6 - 159 \\ &= 9,6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_3 - P_4 &= J(\text{SPBG}, P_3) + J(\text{SPBG}, P_4) - J(P_3, P_4) \\ &= 84,4 + 35,4 - 56 \\ &= 63,8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_3 - P_5 &= J(\text{SPBG}, P_3) + J(\text{SPBG}, P_5) - J(P_3, P_5) \\ &= 84,4 + 11,1 - 89 \\ &= 6,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_3 - P_6 &= J(\text{SPBG}, P_3) + J(\text{SPBG}, P_6) - J(P_3, P_6) \\ &= 84,4 + 11,6 - 86 \\ &= 10 \end{aligned}$$

$$P_4 - P_5 = J(\text{SPBG}, P_4) + J(\text{SPBG}, P_5) - J(P_4, P_5)$$

$$\begin{aligned}
&= 35,4 + 11,1 - 40 \\
&= 6,5 \\
P_4 - P_6 &= J(\text{SPBG}, P_4) + J(\text{SPBG}, P_6) - J(P_4, P_6) \\
&= 35,4 + 11,6 - 36 \\
&= 11 \\
P_5 - P_6 &= J(\text{SPBG}, P_5) + J(\text{SPBG}, P_6) - J(P_5, P_6) \\
&= 11,1 + 11,6 - 4 \\
&= 18,7
\end{aligned}$$

Tabel 6. *Matrix* Penghematan Jarak Antar Pelanggan.

	P2	P3	P4	P5	P6
P2	0				
P3	152.4	0			
P4	64.4	63.8	0		
P5	7.1	6.5	6.5	0	
P6	9.6	10	11	18.7	0

Tabel 6 menunjukkan hasil perhitungan nilai penghematan jarak antar pelanggan. Nilai tersebut menggambarkan besarnya pengurangan jarak yang diperoleh apabila dua titik pelanggan digabungkan dalam satu rute distribusi. Semakin besar nilai penghematan, maka semakin efisien penggabungan rute tersebut. langkah selanjutnya adalah menentukan rute distribusi dengan mempertimbangkan kapasitas armada sebesar 400 m<sup>3</sup> serta mengurutkan nilai penghematan dari yang terbesar hingga terkecil untuk memperoleh kombinasi rute yang optimal.

Tabel 7. Hasil Perencanaan Rute *Saving Matrix*.

Rute	Isuzu Traga	Jumlah Pengiriman	Jarak PP
SPBG–P <sub>1</sub> –SPBG	1	30	304 KM
SPBG–P <sub>3</sub> –SPBG	2	30	168,8 KM
SPBG–P <sub>2</sub> –P <sub>3</sub> –P <sub>4</sub> –SPBG	3	30	337,4 KM
SPBG–P <sub>5</sub> –P <sub>6</sub> –SPBG	2	30	26,7 KM
Total Jarak			836,9 KM

Tabel 5 menunjukkan hasil penentuan rute distribusi menggunakan metode *saving matrix*. Rute dibentuk dengan menggabungkan pelanggan yang memiliki nilai penghematan terbesar, kemudian disesuaikan dengan kapasitas kendaraan dan jumlah permintaan masing-masing pelanggan. Berdasarkan hasil tersebut, diperoleh beberapa rute distribusi, yaitu SPBG–P<sub>1</sub>–SPBG, SPBG–P<sub>3</sub>–SPBG, SPBG–P<sub>2</sub>–P<sub>3</sub>–P<sub>4</sub>–SPBG, serta SPBG–P<sub>5</sub>–P<sub>6</sub>–SPBG. Total jarak tempuh yang dihasilkan dari seluruh rute adalah 836,9 km. Hasil ini menunjukkan bahwa metode *Saving Matrix* mampu mengoptimalkan rute distribusi dengan mengurangi total jarak perjalanan.

Perhitungan biaya distribusi pada penerapan metode *saving matrix* dilakukan dengan mempertimbangkan biaya bahan bakar dan bonus sopir dalam proses pengiriman ke seluruh pelanggan di wilayah Jawa Timur. Biaya bahan bakar yang digunakan sebesar Rp 6.800 per liter, sedangkan bonus sopir sebesar Rp 950 per kilometer. Konsumsi bahan bakar kendaraan Isuzu Traga adalah 1:11, yang berarti 1 liter bahan bakar dapat menempuh jarak 11 km. Dalam penerapan metode *saving matrix*, rute yang dihasilkan tidak melalui jalan tol sehingga tidak terdapat tambahan biaya tol.

Berikut ini merupakan perhitungan biaya distribusi, dalam perencanaan rute menggunakan metode *saving matrix*:

$$\begin{aligned}
&= ((\text{jarak} \times (\text{harga bahan bakar/konsumsi bahan bakar perliter})) + (\text{jarak} \times \text{bonus supir perkilometer})) \times 30 \text{ hari} \\
&= ((836,9 \times (6800/11)) + (836,9 \times 950)) \times 30 \\
&= ((836,9 \times 618,18) + (836,9 \times 950)) \times 30 \\
&= (517356 + 795055) \times 30 \\
&= 1312411 \times 30 \\
&= 39372340
\end{aligned}$$

Berdasarkan metode *saving matrix*, total jarak tempuh sebesar 836,9 km, diperoleh total biaya distribusi sebesar Rp 39.372.340 per bulan, lebih hemat 28% dibanding periode sebelumnya dengan biaya distribusi sekitar Rp 55.000.000.

## 2. Nearest Insert

Metode kedua yang digunakan dalam penelitian ini merupakan metode *nearest insert*. Metode ini bekerja dengan cara menambahkan pelanggan ke dalam rute yang telah terbentuk dengan mempertimbangkan penambahan jarak yang paling minimum. Dengan pendekatan ini, diharapkan rute yang dihasilkan tetap efisien meskipun terjadi

penambahan titik pelanggan secara bertahap. Berikut ini merupakan hasil penentuan rute dengan metode *nearest insert* ditampilkan pada tabel 8.

Tabel 8. Hasil Penentuan *Nearest Insert*.

Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
SPBG-P <sub>1</sub> -SPBG 304	SPBG-P <sub>3</sub> -SPBG 168,8	SPBG-P <sub>2</sub> -SPBG 314	SPBG-P <sub>5</sub> -SPBG 22,2
		SPBG-P <sub>3</sub> -SPBG 168,8	SPBG-P <sub>6</sub> -SPBG 23,2
		SPBG-P <sub>4</sub> -SPBG 70,8	

Tabel 8 merupakan hasil perhitungan jarak awal pada metode *nearest insert*. Berdasarkan hasil perencanaan rute pada metode *saving matrix*, masing-masing pelanggan dihitung jaraknya dengan rute dari SPBG menuju pelanggan lalu kembali ke SPBG. Selanjutnya dari jarak yang dihasilkan, pilih jarak yang nilainya terkecil. Dalam proses ini, terdapat dua pelanggan yang menjadi prioritas, yaitu P<sub>1</sub> (PT Jafran Indonesia) dengan permintaan 365,60 m<sup>3</sup>/hari dan P<sub>3</sub> (PT Widji Nusantara Makmur) dengan permintaan 601,59 m<sup>3</sup>/hari. Oleh karena itu, rute 1 (SPBG-P<sub>1</sub>-SPBG) dialokasikan untuk armada ke-1, sedangkan rute 2 (SPBG-P<sub>3</sub>-SPBG) dialokasikan untuk armada ke-2. Namun, karena permintaan P<sub>3</sub> melebihi kapasitas maksimum GTM (*Gas Transportation Module*) sebesar 400 m<sup>3</sup>, maka pengiriman dilakukan dalam dua periode. Periode pertama menggunakan armada ke-2 dengan kapasitas 400 m<sup>3</sup>, dan sisanya 201,59 m<sup>3</sup> menjadi periode kedua dalam pengiriman menuju pelanggan tersebut menggunakan armada ke 3 dalam rute 3 yaitu pengiriman menuju (SPBG-P<sub>2</sub>-P<sub>3</sub>-P<sub>4</sub>-SPBG). Dengan demikian, kemunculan kembali pelanggan P<sub>3</sub> pada rute 3 dalam proses iterasi *Nearest Insert* bukan merupakan duplikasi rute, melainkan bagian dari strategi pemenuhan permintaan yang dibagi ke dalam beberapa perjalanan sesuai dengan keterbatasan kapasitas kendaraan. Pada rute 3 yang dipilih adalah SPBG-P<sub>4</sub>-SPBG dengan jarak 70,8 km, terakhir untuk rute 4 yang dipilih adalah SPBG-P<sub>5</sub>-SPBG dengan jarak 22,2 km. Kemudian dilanjutkan ke iterasi 1.

Tabel 9 Perhitungan *Nearest Insert* Iterasi 1.

Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
SPBG-P <sub>1</sub> -SPBG 304	SPBG-P <sub>3</sub> -SPBG 168,8	SPBG-P <sub>4</sub> -P <sub>2</sub> -SPBG 320,4	SPBG-P <sub>5</sub> -P <sub>6</sub> -SPBG 26,7
		SPBG-P <sub>4</sub> -P <sub>3</sub> -SPBG 175,8	

Tabel 9 merupakan hasil iterasi 1 pada metode *nearest insert* yang merupakan lanjutan perhitungan dari tabel 8. Pada tahap ini dilakukan proses evaluasi penambahan pelanggan ke dalam rute yang telah terbentuk dengan mempertimbangkan penambahan jarak minimum. Langkah selanjutnya yaitu menghitung jarak dari pelanggan yang sebelumnya telah dipilih dengan pelanggan yang belum terpilih, lalu kembali ke SPBG. Berdasarkan hasil perhitungan, rute 1 (SPBG-P<sub>1</sub>-SPBG) tetap dipertahankan dan dialokasikan untuk armada ke-1 karena pelanggan P<sub>1</sub> memiliki permintaan sebesar 365,60 m<sup>3</sup>/hari yang mendekati kapasitas maksimum GTM (*Gas Transportation Module*). Demikian pula, rute 2 (SPBG-P<sub>3</sub>-SPBG) tetap dipertahankan sebagai rute utama untuk melayani pelanggan P<sub>3</sub> dengan permintaan sebesar 601,59 m<sup>3</sup>/hari. Karena permintaan P<sub>3</sub> melebihi kapasitas kendaraan, maka diterapkan pengiriman terpisah, di mana pengiriman dilakukan dalam lebih dari satu rute perjalanan. Oleh karena itu, pada iterasi 1 ini P<sub>3</sub> masih dapat muncul sebagai bagian dari kombinasi rute 3 untuk memenuhi sisa permintaan yang belum terpenuhi. Kemudian rute 3 yaitu SPBG-P<sub>4</sub>-P<sub>3</sub>-SPBG dengan jarak 175,8 km, dan rute 4 yaitu SPBG-P<sub>5</sub>-P<sub>6</sub>-SPBG dengan jarak 26,7 km, yang merupakan kombinasi dengan jarak paling efisien pada iterasi 1 ini. Kemudian dilanjutkan ke iterasi 2.

Tabel 10. Perhitungan *Nearest Insert* Iterasi 2.

Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
SPBG-P <sub>1</sub> -SPBG 304	SPBG-P <sub>3</sub> -SPBG 168,8	SPBG-P <sub>4</sub> -P <sub>3</sub> -P <sub>2</sub> -SPBG 337,4	SPBG-P <sub>5</sub> -P <sub>6</sub> -SPBG 26,7

Tabel 10 merupakan hasil iterasi 2 sekaligus tahap perencanaan rute dengan metode *nearest insert* yang merupakan lanjutan perhitungan dari tabel 9. Pada tahap ini dilakukan proses evaluasi penambahan pelanggan yang belum terpilih ke dalam rute yang telah terbentuk. Hasilnya adalah untuk rute 1 yaitu SPBG-P<sub>1</sub>-SPBG dengan jarak 304 km, lalu rute 2 yaitu SPBG-P<sub>3</sub>-SPBG dengan jarak 168,8 km, lalu rute 3 yaitu SPBG-P<sub>4</sub>-P<sub>3</sub>-P<sub>2</sub>-SPBG dengan jarak 337,4 km, dan rute 4 yaitu SPBG-P<sub>5</sub>-P<sub>6</sub>-SPBG dengan jarak 26,7 km. Sehingga total jarak yang dihasilkan metode *nearest insert* adalah 836,9 km.

Perhitungan biaya distribusi pada penerapan metode *nearest insert* dilakukan dengan mempertimbangkan biaya bahan bakar dan bonus sopir dalam proses pengiriman ke seluruh pelanggan di wilayah Jawa Timur. Biaya bahan bakar yang digunakan sebesar Rp 6.800 per liter, sedangkan bonus sopir sebesar Rp 950 per kilometer. Konsumsi bahan bakar kendaraan Isuzu Traga adalah 1:11, yang berarti 1 liter bahan bakar dapat menempuh jarak 11 km. Dalam penerapan metode *nearest insert*, rute yang dihasilkan tidak melalui jalan tol sehingga tidak terdapat tambahan biaya tol.

Berikut ini merupakan perhitungan biaya distribusi, dalam perencanaan rute menggunakan metode *nearest insert*:

$$= ((\text{jarak} \times (\text{harga bahan bakar/konsumsi bahan bakar perliter})) + (\text{jarak} \times \text{bonus supir perkilometer})) \times 30 \text{ hari}$$

$$\begin{aligned}
&= ((836,9 \times (6800/11)) + (836,9 \times 950) \times 30 \\
&= ((836,9 \times 618,18) + (836,9 \times 950) \times 30 \\
&= (517356 + 795055) \times 30 \\
&= 1312411 \times 30 \\
&= 39372340
\end{aligned}$$

Berdasarkan metode *nearest insert* total jarak tempuh sebesar 836,9 km, diperoleh total biaya distribusi sebesar Rp 39.372.340 per bulan, lebih hemat 28% dibanding periode sebelumnya dengan biaya distribusi sekitar Rp 55.000.000.

### 3. Nearest Neighbor

Metode ketiga yang digunakan dalam penelitian ini merupakan metode *nearest neighbor*. Metode ini bekerja dengan cara memilih pelanggan yang jaraknya paling dekat baik dari SPBG maupun lokasi terakhir pengiriman yang dikunjungi. Dengan pendekatan ini, diharapkan rute yang dihasilkan tetap efisien meskipun terjadi penambahan titik pelanggan secara bertahap. Berikut ini merupakan hasil penentuan rute dengan metode *nearest neighbor* ditampilkan pada tabel 11.

Tabel 11. Hasil Penentuan *Nearest Neighbor*.

Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
SPBG-P <sub>1</sub> 304	SPBG-P <sub>3</sub> 168,8	SPBG-P <sub>2</sub> 314	SPBG-P <sub>5</sub> 22,2
		SPBG-P <sub>3</sub> 168,8	SPBG-P <sub>6</sub> 23,2
		SPBG-P <sub>4</sub> 70,8	

Tabel 11 merupakan hasil perhitungan jarak awal pada metode *nearest neighbor*. Berdasarkan hasil perencanaan rute pada metode *saving matrix*, masing-masing pelanggan kembali diperhitungkan jarak dari SPBG menuju pelanggan atau dari pelanggan tujuan terakhir di kunjungi dengan lokasi selanjutnya. Dari jarak yang dihasilkan, pilih jarak yang nilainya terkecil. Dalam proses ini, terdapat dua pelanggan yang menjadi prioritas, yaitu P<sub>1</sub> (PT Jafran Indonesia) dengan permintaan 365,60 m<sup>3</sup>/hari dan P<sub>3</sub> (PT Widji Nusantara Makmur) dengan permintaan 601,59 m<sup>3</sup>/hari. Oleh karena itu, rute 1 (SPBG-P<sub>1</sub>) dialokasikan untuk armada ke-1, sedangkan rute 2 (SPBG-P<sub>3</sub>) dialokasikan untuk armada ke-2. Namun, karena permintaan P<sub>3</sub> melebihi kapasitas maksimum GTM (*Gas Transportation Module*) sebesar 400 m<sup>3</sup>, maka pengiriman dilakukan dalam dua periode. Periode pertama menggunakan armada ke-2 dengan kapasitas 400 m<sup>3</sup>, dan sisanya 201,59 m<sup>3</sup> menjadi periode kedua dalam pengiriman menuju pelanggan tersebut menggunakan armada ke 3 dalam rute 3 yaitu pengiriman menuju (SPBG-P<sub>2</sub>-P<sub>3</sub>-P<sub>4</sub>). Dengan demikian, kemunculan kembali pelanggan P<sub>3</sub> pada rute 3 dalam proses iterasi *nearest neighbor* bukan merupakan duplikasi rute, melainkan bagian dari strategi pemenuhan permintaan yang dibagi ke dalam beberapa perjalanan sesuai dengan keterbatasan kapasitas kendaraan. Pada rute 3 yang dipilih adalah SPBG-P<sub>4</sub> dengan jarak 70,8 km, terakhir untuk rute 4 yang dipilih adalah SPBG-P<sub>5</sub> dengan jarak 22,2 km. Kemudian dilanjutkan ke iterasi 1.

Tabel 12. Perhitungan *Nearest Neighbor* Iterasi 1.

Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
P <sub>1</sub> 304	P <sub>3</sub> 168,8	P <sub>4</sub> -P <sub>2</sub> 320,4	P <sub>5</sub> -P <sub>6</sub> 26,7
		P <sub>4</sub> -P <sub>3</sub> 175,8	

Tabel 12 merupakan hasil iterasi 1 pada metode *nearest neighbor* yang merupakan lanjutan perhitungan dari tabel 11. Pada tahap ini dilakukan proses evaluasi penambahan pelanggan ke dalam rute yang telah terbentuk dengan mempertimbangkan penambahan jarak minimum. Langkah selanjutnya yaitu menghitung jarak dari pelanggan yang sebelumnya telah dipilih dengan pelanggan yang belum terpilih, lalu kembali ke SPBG. Berdasarkan hasil perhitungan, rute 1 (P<sub>1</sub>) tetap dipertahankan dan dialokasikan untuk armada ke-1 karena pelanggan P<sub>1</sub> memiliki permintaan sebesar 365,60 m<sup>3</sup>/hari yang mendekati kapasitas maksimum GTM (*Gas Transportation Module*). Demikian pula, rute 2 (P<sub>3</sub>) tetap dipertahankan sebagai rute utama untuk melayani pelanggan P<sub>3</sub> dengan permintaan sebesar 601,59 m<sup>3</sup>/hari. Karena permintaan P<sub>3</sub> melebihi kapasitas kendaraan, maka diterapkan pengiriman terpisah, di mana pengiriman dilakukan dalam lebih dari satu rute perjalanan. Oleh karena itu, pada iterasi 1 ini P<sub>3</sub> masih dapat muncul sebagai bagian dari kombinasi rute 3 untuk memenuhi sisa permintaan yang belum terpenuhi. Kemudian rute 3 yaitu P<sub>4</sub>-P<sub>3</sub> dengan jarak 175,8 km, dan rute 4 yaitu P<sub>5</sub>-P<sub>6</sub> dengan jarak 26,7 km, yang merupakan kombinasi dengan jarak paling efisien pada iterasi 1 ini. Kemudian dilanjutkan ke iterasi 2.

Tabel 13. Perhitungan *Nearest Neighbor* Iterasi 2.

Rute 1	Rute 2	Rute 3	Rute 4
SPBG-P <sub>1</sub> -SPBG 304	SPBG-P <sub>3</sub> -SPBG 168,8	SPBG-P <sub>4</sub> -P <sub>3</sub> -P <sub>2</sub> -SPBG 337,4	SPBG-P <sub>5</sub> -P <sub>6</sub> -SPBG 26,7

Tabel 13 merupakan hasil iterasi 2 sekaligus tahap perencanaan rute dengan metode *nearest neighbor* yang merupakan lanjutan perhitungan dari tabel 12. Pada tahap ini dilakukan proses evaluasi penambahan pelanggan yang belum terpilih ke dalam rute yang telah terbentuk. Hasilnya adalah untuk rute 1 yaitu SPBG-P<sub>1</sub>-SPBG dengan jarak 304 km, lalu rute 2 yaitu SPBG-P<sub>3</sub>-SPBG dengan jarak 168,8 km, lalu rute 3 yaitu SPBG-P<sub>4</sub>-P<sub>3</sub>-P<sub>2</sub>-SPBG dengan jarak 337,4 km, dan rute 4 yaitu SPBG-P<sub>5</sub>-P<sub>6</sub>-SPBG dengan jarak 26,7 km. Sehingga total jarak yang dihasilkan metode *nearest neighbor* adalah 836,9 km.

Perhitungan biaya distribusi pada penerapan metode *nearest neighbor* dilakukan dengan mempertimbangkan biaya bahan bakar dan bonus sopir dalam proses pengiriman ke seluruh pelanggan di wilayah Jawa Timur. Biaya bahan bakar yang digunakan sebesar Rp 6.800 per liter, sedangkan bonus sopir sebesar Rp 950 per kilometer. Konsumsi bahan bakar kendaraan Isuzu Traga adalah 1:11, yang berarti 1 liter bahan bakar dapat menempuh jarak 11 km. Dalam penerapan metode *Nearest Neighbor*, rute yang dihasilkan tidak melalui jalan tol sehingga tidak terdapat tambahan biaya tol.

Berikut ini merupakan perhitungan biaya distribusi, dalam perencanaan rute menggunakan metode *nearest neighbor*:

$$\begin{aligned} &= ((\text{jarak} \times (\text{harga bahan bakar/konsumsi bahan bakar perliter})) + (\text{jarak} \times \text{bonus supir perkilometer})) \times 30 \text{ hari} \\ &= ((836,9 \times (6800/11)) + (836,9 \times 950)) \times 30 \\ &= ((836,9 \times 618,18) + (836,9 \times 950)) \times 30 \\ &= (517356 + 795055) \times 30 \\ &= 1312411 \times 30 \\ &= 39372340 \end{aligned}$$

Berdasarkan metode *nearest neighbor* total jarak tempuh sebesar 836,9 km, diperoleh total biaya distribusi sebesar Rp 39.372.340 per bulan, lebih hemat 28% dibanding periode sebelumnya dengan biaya distribusi sekitar Rp 55.000.000.

### C. Analisa dan Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian optimasi distribusi gas CNG pada PT Parama Energi Raya menggunakan tiga metode heuristik dalam pendekatan *Vehicle Routing Problem* (VRP), yaitu *saving matrix*, *nearest insert*, dan *nearest neighbor*, dapat disimpulkan bahwa ketiga metode diperoleh hasil yang sama, perbandingan dengan biaya pengiriman pada periode sebelumnya di tampilkan pada tabel 14.

Tabel 14. Analisa dan Pembahasan.

Kondisi	Total Biaya Distribusi (Rp/bulan)	Penghematan (Rp)	Penghematan (%)
Sebelum Optimasi	55.000.000	-	-
Setelah Optimasi (VRP)	39.372.340	15.627.660	28%

Berdasarkan hasil pengolahan data, ketiga metode yaitu *saving matrix*, *nearest insert*, dan *nearest neighbor* menghasilkan distribusi yang sama, Rp 39.372.340 per bulan. Hal ini menunjukkan bahwa pola lokasi pelanggan relatif berdekatan sehingga berbagai metode heuristik menghasilkan rute yang serupa. Metode *saving matrix* membentuk rute berdasarkan nilai penghematan terbesar, sedangkan *nearest insert* dan *nearest neighbor* menggunakan pendekatan jarak terdekat. Meskipun pendekatannya berbeda, hasil yang diperoleh tetap sama karena struktur jaringan distribusi yang sederhana. Selain itu, adanya pelanggan dengan permintaan melebihi kapasitas kendaraan menyebabkan diterapkannya pengiriman terpisah, sehingga pelanggan dapat dilayani lebih dari satu kali perjalanan tanpa mempengaruhi total efisiensi secara signifikan. Dengan demikian penghematan yang didapat dalam penerapan perencanaan rute distribusi menggunakan ketiga metode tersebut sebesar 28% dibanding periode sebelumnya dengan biaya distribusi sekitar Rp 55.000.000.

### D. Rekomendasi

Berdasarkan hasil penelitian optimasi distribusi gas CNG pada PT Parama Energi Raya menggunakan tiga metode heuristik, yaitu *saving matrix*, *nearest insert*, dan *nearest neighbor*, diperoleh bahwa ketiga metode menghasilkan total jarak tempuh dan biaya distribusi yang sama. Selain itu, sistem distribusi yang sebelumnya bersifat reaktif sebaiknya diubah menjadi sistem yang terjadwal agar pemanfaatan armada lebih optimal dan biaya operasional dapat ditekan secara konsisten. Perusahaan juga perlu menerapkan pengelompokan pelanggan berdasarkan kedekatan lokasi seperti pada rute P<sub>2</sub>-P<sub>3</sub>-P<sub>4</sub> dan P<sub>5</sub>-P<sub>6</sub> sehingga pengiriman dapat dilakukan dalam satu perjalanan dan mengurangi frekuensi perjalanan. Untuk pelanggan dengan permintaan besar seperti P<sub>3</sub>, strategi pengiriman terpisah tetap perlu diterapkan agar keterbatasan kapasitas kendaraan tidak menghambat pemenuhan kebutuhan. Dengan penerapan langkah-langkah tersebut, diharapkan PT Parama Energi Raya dapat meningkatkan efisiensi distribusi, menekan biaya operasional, serta meningkatkan kualitas pelayanan kepada pelanggan.

## VII. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian optimasi distribusi gas CNG pada PT Parama Energi Raya menggunakan tiga metode heuristik, yaitu *saving matrix*, *nearest insert*, dan *nearest neighbor*, diperoleh bahwa ketiga metode menghasilkan total jarak tempuh dan biaya distribusi yang sama, yaitu sebesar 836,9 km dengan total biaya Rp 39.372.340 per bulan. Dengan demikian penghematan yang didapat dalam penerapan perencanaan rute distribusi menggunakan ketiga metode tersebut sebesar 28% dibanding periode sebelumnya dengan biaya distribusi sekitar Rp 55.000.000. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi jaringan distribusi yang relatif sederhana serta pola sebaran pelanggan yang tidak kompleks menyebabkan ketiga metode menghasilkan solusi rute yang identik.

Pada metode *saving matrix*, rute distribusi terbentuk berdasarkan nilai penghematan terbesar dengan susunan rute yaitu SPBG–P1–SPBG, SPBG–P3–SPBG, SPBG–P2–P3–P4–SPBG, serta SPBG–P5–P6–SPBG. Metode ini mampu menggabungkan beberapa pelanggan dalam satu perjalanan sehingga jarak tempuh menjadi lebih efisien. Selanjutnya, metode *nearest insert* menghasilkan rute yang sama, yaitu SPBG–P1–SPBG, SPBG–P3–SPBG, SPBG–P4–P3–P2–SPBG, dan SPBG–P5–P6–SPBG, melalui proses penambahan pelanggan ke dalam rute dengan mempertimbangkan penambahan jarak terkecil. Sementara itu, metode *nearest neighbor* juga menghasilkan rute yang identik, yaitu SPBG–P1–SPBG, SPBG–P3–SPBG, SPBG–P4–P3–P2–SPBG, dan SPBG–P5–P6–SPBG, dengan pendekatan pemilihan pelanggan terdekat secara bertahap dari titik awal maupun titik terakhir yang dikunjungi.

Meskipun ketiga metode memiliki pendekatan yang berbeda, hasil yang diperoleh tetap sama karena struktur permasalahan yang tidak kompleks serta adanya penerapan pengiriman terpisah pada pelanggan dengan permintaan besar seperti P3. Oleh karena itu, metode *nearest neighbor* direkomendasikan untuk digunakan karena memiliki proses perhitungan yang lebih sederhana dan mudah diterapkan, namun tetap mampu memberikan hasil yang optimal dalam hal efisiensi jarak tempuh dan biaya distribusi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Muhammadiyah Sidoarjo dan kepada PT Parama Energi Raya yang telah memberikan ilmu, bimbingan, kesempatan, data, serta dukungan, selama pelaksanaan penelitian. Semoga segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang baik.

## REFERENSI

- [1] A. Nugroho, P. Setiaji, P. Setiaji, F. Nugraha, and A. Setiawan, "Sistem Informasi Pengelolaan Stok dan Distribusi LPG 3Kg di PT Gasindo dengan *Safety Stock & Reorder Point*," *J. Unitek*, vol. 18, no. 1, pp. 23–35, 2025.
- [2] Y. S. Aritionang, P. Siagian, and S. Aryza, "Inovasi Dan Tantangan Dalam Pengembangan Sistem Transmisi Tenaga Listrik Berbasis Teknologi Tinggi *Ultra High Voltage* Untuk Meningkatkan Keandalan Dan Efisiensi Energi (Sebuah Tinjauan Literatur)," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 3S1, 2024.
- [3] B. I. P. N. D. Faradiba, I. A. S. Wulandari, T. Sukmono, "Model Pendistribusian Bahan Baku Asam Sulfat Di PT XYZ Dengan Metode *Goal Programming*," *J. Teknik Industri*, vol. 10, no. 2, pp. 194–204, 2024.
- [4] M. Makmur, A. A. Putra, R. A. Takdir, and M. Makmur, "Analisis Biaya Operasional Kendaraan (BOK) Akibat Dari Pembangunan Jalan Baru: Studi Kasus Pembangunan Ruas Jalan Latoma-Routa Kabupaten Konawe," *J. Media Konstr.*, vol. 9, no. 2, pp. 105–112, 2024.
- [5] J. E. Lakotany, E. R. Persulepsy, and Y. A. Lesnussa, "*The Application of Backtracking Algorithm to Determine Optimal Route Distribution of Gonzalo Refill Water in Ambon*," *J. Ilmu Matematika dan Terapan*, vol. 14, no. 1, pp. 059–068, 2020.
- [6] P. Meiliawati Kabul, R. Fitriani, J. Arifin, A. Damayanti, T. Industri, and U. Singaperbangsa Karawang, "STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi) Penentuan Rute Terpendek Pendistribusian Galon Menggunakan Metode VRP (*Vehicle Routing Problem*) PT. ABC," *J. STRING (Satuan Tulisan Ris. dan Inov. Teknol.*, vol. 9, no. 3, 2025.
- [7] G. A. Putri *et al.*, "Optimalisasi Rute Pengiriman Barang Menggunakan Metode *Saving Matrix*, *Nearest Insert* Dan *Nearest Neighbor* Di PT Grosir XYZ," *Jurnal IndustriKrisna*, vol. 14, no. 2, pp. 10–24, 2025.
- [8] R. D. Kurniawan and Y. A. N. Rohmad Dwi Kurniawan, "Optimasi Distribusi Alat Kesehatan Steril Dan Non Steril Menggunakan Metode *Saving Matriks And Algoritma Clarke* Studi Kasus : PT Multitama Sarana Indonesia (MSI)," *J. Cakrawala Ilm.*, vol. 1, no. 6, pp. 1429–1450, 2022.
- [9] F. Nurdin, A. Azizah, A. Andreza, "Penerapan teknik riset operasi : Analisis kinerja produksi es teh kurma di Kabupaten Sinjai," *Agric. Socio-economic J.*, vol. 2024, no. 3, pp. 112–119, 2024.
- [10] G. Hajar, D. N. Rachmaniar, and M. D. Fauzi, "Penentuan Rute Pembukaan Gerai Baru dengan *Vehicle Routing*

- Problem with Time Windows Pendekatan Nearest Neighbor,” Go-Integratif J. Tek. Sist. dan Ind.*, vol. 5, no. 01, pp. 12–21, 2024.
- [11] Y. A. N. H. Patmawati, “Optimalisasi Rute Distribusi Matras Pada Penyelesaian *Capacitated Vehicle Routing Problem* Dengan Metode *Algoritma Genetika*,” *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, vol. 1, no. 11, pp. 2745–2756, 2022.
- [12] Z. Qin, H., Su, X., Ren, T., Luo, “*A review on the electric vehicle routing problems : Variants and algorithms*,” vol. 8, no. *February* 2018, pp. 370–389, 2021.
- [13] N. Sluijk, A. M. Florio, J. Kinable, N. Dellaert, and T. Van Woensel, “*Two-echelon vehicle routing problems : A literature review*,” vol. 304, pp. 865–886, 2023.
- [14] R. T. Wulandari and A. M. Azis, “*The Saving Matrix Method for Improving Distribution Efficiency*,” *Jurnal Manajemen Indonesia*, vol. 22, no. 2, pp. 217–226, 2022.
- [15] D. Ariyanto, “Optimalisasi Penentuan Rute Distribusi Roti Bakar Dengan Metode *Saving Matrix* Dan *Algoritma Nearest Neighbor* Pada Pabrik Roti Bakar Azhari,” vol. 2, no. 1, pp. 1–10, 2024.
- [16] A. Natasari, H. A. Azzim, F. Arifin, and M. Fauzi, “*Determination Of Transport Routes Using The Saving Matrix Method At PT XYZ*,” *Journal of Universal Studies*, vol. 1, no. 8, pp. 777–783, 2021.
- [17] A. N. Kamila, S. Febrianti, M. Fauzi, T. Industri, F. Teknik, and U. Widyatama, “Penerapan Metode *Saving Matrix* Sebagai Program Pengurangan Biaya Distribusi Di Perusahaan,” *Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri*, vol. 1, no. 1, pp. 23–34, 2021.
- [18] M. Pujawan, N., *Supply Chain Management Edisi 3*, 2017.
- [19] A. Y. Arohman and H. C. Wahyuni, “*Optimizing Distribution of Isotonic Drink to Minimize Delivery Time with the Saving Matrix Method on CV . Sokorosa [ Optimalisasi Distribusi Minuman Isotonik untuk Meminimasi Waktu Pengiriman dengan Metode Saving Matrix pada CV . Sokorosa ]*,” pp. 1–10, 2023.
- [20] R. F. Firjatullah and D. Ernawati, “Optimalisasi Rute Distribusi Produk Tangki Bahan Bakar Dengan Analisis *Bullwhip Effect* Metode *Nearest Insert* Dan *Nearest Neighbor* Di PT XYZ,” *Jurnal Manajemen Industri dan Teknologi*, vol. 02, no. 01, pp. 61–72, 2021.
- [21] S. H. Supriatna, D., Ciptaningtyas, D., Supangkat, “Optimasi Jalur Distribusi Sayuran Daun Segar Menggunakan Metode *Saving Matriks* (Studi Kasus: Keboen Bapak),” *J. Ilm. Rekayasa Pertan. Dan Biosist.*, vol. 10, no. 2, pp. 213–225, 2022.
- [22] H. Siraj and A. Hibatulloh, “Penentuan Rute Optimal Distribusi Air Minum Isi Ulang Di Gerai Afsheena Dengan Menggunakan Metode *Saving Matrix* Dan *Nearest Insert*,” *J. Ilm. Res. Studen*, vol. 2, no. 2, pp. 860–871, 2025.
- [23] F. Pulansari, S. Dewi, and I. Nugraha, “Pemilihan Rute Terpendek Distribusi Pupuk Dengan *Algoritma Nearest Insertion* Dan *Cheapest Insertion*,” pp. 149–158, 2021.
- [24] D. Agustine, I. Hadi, D. Eka, and W. Meganingtyas, “Masalah *Vehicle Routing Problem* pada Pengiriman Barang di Kota Bandung Utara dengan Menggunakan Kluster K-Means dan *Algoritma Nearest Neighbor*,” *Jurnal Matematika dan Terapan*, vol. 4, no. 2, pp. 1–8, 2022.
- [25] N. A. M and A. Susanty, “Optimalisasi Rute Distribusi Produk *Portland Composite Cement ( PCC )* Dengan Menggunakan Metode *Saving Matrix* Untuk Meminimalkan Biaya Transportasi,” *Jurnal Teknik Industri*, vol. 9, no. 2, pp. 1–8, 2020.
- [26] R. K. M. M. Hdm-, “Perbandingan Biaya Operasi Truk Pada Ruas Jalan Tol Dan Non-Tol Rute Kanci-Pemalang Menggunakan Metode HDM-4,” *Jurnal Competitive*, vol. 19, pp. 1–13, 2024.

**Conflict of Interest Statement:**

*The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.*