

**ISSN (ONLINE) 2598-9936**



**INDONESIAN JOURNAL OF INNOVATION STUDIES**  
PUBLISHED BY  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO

## Table Of Contents

|                                            |   |
|--------------------------------------------|---|
| <b>Journal Cover</b> .....                 | 1 |
| <b>Author[s] Statement</b> .....           | 3 |
| <b>Editorial Team</b> .....                | 4 |
| <b>Article information</b> .....           | 5 |
| Check this article update (crossmark)..... | 5 |
| Check this article impact .....            | 5 |
| Cite this article .....                    | 5 |
| <b>Title page</b> .....                    | 6 |
| Article Title.....                         | 6 |
| Author information .....                   | 6 |
| Abstract .....                             | 6 |
| <b>Article content</b> .....               | 7 |

## Originality Statement

The author[s] declare that this article is their own work and to the best of their knowledge it contains no materials previously published or written by another person, or substantial proportions of material which have been accepted for the published of any other published materials, except where due acknowledgement is made in the article. Any contribution made to the research by others, with whom author[s] have work, is explicitly acknowledged in the article.

## Conflict of Interest Statement

The author[s] declare that this article was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

## Copyright Statement

Copyright © Author(s). This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) licence. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors. The full terms of this licence may be seen at <http://creativecommons.org/licences/by/4.0/legalcode>

## EDITORIAL TEAM

### Editor in Chief

Dr. Hindarto, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

### Managing Editor

Mochammad Tanzil Multazam, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

### Editors

Fika Megawati, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Wiwit Wahyu Wijayanti, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Farkhod Abdurakhmonov, Silk Road International Tourism University, Uzbekistan

Bobur Sobirov, Samarkand Institute of Economics and Service, Uzbekistan

Evi Rinata, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

M Faisal Amir, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Dr. Hana Catur Wahyuni, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

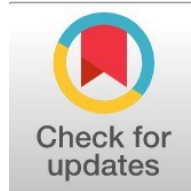
Complete list of editorial team ([link](#))

Complete list of indexing services for this journal ([link](#))

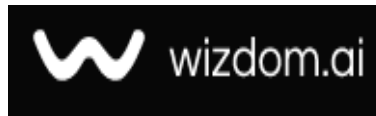
How to submit to this journal ([link](#))

## Article information

**Check this article update (crossmark)**



**Check this article impact (\*)**



**Save this article to Mendeley**



(\*) Time for indexing process is various, depends on indexing database platform

# **Clarke and Wright Green Vehicle Routing Minimizes Costs Emissions and Distance: Metode Perutean Kendaraan Ramah Lingkungan Clarke dan Wright Meminimalkan Biaya, Emisi, dan Jarak**

**Laila Widyaiswara Sukardi, 22032010023@student.upnjatim.ac.id (\*)**

*Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Indonesia*

**Farida Pulansari , 22032010023@student.upnjatim.ac.id**

*Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Indonesia*

(\*) Corresponding author

## **Abstract**

**General Background:** Distribution activities in supply chains require efficient route planning to reduce operational challenges related to distance, fuel consumption, costs, emissions, and driver burden. **Specific Background:** Distribution activities for Starnpack products were carried out using routes that were not yet optimal, resulting in increased distribution costs, fuel consumption, carbon emissions, and driver workload. **Knowledge Gap:** Previous studies applying Green Vehicle Routing Problem (GVRP) mainly focused on economic and environmental aspects, while social aspects in distribution route evaluation received limited attention. **Aims:** This study aims to determine optimal distribution routes for Starnpack products using the Green Vehicle Routing Problem approach within Sustainable Supply Chain Management (SSCM). **Results:** The study applies the Sweep algorithm for customer clustering and the Clarke & Wright Saving algorithm for route construction. The selected Clarke & Wright Saving algorithm generates four distribution routes compared with eight existing company routes and five routes from the Sweep algorithm. The selected method produces 11,250 km/month travel distance, 2,289.75 liters/month fuel consumption, IDR 47,070,300/month distribution operating costs, and 6,089.19 kg CO<sub>2</sub>/month carbon emissions with the lowest driver distribution burden. **Novelty:** This research integrates economic, environmental, and social evaluations through Triple Bottom Line considerations in GVRP implementation. **Implications:** The study provides an approach for supporting sustainable distribution route planning within SSCM implementation.

## **Highlights:**

- Clarke & Wright Saving algorithm produces four distribution routes from the evaluated methods.
- Distribution evaluation incorporates economic, environmental, and social aspects.
- The proposed route planning reduces distribution distance, fuel requirements, and carbon emissions.

**Keywords:** Green Vehicle Routing Problem (GVRP), Clarke & Wright Saving Algorithm, Sweep Algorithm, Sustainable Supply Chain Management, Distribution Route.

Published date: 2026-09-02

## Pendahuluan

Persaingan industri manufaktur yang semakin ketat mendorong perusahaan untuk meningkatkan efisiensi operasional di seluruh aktivitas rantai pasok. Salah satu aktivitas penting dalam Supply Chain Management (SCM) adalah distribusi karena berpengaruh terhadap ketepatan waktu pengiriman, biaya operasional, dan kepuasan pelanggan [1]. Perencanaan rute distribusi yang kurang optimal dapat menyebabkan peningkatan jarak tempuh kendaraan, konsumsi bahan bakar, biaya distribusi, serta keterlambatan pengiriman [2]. Perkembangan konsep Sustainable Supply Chain Management (SSCM) mendorong perusahaan tidak hanya berorientasi pada efisiensi ekonomi, tetapi juga memperhatikan dampak lingkungan dan sosial [3]. SSCM mengintegrasikan tiga dimensi Triple Bottom Line (TBL), yaitu aspek ekonomi (profit), lingkungan (planet), dan sosial (people). Dalam aktivitas distribusi, aspek ekonomi berkaitan dengan efisiensi biaya operasional, aspek lingkungan dengan pengurangan konsumsi bahan bakar dan emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), sedangkan aspek sosial berkaitan dengan pengurangan beban distribusi pengemudi melalui rute yang lebih efisien [4]. Strategi distribusi yang tepat melalui penentuan rute dan jadwal pengiriman yang efisien diperlukan agar produk dapat diterima pelanggan secara tepat waktu dengan biaya operasional yang minimum [5]. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan dalam optimasi distribusi adalah Vehicle Routing Problem (VRP),

yaitu penentuan rute kendaraan untuk melayani sejumlah pelanggan dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan dan tujuan meminimalkan jarak tempuh maupun biaya distribusi [6]. Seiring meningkatnya perhatian terhadap keberlanjutan, VRP berkembang menjadi Green Vehicle Routing Problem (GVRP) [7]. Green Vehicle Routing Problem (GVRP) bertujuan mewujudkan sistem transportasi yang lebih berkelanjutan dengan mengoptimalkan rute distribusi sehingga penggunaan energi dan emisi (CO<sub>2</sub>) [8]. Oleh karena itu, GVRP menjadi pendekatan yang relevan untuk mendukung penerapan SSCM. PT XYZ merupakan perusahaan manufaktur yang memproduksi kemasan industri, salah satunya Starpack, yang didistribusikan kepada pelanggan di berbagai wilayah Pulau Jawa menggunakan armada truk berkapasitas 10 ton dan 15 ton. Aktivitas distribusi masih menggunakan rute operasional yang belum dioptimalkan sehingga menghasilkan jarak tempuh yang relatif panjang dan beberapa keterlambatan pengiriman. Kondisi tersebut berdampak pada tingginya konsumsi bahan bakar, biaya operasional distribusi, emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), serta beban distribusi pengemudi. Berikut pada tabel 1. merupakan kondisi rute eksisting di PT XYZ:

**Tabel 1. Kondisi Rute Distribusi Eksisting PT XYZ**

| Rute | Jenis Kendaraan             | Rute Distribusi         | Kapasitas (ton) | Jarak Tempuh (km) | Keterlambatan (jam) |
|------|-----------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------|---------------------|
| 1    | Mitsubishi Fuso Super Great | D – C2 – C3 – D         | 15              | 1.091             | 17                  |
| 2    | Mitsubishi Fuso Super Great | D – C4 – C5 – C6 – D    | 15              | 1.603             | 22                  |
| 3    | Mitsubishi Fuso Super Great | D – C7 – C8 – C9 – D    | 15              | 1.639             | 24                  |
| 4    | Mitsubishi Fuso Super Great | D – C10 – C11 – D       | 15              | 1.656             | 24                  |
| 5    | Hino Ranger 500 Series      | D – C12 – C13 – C14 – D | 10              | 103               | 6                   |
| 6    | Hino Ranger 500 Series      | D – C15 – C16 – C17 – D | 10              | 169               | 7                   |
| 7    | Hino Ranger 500 Series      | D – C1 – C18 – D        | 10              | 187               | 8                   |
| 8    | Hino Ranger 500 Series      | D – C19 – C20 – D       | 10              | 106               | 6                   |

Berdasarkan tabel 1. diketahui bahwa aktivitas distribusi PT XYZ masih mengalami keterlambatan pengiriman pada beberapa rute distribusi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem distribusi yang dijalankan saat ini belum optimal, terutama karena lokasi pelanggan yang tersebar menyebabkan jarak tempuh distribusi menjadi relatif panjang dan aktivitas pengiriman kurang efisien. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini menerapkan pendekatan Green Vehicle Routing Problem (GVRP) menggunakan Algoritma Sweep untuk pengelompokan pelanggan dan Algoritma Clarke & Wright Saving untuk pembentukan rute distribusi. Pendekatan ini dipilih karena mampu menghasilkan rute yang lebih efisien dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan serta meminimalkan jarak tempuh, konsumsi bahan bakar, dan emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan GVRP dengan Algoritma Sweep maupun Algoritma Clarke & Wright Saving mampu meningkatkan efisiensi distribusi melalui pengurangan jarak tempuh, biaya operasional, konsumsi bahan bakar, dan emisi karbon. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada aspek ekonomi dan lingkungan, sedangkan aspek sosial dalam optimasi rute distribusi belum banyak dikaji [9]. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengintegrasikan evaluasi Triple Bottom Line dalam perancangan rute distribusi. Kinerja rute dievaluasi berdasarkan aspek ekonomi melalui biaya operasional distribusi, aspek lingkungan melalui emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), dan aspek sosial melalui beban distribusi pengemudi yang diukur berdasarkan total jarak tempuh distribusi. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi aspek sosial dalam evaluasi kinerja rute distribusi sebagai bagian dari implementasi Sustainable Supply Chain Management (SSCM), sehingga menghasilkan rute yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan menentukan rute distribusi optimal produk Starpack di PT XYZ menggunakan pendekatan Green Vehicle Routing Problem (GVRP) untuk meminimalkan biaya operasional distribusi, emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), serta beban distribusi pengemudi guna mendukung penerapan Sustainable Supply Chain Management (SSCM).

## Metode

Penelitian ini dilaksanakan di PT XYZ, perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang produksi kemasan industri. Objek penelitian adalah sistem distribusi produk Starpack kepada pelanggan rutin yang tersebar di Pulau Jawa menggunakan armada truk berkapasitas 10 ton dan 15 ton. Data penelitian meliputi lokasi pelanggan, jarak antar lokasi, permintaan pelanggan, kapasitas kendaraan, konsumsi bahan bakar, dan harga bahan bakar minyak (BBM) yang diperoleh dari data operasional perusahaan selama periode Desember 2025 hingga Mei 2026. Penelitian menerapkan pendekatan Green Vehicle Routing Problem (GVRP) untuk memperoleh rute distribusi yang lebih efisien. Algoritma Sweep merupakan salah satu metode penyelesaian Vehicle Routing Problem (VRP) yang mengelompokkan pelanggan berdasarkan sudut polar dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan [10]. Algoritma sweep merupakan jenis metode heuristik, metode ini sering diintegrasikan dengan metode heuristik untuk implementasinya [11]. Tahap pertama dilakukan dengan membentuk cluster pelanggan menggunakan Algoritma Sweep melalui konversi koordinat Kartesius ke koordinat polar untuk memperoleh nilai sudut setiap pelanggan terhadap depot.

Pelanggan kemudian diurutkan berdasarkan sudut polar dan dikelompokkan sesuai kapasitas kendaraan [12]. Nilai sudut polar dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$\theta = \arctan(y / x) \quad (1)$$

dengan  $\theta$  merupakan sudut polar, sedangkan  $x$  dan  $y$  merupakan koordinat pelanggan terhadap depot. Setelah proses pengelompokan selesai, urutan kunjungan pada setiap cluster ditentukan menggunakan metode Nearest Neighbour dengan memilih pelanggan yang memiliki jarak terdekat dari posisi kendaraan saat ini secara berulang hingga seluruh pelanggan dalam cluster telah dilayani, kemudian kendaraan kembali ke depot [13]. Penelitian ini juga menerapkan Algoritma Clarke & Wright Saving untuk membentuk rute distribusi berdasarkan nilai penghematan (saving). Tahapan algoritma meliputi penyusunan matriks jarak, perhitungan nilai saving, pengurutan nilai saving dari terbesar ke terkecil, serta penggabungan pelanggan ke dalam satu rute dengan tetap memperhatikan kapasitas kendaraan [14]. Nilai saving dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$S_{ij} = C_{oi} + C_{oj} - C_{ij} \quad (2)$$

dengan  $S_{ij}$  merupakan nilai penghematan antara pelanggan  $i$  dan  $j$ ,  $C_{oi}$  adalah jarak depot ke pelanggan  $i$ ,  $C_{oj}$  adalah jarak depot ke pelanggan  $j$ , dan  $C_{ij}$  adalah jarak antara pelanggan  $i$  dan  $j$ .

Setelah rute distribusi diperoleh, dilakukan evaluasi terhadap aspek ekonomi dan lingkungan melalui perhitungan konsumsi bahan bakar serta emisi CO<sub>2</sub> [15]. Konsumsi bahan bakar dihitung menggunakan Persamaan (3) dan (4).

$$\text{Konsumsi BBM} = \text{Jarak tempuh} / \text{Kebutuhan BBM} \quad (3)$$

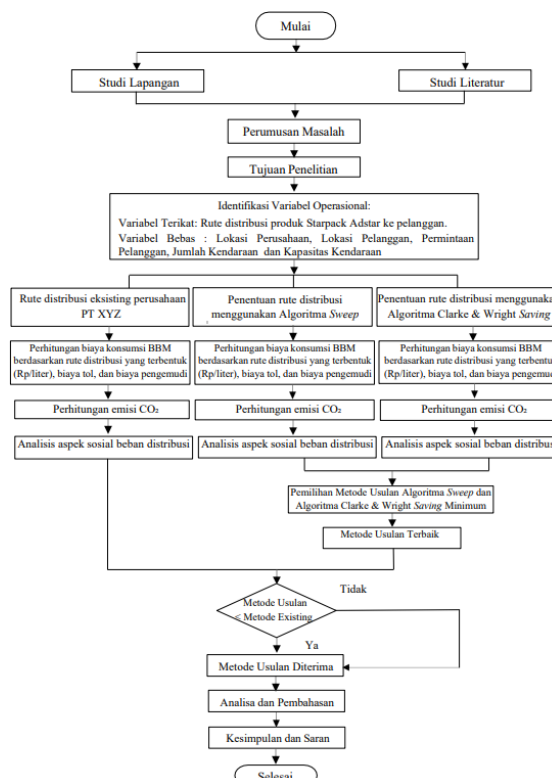
$$\text{Biaya BBM} = \text{Konsumsi BBM} \times \text{Harga BBM} \quad (4)$$

Sedangkan emisi CO<sub>2</sub> dihitung dengan data densitas Minyak solar (HSD, ADO) sebesar 837,5 (Kg/m<sup>3</sup>), Nilai Kalor Bersih Bahan Bakar atau NCV sebesar 42,66 (TJ/Gg) dan Emisi Bahan Bakar Minyak menggunakan Tier 2/Nasional yaitu Automotive Diesel Oil (ADO) sebesar 74433 (kg CO<sub>2</sub>/TJ) [9]. menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{Data aktivitas} \times \text{Faktor emisi} \quad (5)$$

$$DABBM = FBBM \times \rho \times NCV \times 10^{-6} \quad (6)$$

Berikut pada gambar 1. adalah langkah-langkah penyelesaian masalah:



## Gambar 1. Langkah-langkah Pemecahan Masalah

## Hasil dan Pembahasan

### A.Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data distribusi produk Starpack di PT XYZ periode Desember 2025–Mei 2026 yang meliputi lokasi pelanggan, jarak antar lokasi, permintaan pelanggan, karakteristik armada, harga bahan bakar biaya tol dan biaya pengemudi.

#### 1.Data Pengiriman Pelanggan

Berikut pada tabel 2. merupakan kode lokasi distribusi yang digunakan dalam penelitian ini:

**Tabel 2. Keterangan Kode Lokasi Distribusi**

| Kode Pelanggan | Keterangan Lokasi             |
|----------------|-------------------------------|
| D              | PT XYZ (Titik Awal dan Akhir) |
| C1             | Pelanggan 1                   |
| C2             | Pelanggan 2                   |
| C3             | Pelanggan 3                   |
| C4             | Pelanggan 4                   |
| C5             | Pelanggan 5                   |
| C6             | Pelanggan 6                   |
| C7             | Pelanggan 7                   |
| C8             | Pelanggan 8                   |
| C9             | Pelanggan 9                   |
| C10            | Pelanggan 10                  |
| C11            | Pelanggan 11                  |
| C12            | Pelanggan 12                  |
| C13            | Pelanggan 13                  |
| C14            | Pelanggan 14                  |
| C15            | Pelanggan 15                  |
| C16            | Pelanggan 16                  |
| C17            | Pelanggan 17                  |
| C18            | Pelanggan 18                  |
| C19            | Pelanggan 19                  |
| C20            | Pelanggan 20                  |

Berikut pada tabel 3. disajikan data jarak antara perusahaan dan lokasi pelanggan yang diperoleh berdasarkan hasil pengukuran menggunakan Google Maps:

**Tabel 3. Jarak Perusahaan ke Pelanggan**

| Asal | Tujuan | Jarak (Km) |
|------|--------|------------|
| D    | C1     | 9          |
| D    | C2     | 296        |
| D    | C3     | 494        |
| D    | C4     | 774        |
| D    | C5     | 778        |
| D    | C6     | 771        |
| D    | C7     | 714        |
| D    | C8     | 773        |
| D    | C9     | 712        |
| D    | C10    | 825        |
| D    | C11    | 161        |
| D    | C12    | 11         |
| D    | C13    | 17         |
| D    | C14    | 35         |
| D    | C15    | 47         |
| D    | C16    | 5          |
| D    | C17    | 27         |
| D    | C18    | 91         |

| Asal | Tujuan | Jarak (Km) |
|------|--------|------------|
| D    | C19    | 36         |
| D    | C20    | 23         |

## 2.Data Pengiriman Pelanggan

Berikut pada tabel 4. data pengiriman pelanggan, data tersebut diolah menjadi rata-rata pengiriman per-order berdasarkan frekuensi pengiriman perusahaan sebanyak 3 kali setiap bulan. Rata-rata pengiriman per-order digunakan sebagai input dalam pembentukan rute distribusi:

**Tabel 4. Data Pengiriman Pelanggan**

| Kode Pelanggan | Produk           | Total Pengiriman 6 Bulan (Ton) | Rata-rata Pengiriman per Order (Ton) |
|----------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| C1             | Starpack (50 kg) | 30.900                         | 1.717                                |
| C2             | Starpack (50 kg) | 46.550                         | 2.586                                |
| C3             | Starpack (50 kg) | 65.310                         | 3.628                                |
| C4             | Starpack (50 kg) | 54.100                         | 3.006                                |
| C5             | Starpack (50 kg) | 50.260                         | 2.792                                |
| C6             | Starpack (50 kg) | 51.830                         | 2.879                                |
| C7             | Starpack (50 kg) | 57.200                         | 3.178                                |
| C8             | Starpack (50 kg) | 60.800                         | 3.378                                |
| C9             | Starpack (50 kg) | 40.250                         | 2.236                                |
| C10            | Starpack (50 kg) | 51.000                         | 2.833                                |
| C11            | Starpack (50 kg) | 60.630                         | 3.368                                |
| C12            | Starpack (50 kg) | 15.510                         | 0.862                                |
| C13            | Starpack (50 kg) | 18.050                         | 1.003                                |
| C14            | Starpack (50 kg) | 36.150                         | 2.008                                |
| C15            | Starpack (50 kg) | 17.190                         | 0.955                                |
| C16            | Starpack (50 kg) | 18.930                         | 1.052                                |
| C17            | Starpack (50 kg) | 20.230                         | 1.124                                |
| C18            | Starpack (50 kg) | 33.640                         | 1.869                                |
| C19            | Starpack (50 kg) | 17.190                         | 0.955                                |
| C20            | Starpack (50 kg) | 29.840                         | 1.658                                |

## 1.Karakteristik Kendaraan

Berikut pada tabel 5. merupakan karakteristik armada distribusi yang digunakan dalam penelitian:

**Tabel 5. Data Pengiriman Pelanggan**

| Merek Kendaraan | Tipe Kendaraan    | Jumlah Unit | Kapasitas Muatan (Ton) | Konsumsi BBM (Km/Liter) |
|-----------------|-------------------|-------------|------------------------|-------------------------|
| Mitsubishi Fuso | Super Great       | 2           | 15                     | 5                       |
| Hino            | 500 Ranger FG 260 | 2           | 10                     | 4                       |

## 2.Biaya Konsumsi BBM

Berikut pada tabel 6. merupakan harga Bahan Bakar Minyak (BBM) solar bersubsidi yang digunakan dalam penelitian:

**Tabel 6. Harga BBM**

| Tipe BBM         | Harga BBM (Liter) |
|------------------|-------------------|
| Solar Bersubsidi | Rp 6.800          |

Berikut pada tabel 7. merupakan biaya tol yang digunakan PT XYZ sebagai acuan dalam perhitungan biaya operasional distribusi.:

**Tabel 7. Biaya Tol**

| Jarak Tempuh | Biaya Tol (Rp/Perjalanan) |
|--------------|---------------------------|
| ≤ 100 km     | 150.000                   |
| 201–500 km   | 350.000                   |
| 501–1.000 km | 700.000                   |
| >1.000 km    | 1.300.000                 |

## 3. Biaya Pengemudi

Berikut pada tabel 8. merupakan disajikan besaran upah pengemudi yang menjadi acuan dalam perhitungan biaya operasional distribusi:

## B. Pengolahan Data

**Tabel 8. Biaya Pengemudi**

| Jenis           | Biaya (Bulan) |
|-----------------|---------------|
| Biaya Pengemudi | Rp 5.550.000  |

Pengolahan data dilakukan dengan menyusun rute distribusi berdasarkan rute eksisting perusahaan dan rute usulan menggunakan Algoritma Sweep serta Algoritma Clarke & Wright Saving. Pembentukan rute didasarkan pada rata-rata permintaan pelanggan per order dan kapasitas kendaraan yang tersedia.

## 1. Rute Eksisting Perusahaan

Berikut merupakan contoh perhitungan rute distribusi berdasarkan rute eksisting perusahaan:

Rute 1

Rute = D – C2 – C3 – D

Jarak tempuh = 296 Km + 299 Km + 496 Km = 1.091 Km  
Permintaan C2 – C3 = 2.586 Ton + 3.628 Ton = 6.214 Ton

Berikut pada tabel 9. merupakan hasil penentuan rute distribusi dengan metode eksisting perusahaan

**Tabel 9. Hasil Penentuan Rute Distribusi Dengan Metode Eksisting Perusahaan**

| No           | Rute                    | Muatan kendaraan | Kapasitas Muatan | Jarak tempuh    |
|--------------|-------------------------|------------------|------------------|-----------------|
| 1            | D – C2 – C3 – D         | 6.214 Ton        | 15 Ton           | 1.091 Km        |
| 2            | D – C4 – C5 – C6 – D    | 8.677 Ton        | 15 Ton           | 1.603 Km        |
| 3            | D – C7 – C8 – C9 – D    | 8.792 Ton        | 15 Ton           | 1.639 Km        |
| 4            | D – C10 – C11 – D       | 6.202 Ton        | 15 Ton           | 1.656 Km        |
| 5            | D – C12 – C13 – C14 – D | 3.873 Ton        | 10 Ton           | 103 Km          |
| 6            | D – C15 – C16 – C17 – D | 3.131 Ton        | 10 Ton           | 169 Km          |
| 7            | D – C1 – C18 – D        | 3.586 Ton        | 10 Ton           | 187 Km          |
| 8            | D – C19 – C20 – D       | 2.613 Ton        | 10 Ton           | 106 Km          |
| <b>Total</b> |                         |                  |                  | <b>6.554 Km</b> |

Berikut gambar 2. merupakan visualisasi rute distribusi metode perusahaan menggunakan peta yang menggambarkan jalur perjalanan:



**Gambar 2. Visualisasi Rute 1 dengan Metode Perusahaan**

Berdasarkan tabel 8. diketahui bahwa rute distribusi eksisting perusahaan menghasilkan total jarak tempuh sebesar 6.554 km yang terbagi ke dalam 8 rute distribusi.

Selanjutnya, dilakukan perhitungan biaya operasional untuk memperoleh konsumsi bahan bakar, biaya BBM, biaya tol, dan upah pengemudi pada setiap rute distribusi eksisting perusahaan untuk satu kali pengiriman. Contoh perhitungan konsumsi BBM untuk satu kali pengiriman berdasarkan metode perusahaan ditunjukkan sebagai berikut.

Rute 1

Jarak Tempuh = 1.091 Km

Konsumsi BBM =  $\frac{1.091 \text{ Km}}{5 \text{ Km/Liter}}$

= 218,2 liter

Biaya BBM = 218,2 Liter × Rp 6.800 = Rp 1.483.760

Biaya Pengemudi = Rp 5.550.000 × 4 (pengemudi) = Rp 22.200.000

Berikut pada tabel 10. merupakan hasil biaya operasional menggunakan metode perusahaan:

**Tabel 10. Hasil Biaya Operasional Menggunakan Metode Perusahaan**

| Rute  | Jarak tempuh | Konsumsi BBM   | Biaya BBM    | Biaya Tol    | Biaya Pengemudi |
|-------|--------------|----------------|--------------|--------------|-----------------|
| 1     | 1.091 Km     | 218,2 Liter    | Rp 1.483.760 | Rp 1.300.000 | Rp 22.200.000   |
| 2     | 1.603 Km     | 320,6 Liter    | Rp 2.180.080 | Rp 1.300.000 | Rp 22.200.000   |
| 3     | 1.639 Km     | 327,8 Liter    | Rp 2.229.040 | Rp 1.300.000 | Rp 22.200.000   |
| 4     | 1.656 Km     | 331,2 Liter    | Rp 2.252.160 | Rp 1.300.000 | Rp 22.200.000   |
| 5     | 103 Km       | 25,75 Liter    | Rp 175.100   | Rp 350.000   | Rp 22.200.000   |
| 6     | 169 Km       | 42,25 Liter    | Rp 287.300   | Rp 350.000   | Rp 22.200.000   |
| 7     | 187 Km       | 46,75 Liter    | Rp 317.900   | Rp 350.000   | Rp 22.200.000   |
| 8     | 106 Km       | 26,5 Liter     | Rp 180.200   | Rp 350.000   | Rp 22.200.000   |
| Total | 6.554 Km     | 1.338,85 Liter | Rp 9.105.540 | Rp 6.600.000 | Rp 22.200.000   |

Berdasarkan tabel **10.** metode perusahaan menghasilkan total jarak tempuh distribusi sebesar 6.554 km, konsumsi BBM sebesar 1.338,85 liter, biaya BBM sebesar Rp9.105.540, biaya tol sebesar Rp6.600.000, serta upah pengemudi sebesar Rp22.200.000.

Perhitungan selanjutnya dilakukan berdasarkan frekuensi pemesanan pelanggan sebanyak 3 (tiga) kali dalam satu bulan. Contoh perhitungan biaya operasional per-bulan menggunakan metode perusahaan sebagai berikut.

Rute 1

Jarak Tempuh = 1.091 Km x 3 = 3.273 Km

Konsumsi BBM per – Bulan = 218,2 liter × 3 = 654,6 liter

Biaya BBM per – Bulan = 654,6 Liter × Rp 6.800 = Rp 4.451.280 Biaya Pengemudi = Rp 5.550.000 x 4 (pengemudi) = Rp 22.200.000

Berikut pada tabel **11.** merupakan hasil biaya operasional per-bulan menggunakan metode perusahaan:

**Tabel 11. Hasil Biaya Operasional Per-Bulan Menggunakan Metode Perusahaan**

| Rute  | Jarak tempuh per-bulan | Konsumsi BBM per-bulan | Biaya BBM per-bulan | Biaya Tol     | Biaya Pengemudi |
|-------|------------------------|------------------------|---------------------|---------------|-----------------|
| 1     | 3.273 Km               | 654,6 liter            | Rp 4.451.280        | Rp 3.900.000  | Rp 22.200.000   |
| 2     | 4.809 Km               | 961,8 liter            | Rp 6.540.240        | Rp 3.900.000  | Rp 22.200.000   |
| 3     | 4.917 Km               | 983,4 liter            | Rp 6.687.120        | Rp 3.900.000  | Rp 22.200.000   |
| 4     | 4.968 Km               | 993,6 liter            | Rp 6.756.480        | Rp 3.900.000  | Rp 22.200.000   |
| 5     | 309 Km                 | 77,25 liter            | Rp 525.300          | Rp 1.050.000  | Rp 22.200.000   |
| 6     | 507 Km                 | 126,75 liter           | Rp 861.900          | Rp 1.050.000  | Rp 22.200.000   |
| 7     | 561 Km                 | 140,25 liter           | Rp 953.700          | Rp 1.050.000  | Rp 22.200.000   |
| 8     | 318 Km                 | 79,5 liter             | Rp 540.600          | Rp 1.050.000  | Rp 22.200.000   |
| Total | 19.662 km              | 4.017,15 liter         | Rp 27.316.620       | Rp 19.800.000 | Rp 22.200.000   |

Berdasarkan tabel **11.** metode perusahaan menghasilkan total jarak tempuh distribusi sebesar 19.662 km per bulan dengan konsumsi BBM 4.017,15 liter. Biaya BBM, biaya tol, dan upah pengemudi masing-masing sebesar Rp27.316.620, Rp19.800.000, dan Rp22.200.000 per bulan. Dilanjutkan dengan perhitungan emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan berdasarkan konsumsi BBM per-bulan. Contoh perhitungan emisi CO<sub>2</sub> per-bulan dengan metode perusahaan sebagai berikut:

Rute 1

$DA_{BBM} = 0,6546 \text{ kiloliter} \times 837,5 \text{ Kg/m}^3 \times 42,66 \text{ Tj/Gg} \times 10^{-6}$

= 0,0234 TJ

$\text{Emisi CO}_2 = 0,0234 \text{ Tj} \times 74433 \text{ Kg CO}_2/\text{Tj}$

= 1.740,79 Kg CO<sub>2</sub>

Berikut pada tabel **12.** merupakan hasil emisi CO<sub>2</sub> per-bulan menggunakan metode perusahaan:

**Tabel 12. Hasil Emisi CO<sub>2</sub> Per-Bulan Menggunakan Metode Perusahaan**

| Rute | Emisi CO <sub>2</sub> (Kg CO <sub>2</sub> /month) |
|------|---------------------------------------------------|
| 1    | 1.740,79                                          |
| 2    | 2.557,74                                          |
| 3    | 2.615,18                                          |
| 4    | 2.642,30                                          |
| 5    | 205,43                                            |
| 6    | 337,07                                            |
| 7    | 372,97                                            |
| 8    | 211,42                                            |

| Rute  | Emisi CO <sub>2</sub> (Kg CO <sub>2</sub> /month) |
|-------|---------------------------------------------------|
| Total | 10.682,91                                         |

Berdasarkan tabel 12. metode perusahaan menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> per-bulan yang ditimbulkan yaitu sebesar 10.682,91 Kg CO<sub>2</sub>/month.

Selanjutnya ditinjau dari aspek sosial, metode perusahaan menghasilkan total jarak tempuh sebesar 19.662 km per bulan yang terbagi dalam 8 rute distribusi. Hal ini menunjukkan beban distribusi pengemudi masih relatif tinggi, sehingga diperlukan perancangan rute yang lebih optimal.

## 2. Rute Distribusi Dengan Algoritma Sweep

Tahap awal Algoritma Sweep adalah menentukan titik koordinat kartesius garis lintang/latitude (X) dan garis bujur/longitude (Y) atau titik depot dan pelanggan berdasarkan koordinat Google Maps. Berikut hasil konversi koordinat tersebut disajikan pada tabel 13. Sebagai dasar perhitungan sudut polar.

**Tabel 13. Titik Koordinat Kartesius Lokasi D Dan Pelanggan**

| Lokasi | Latitude (X) | Longitude (Y) |
|--------|--------------|---------------|
| D      | 0            |               |
| C1     | -0.025286    | -0.041394     |
| C2     | 0.434678     | -2.194316     |
| C3     | -0.329176    | -3.742792     |
| C4     | 1.132587     | -5.957766     |
| C5     | 1.246705     | -5.881789     |
| C6     | 1.124681     | -5.932999     |
| C7     | 0.977265     | -5.441503     |
| C8     | 0.901293     | -5.834027     |
| C9     | 0.452700     | -5.268771     |
| C10    | 1.151549     | -6.414916     |
| C11    | 0.542494     | -0.792643     |
| C12    | -0.059936    | -0.040055     |
| C13    | -0.009675    | -0.108883     |
| C14    | 0.231129     | -0.134160     |
| C15    | 0.239489     | -0.144910     |
| C16    | -0.125973    | -0.030331     |
| C17    | 0.150440     | -0.040573     |
| C18    | 0.470925     | -0.373493     |
| C19    | 0.185473     | -0.103560     |
| C20    | -0.034195    | -0.164125     |

Berdasarkan titik koordinat kartesius, selanjutnya dihitung sudut polar masing-masing pelanggan sebagai dasar pengelompokan pada Algoritma Sweep. Contoh perhitungan untuk salah satu pelanggan ditunjukkan sebagai berikut.

Pelanggan C<sub>1</sub>

$$\theta = \arctan \frac{-0.041394}{-0.025286} = 58,5814^\circ$$

Karena C<sub>1</sub> terletak di kuadran 3, maka:

$$\theta = 270^\circ - 58,5814^\circ = 211.4185718^\circ$$

Berikut pada tabel 14. merupakan hasil sudut polar lokasi pelanggan pada algoritma sweep:

**Tabel 14. Sudut Polar Lokasi Pelanggan**

| Lokasi | $\theta$ (°) |
|--------|--------------|
| C1     | 211.4185718  |
| C2     | 281.2048204  |
| C3     | 185.0261946  |
| C4     | 280.7636397  |
| C5     | 281.9673055  |
| C6     | 280.7338348  |
| C7     | 280.1814735  |
| C8     | 278.7821384  |
| C9     | 274.9108742  |
| C10    | 280.1768430  |

| Lokasi | $\theta$ (°) |
|--------|--------------|
| C11    | 304.3881638  |
| C12    | 236.2455232  |
| C13    | 185.0778374  |
| C14    | 329.8668564  |
| C15    | 328.8227012  |
| C16    | 256.4621609  |
| C17    | 344.9066567  |
| C18    | 321.5819059  |
| C19    | 330.8229749  |
| C20    | 191.7691168  |

Pengelompokan pelanggan dilakukan dengan mengurutkan sudut polar dari nilai terkecil hingga terbesar dengan tetap memperhatikan kapasitas kendaraan. Proses diawali dari depot sebagai titik awal distribusi. Setelah seluruh pelanggan dikelompokkan berdasarkan algoritma sweep, diperoleh hasil pengelompokan rute sebagai berikut:

**Tabel 15. Hasil Pengelompokan Pelanggan Algoritma Sweep**

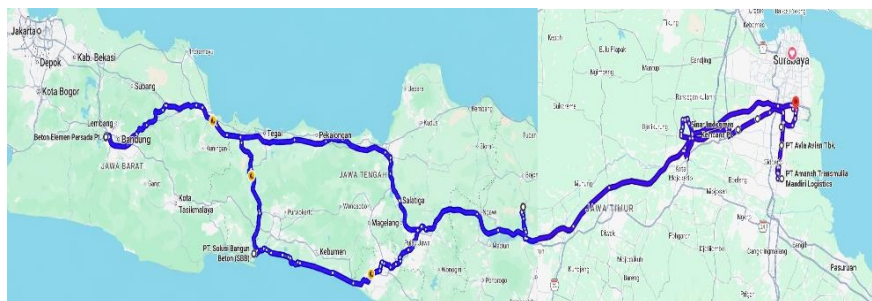
| Rute | Muatan kendaraan (Ton) | Kapasitas Muatan (Ton) | Kelompok pelanggan                  |
|------|------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| 1    | 12.155                 | 15                     | D - C3-C13-C20-C1-C12-C16-C9-D      |
| 2    | 12.268                 | 15                     | D - C8 - C10 - C7 - C6 - D          |
| 3    | 8.384                  | 10                     | D - C4 - C2 - C5 - D                |
| 4    | 9.156                  | 10                     | D - C11 - C18 - C15 - C14 - C19 - D |
| 5    | 1.124                  | 10                     | D - C17 - D                         |

Berdasarkan hasil pengelompokan pelanggan menggunakan Algoritma Sweep, selanjutnya dilakukan pembentukan rute pada setiap cluster menggunakan metode Nearest Neighbor. Metode ini menentukan urutan kunjungan pelanggan berdasarkan jarak terdekat dari lokasi terakhir hingga seluruh pelanggan dalam setiap cluster terlayani. Berikut pada tabel 16. merupakan hasil pembentukan rute distribusi menggunakan Algoritma Sweep dengan Nearest Neighbor:

**Tabel 16. Hasil Pembentukan Rute Algoritma Sweep Dengan Nearest Neighbor**

| Rute  | Kelompok Pelanggan                           | Muatan Kendaraan | Kapasitas Muatan | Jarak Tempuh |
|-------|----------------------------------------------|------------------|------------------|--------------|
| 1     | D - C16 - C12 - C1 - C13 - C20 - C3 - C9 - D | 12,155 Ton       | 15 Ton           | 1.548 Km     |
| 2     | D - C7 - C6 - C8 - C10 - D                   | 12,268 Ton       | 15 Ton           | 1.693 Km     |
| 3     | D - C2 - C5 - C4 - D                         | 8,384 Ton        | 10 Ton           | 1.604 Km     |
| 4     | D - C14 - C19 - C15 - C18 - C11 - D          | 9,156 Ton        | 10 Ton           | 407 Km       |
| 5     | D - C17 - D                                  | 1,124 Ton        | 10 Ton           | 54 Km        |
| Total |                                              |                  |                  | 5.306 Km     |

Berikut gambar 3. merupakan visualisasi rute distribusi metode perusahaan menggunakan peta yang menggambarkan jalur perjalanan:



**Gambar 3. Visualisasi Rute 1 dengan Algoritma Sweep**

Berdasarkan hasil pada tabel 16. menunjukkan bahwa penerapan Algoritma Sweep menghasilkan 5 rute distribusi dengan total jarak tempuh sebesar 5.306 km.

Selanjutnya, dilakukan perhitungan biaya operasional untuk memperoleh konsumsi bahan bakar, biaya BBM, biaya tol, dan upah pengemudi pada setiap rute distribusi dengan Algoritma Sweep untuk satu kali pengiriman. Contoh perhitungan konsumsi BBM untuk satu kali pengiriman berdasarkan Algoritma Sweep ditunjukkan sebagai berikut.

Rute 1

$$\begin{aligned}\text{Konsumsi BBM} &= \frac{1.548 \text{ Km}}{5 \text{ Km/Liter}} \\ &= 309,6 \text{ liter}\end{aligned}$$

$$\text{Biaya BBM} = 309,6 \text{ Liter} \times \text{Rp } 6.800 = \text{Rp } 2.105.280$$

$$\text{Biaya Pengemudi} = \text{Rp } 5.550.000 \times 4 \text{ (pengemudi)} = \text{Rp } 22.200.000$$

Berikut pada tabel 17. merupakan hasil biaya operasional menggunakan Algoritma Sweep:

**Tabel 17. Hasil Biaya Operasional Menggunakan Algoritma Sweep**

| Rute  | Jarak Tempuh | Konsumsi BBM   | Biaya BBM    | Biaya Tol    | Biaya Pengemudi |
|-------|--------------|----------------|--------------|--------------|-----------------|
| 1     | 1.548 Km     | 309,6 Liter    | Rp 2.105.280 | Rp 1.300.000 |                 |
| 2     | 1.693 Km     | 338,6 Liter    | Rp 2.302.480 | Rp 1.300.000 |                 |
| 3     | 1.604 Km     | 401 Liter      | Rp 2.726.800 | Rp 1.300.000 | Rp 22.200.000   |
| 4     | 407 Km       | 101,75 Liter   | Rp 691.900   | Rp 350.000   |                 |
| 5     | 54 Km        | 13,5 Liter     | Rp 91.800    | Rp 150.000   |                 |
| Total | 5.306 Km     | 1.164,45 Liter | Rp 7.918.260 | Rp 4.400.000 | Rp 22.200.000   |

Berdasarkan tabel 17. Algoritma Sweep menghasilkan total jarak tempuh distribusi sebesar 15.918 km per bulan dengan konsumsi BBM sebesar 3.493,35 liter serta biaya BBM, biaya tol, dan upah pengemudi masing-masing sebesar Rp23.754.780, Rp13.200.000, dan Rp22.200.000 per bulan.

Perhitungan selanjutnya dilakukan berdasarkan frekuensi pemesanan pelanggan sebanyak 3 (tiga) kali dalam satu bulan. Contoh perhitungan konsumsi BBM per bulan menggunakan Algoritma Sweep sebagai berikut.

Rute 1

$$\text{Jarak Tempuh} = 1.548 \text{ Km} \times 3 = 4.644 \text{ Km}$$

$$\text{Konsumsi BBM per-Bulan} = 309,6 \text{ liter} \times 3 = 928,8 \text{ liter}$$

$$\text{Biaya BBM per-Bulan} = 928,8 \text{ Liter} \times \text{Rp } 6.800 = \text{Rp } 6.315.840$$

$$\text{Biaya Pengemudi} = \text{Rp } 5.550.000 \times 4 \text{ (pengemudi)} = \text{Rp } 22.200.000$$

Berikut pada tabel 18. merupakan hasil biaya operasional per-bulan menggunakan Algoritma Sweep:

**Tabel 18. Hasil Biaya Operasional Per-Bulan Menggunakan Algoritma Sweep**

| Rute         | Jarak tempu h per-bulan | Konsum si BBM per-bulan | Biaya BBM per-bulan  | Biaya Tol            | Biaya Pengemudi      |
|--------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| <b>1</b>     | 4.644 Km                | 928,8                   | Rp 6.315.840         | Rp 3.900.000         |                      |
| <b>2</b>     | 5.079 Km                | 1.015,8                 | Rp 6.907.440         | Rp 3.900.000         |                      |
| <b>3</b>     | 4.812 Km                | 1.203,0                 | Rp 8.180.400         | Rp 3.900.000         | Rp                   |
| <b>4</b>     | 1.221 Km                | 305,25                  | Rp 2.075.700         | Rp 1.050.000         | 22.200.000           |
| <b>5</b>     | 162 Km                  | 40,5                    | Rp 275.400           | Rp 450.000           |                      |
| <b>Total</b> | <b>15.918 Km</b>        | <b>3.493,35</b>         | <b>Rp 23.754.780</b> | <b>Rp 13.200.000</b> | <b>Rp 22.200.000</b> |

Dilanjutkan dengan perhitungan emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan berdasarkan konsumsi BBM per-bulan. Contoh perhitungan emisi CO<sub>2</sub> per-bulan dengan Algoritma Sweep sebagai berikut:

Rute 1

$$\begin{aligned}D_{ABBM} &= 0,9288 \text{ kiloliter} \times 837,5 \text{ Kg/m}^3 \times 42,66 \text{ Tj/Gg} \times 10^{-6} \\ &= 0,0332 \text{ TJ}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Emisi CO}_2 &= 0,0332 \text{ Tj} \times 74433 \text{ Kg CO}_2/\text{Tj} \\ &= 2.469,98 \text{ Kg CO}_2\end{aligned}$$

Berikut pada tabel 19. merupakan hasil emisi CO<sub>2</sub> per-bulan menggunakan Algoritma Sweep:

**Tabel 19. Hasil Emisi CO<sub>2</sub> Per-Bulan Menggunakan Algoritma Sweep**

| Rute         | Emisi CO <sub>2</sub> (Kg CO <sub>2</sub> /month) |
|--------------|---------------------------------------------------|
| 1            | 2.469,98                                          |
| 2            | 2.701,34                                          |
| 3            | 3.199,17                                          |
| 4            | 811,76                                            |
| 5            | 107,70                                            |
| <b>Total</b> | <b>9.289,95</b>                                   |

Berdasarkan tabel 19. metode perusahaan menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> per-bulan yang ditimbulkan yaitu sebesar 9.289,95 Kg CO<sub>2</sub>/month.

Selanjutnya ditinjau dari aspek sosial, Algoritma Sweep menghasilkan total jarak tempuh distribusi sebesar 15.918 km per bulan yang terbagi dalam 5 rute distribusi. Hasil tersebut menunjukkan beban distribusi pengemudi yang harus diselesaikan dalam melayani seluruh pelanggan berdasarkan jumlah perjalanan dan total jarak tempuh yang ditempuh.

### 3. Rute Distribusi Dengan Algoritma Clarke & Wright Saving

Proses pembentukan rute menggunakan Algoritma Clarke & Wright Saving diawali dengan menetapkan depot (D) sebagai titik awal distribusi. Selanjutnya, matriks penghematan (saving matrix) disusun berdasarkan matriks jarak antar lokasi untuk memperoleh nilai penghematan setiap pasangan pelanggan. Contoh perhitungan nilai penghematan ditunjukkan sebagai berikut.

$$S_{ij} = C_{oi} + C_{oj} - C_{ij}$$

$$S(C_1, C_2) = 9 \text{ Km} + 296 \text{ Km} - 224 \text{ Km}$$

$$= 81 \text{ Km}$$

Berikut pada tabel 20. merupakan hasil emisi CO<sub>2</sub> per-bulan menggunakan Algoritma Sweep:

**Tabel 20. Matriks Penghematan**

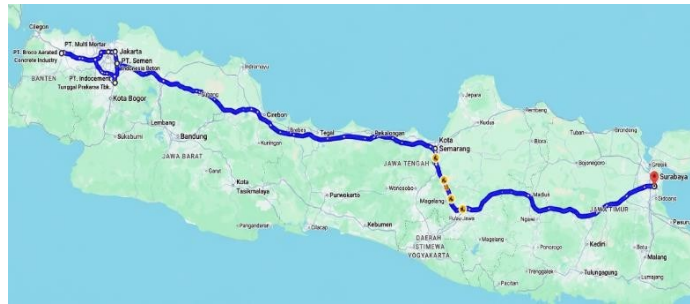
| Jarak<br>k | C1 | C2  | C3  | C4   | C5   | C6   | C7   | C8   | C9   | C10  | C11  | C12 | C13 | C14 | C15 | C16 | C17 | C18 | C19 | C20 |
|------------|----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| C1         | 0  |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| C2         | 81 | 0   |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| C3         | 11 | 491 | 0   |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| C5         | 11 | 569 | 892 | 1523 | 0    |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| C6         | 10 | 532 | 891 | 1534 | 1521 | 0    |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| C7         | 10 | 535 | 893 | 1419 | 1422 | 1420 | 0    |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| C8         | 10 | 529 | 891 | 1517 | 1511 | 1514 | 1409 | 0    |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| C9         | 10 | 513 | 891 | 1349 | 1351 | 1350 | 1350 | 1349 | 0    |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| C10        | 20 | 540 | 901 | 1537 | 1542 | 1531 | 1421 | 1539 | 1359 | 0    |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| C11        | 18 | 247 | 214 | 289  | 291  | 290  | 287  | 289  | 300  | 0    |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| C12        | 16 | 18  | 7   | 6    | 8    | 7    | 7    | 8    | 121  | -125 | 0    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| C13        | 13 | 28  | 25  | 24   | 25   | 25   | 25   | 24   | 25   | 92   | -108 | 11  | 0   |     |     |     |     |     |     |     |
| C14        | 9  | 20  | 30  | 29   | 29   | 30   | 30   | 29   | 31   | 144  | 4    | 8   | 15  | 0   |     |     |     |     |     |     |
| C15        | 15 | 33  | 38  | 42   | 43   | 43   | 43   | 42   | 43   | 157  | 19   | 15  | 21  | 72  | 0   |     |     |     |     |     |
| C16        | 1  | 9   | -8  | -9   | -7   | -8   | -8   | -9   | -7   | 60   | -141 | 7   | -5  | -7  | 14  | 0   |     |     |     |     |
| C17        | 10 | 3   | 15  | 12   | 16   | 15   | 15   | 15   | 16   | 129  | -20  | 9   | 19  | 42  | 52  | -6  | 0   |     |     |     |
| C18        | 13 | 132 | 71  | 43   | 45   | 44   | 46   | 43   | 45   | 158  | 108  | 15  | 23  | 69  | 83  | 1   | 43  | 0   |     |     |
| C19        | 11 | 27  | 30  | 28   | 31   | 30   | 30   | 29   | 31   | 144  | 3    | 10  | 16  | 69  | 73  | -6  | 43  | 70  | 0   |     |
| C20        | 13 | 36  | 34  | 34   | 35   | 34   | 34   | 33   | 35   | 102  | -99  | 16  | 33  | 16  | 35  | 4   | 17  | 22  | 13  | 0   |

Selanjutnya pelanggan dikelompokkan menggunakan Algoritma Clarke & Wright Saving dengan memilih pasangan pelanggan yang memiliki nilai penghematan terbesar. Proses ini dilakukan secara bertahap hingga seluruh pelanggan teralokasi ke dalam rute distribusi sesuai kapasitas kendaraan. Berdasarkan proses pengelompokan tersebut, diperoleh rute distribusi menggunakan Algoritma Clarke & Wright Saving sebagaimana disajikan pada tabel 20.

**Tabel 21. Hasil Pembentukan Rute Algoritma Clarke & Wright Saving**

| Rute  | Kelompok Pelanggan                              | Muatan Kendaraan | Kapasitas Muatan | Jarak Tempuh |
|-------|-------------------------------------------------|------------------|------------------|--------------|
| 1     | D – C5 – C10 – C8 – C4 – C6 – D                 | 12,155 Ton       | 15 Ton           | 1.710 Km     |
| 2     | D – C7 – C9 – C3 – C2 – C11 – D                 | 12,268 Ton       | 15 Ton           | 1.775 Km     |
| 3     | D – C15 – C18 – C19 – C14 – C20 – C17 – C13 – D | 8,384 Ton        | 10 Ton           | 238 Km       |
| 4     | D – C1 – C12 – C16 – D                          | 9,156 Ton        | 10 Ton           | 27 Km        |
| Total |                                                 |                  |                  | 3.750 Km     |

Berikut gambar 4. merupakan visualisasi rute distribusi metode perusahaan menggunakan peta yang menggambarkan jalur perjalanan:



**Gambar 4. Visualisasi Rute 1 dengan Algoritma Clarke & Wright Saving**

Berdasarkan hasil pada tabel 21, dapat diketahui bahwa total jarak rute yang diperoleh dengan algoritma clarke & wright saving adalah 3.750 Km dengan 4 rute yang terbentuk.

Selanjutnya, dilakukan perhitungan biaya operasional untuk memperoleh konsumsi bahan bakar, biaya BBM, biaya tol, dan upah pengemudi pada setiap rute distribusi dengan Algoritma Clarke & Wright Saving untuk satu kali pengiriman. Contoh perhitungan konsumsi BBM untuk satu kali pengiriman berdasarkan Algoritma Clarke & Wright Saving ditunjukkan sebagai berikut.

Rute 1

$$\begin{aligned}\text{Konsumsi BBM} &= \frac{1.710 \text{ Km}}{5 \text{ Km/Liter}} \\ &= 342 \text{ liter}\end{aligned}$$

$$\text{Biaya BBM} = 342 \text{ Liter} \times \text{Rp } 6.800 = \text{Rp } 2.325.600$$

$$\text{Biaya Pengemudi} = \text{Rp } 5.550.000 \times 4 (\text{pengemudi}) = \text{Rp } 22.200.000$$

Berikut pada tabel 22, merupakan hasil biaya operasional menggunakan Algoritma Clarke & Wright Saving:

**Tabel 22. Hasil Biaya Operasional Menggunakan Algoritma Clarke & Wright Saving**

| Rute  | Jarak Tempuh | Konsumsi BBM | Biaya BBM    | Biaya Tol    | Biaya Pengemudi |
|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|
| 1     | 1.710 Km     | 342 Liter    | Rp 2.325.600 | Rp 1.300.000 |                 |
| 2     | 1.775 Km     | 355 Liter    | Rp 2.414.000 | Rp 1.300.000 |                 |
| 3     | 238 Km       | 59,5 Liter   | Rp 404.600   | Rp 350.000   |                 |
| 4     | 27 Km        | 6,75 Liter   | Rp 45.900    | Rp 150.000   |                 |
| Total | 3.750 Km     | 763,25 Liter | Rp 5.190.100 | Rp 3.100.000 | Rp 22.200.000   |

Perhitungan selanjutnya dilakukan berdasarkan frekuensi pemesanan pelanggan sebanyak 3 (tiga) kali dalam satu bulan. Contoh perhitungan konsumsi BBM per bulan menggunakan Algoritma Clarke & Wright Saving sebagai berikut.

Rute 1

$$\text{Jarak Tempuh} = 1.710 \text{ Km} \times 3 = 5.130 \text{ Km}$$

$$\text{Konsumsi BBM per-Bulan} = 342 \text{ liter} \times 3 = 1.026 \text{ liter}$$

$$\text{Biaya BBM per-Bulan} = 1.026 \text{ Liter} \times \text{Rp } 6.800 = \text{Rp } 6.976.800 \text{ Biaya Pengemudi} = \text{Rp } 5.550.000 \times 4 (\text{pengemudi}) = \text{Rp } 22.200.000$$

Berikut pada tabel 23, merupakan hasil biaya operasional per-bulan menggunakan Algoritma Clarke & Wright Saving:

**Tabel 23. Hasil Biaya Operasional Per-Bulan Menggunakan Algoritma Clarke & Wright Saving**

| Rute         | Jarak tempu h per-bulan | Konsum si BBM per-bulan | Biaya BBM per-bulan  | Biaya Tol           | Biaya Pengemu di     |
|--------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| 1            | 5.130 Km                | 1.026 Liter             | Rp 6.976.800         | Rp 3.900.000        |                      |
| 2            | 5.325 Km                | 1.065 Liter             | Rp 7.242.000         | Rp 3.900.000        |                      |
| 3            | 714 Km                  | 178,5 Liter             | Rp 1.213.800         | Rp 1.050.000        | Rp 22.200.000        |
| 4            | 81 Km                   | 20,25 Liter             | Rp 137.700           | Rp 450.000          |                      |
| <b>Total</b> | <b>11.250 Km</b>        | <b>2.289,75 Liter</b>   | <b>Rp 15.570.300</b> | <b>Rp 9.300.000</b> | <b>Rp 22.200.000</b> |

Dilanjutkan dengan perhitungan emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan berdasarkan konsumsi BBM per-bulan. Contoh perhitungan emisi CO<sub>2</sub> per-bulan dengan Algoritma Clarke & Wright Saving sebagai berikut:

Rute 1

$$D_{ABM} = 10,260 \text{ kiloliter} \times 837,5 \text{ Kg/m}^3 \times 42,66 \text{ Tj/Gg} \times 10^{-6}$$

$$= 0,0367 \text{ TJ}$$

$$\text{Emisi CO}_2 = 0,0367 \text{ Tj} \times 74433 \text{ Kg CO}_2/\text{Tj}$$

$$= 2.728,47 \text{ Kg CO}_2$$

Berikut pada tabel 24. merupakan hasil emisi CO<sub>2</sub> per-bulan menggunakan Algoritma Clarke & Wright Saving:

**Tabel 24. Hasil Emisi CO<sub>2</sub> Per-Bulan Menggunakan Algoritma Clarke & Wright Saving**

| Rute | Emisi CO <sub>2</sub> (Kg CO <sub>2</sub> /month) |
|------|---------------------------------------------------|
| 1    | 2.728,47                                          |
| 2    | 2.832,18                                          |
| 3    | 474,69                                            |
| 4    | 53,85                                             |

Selanjutnya ditinjau dari aspek sosial, Algoritma Clarke & Wright Saving menghasilkan total jarak tempuh distribusi sebesar 11.250 km yang terbagi dalam 4 rute distribusi. Total jarak tempuh tersebut merepresentasikan beban distribusi pengemudi dalam melayani seluruh pelanggan.

## C.Pemilihan Metode Usulan Algoritma Sweep dan Algoritma Clarke & Wright Saving

Berikut pada tabel 25. ditampilkan hasil perbandingan konsumsi BBM, biaya BBM, biaya tol, dan upah pengemudi dalam satu kali pengiriman dengan metode usulan:

**Tabel 25. Perbandingan Hasil Konsumsi BBM satu kali pengiriman Metode Usulan**

| Metode                           | Jarak Tempuh | Konsumsi BBM   | Biaya BBM    | Biaya Tol    | Biaya Pengemudi |
|----------------------------------|--------------|----------------|--------------|--------------|-----------------|
| Algoritma Sweep                  | 5.306 Km     | 1.164,45 Liter | Rp 7.918.260 | Rp 4.400.000 | Rp 22.200.000   |
| Algoritma Clarke & Wright Saving | 3.750 Km     | 763,25 Liter   | Rp 5.190.100 | Rp 3.100.000 | Rp 22.200.000   |

Berdasarkan Tabel 18, Algoritma Clarke & Wright Saving menghasilkan kinerja terbaik dengan jarak tempuh 3.750 km, konsumsi BBM 763,25 liter, biaya BBM Rp5.190.100, biaya tol Rp3.100.000, dan upah pengemudi Rp22.200.000.

Berikut pada tabel 26. disajikan perbandingan konsumsi BBM per bulan dan biaya BBM per bulan pada metode usulan.

**Tabel 26. Perbandingan Hasil Konsumsi Dan Biaya BBM Per-bulan Metode Usulan**

| Metode                           | Jarak tempuh per-bulan | Konsumsi BBM per-bulan | Biaya BBM per-bulan | Biaya Tol     | Biaya Pengemudi |
|----------------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|---------------|-----------------|
| Algoritma Sweep                  | 15.918 Km              | 3.493,35 Liter         | Rp 23.754.780       | Rp 13.200.000 | Rp 22.200.000   |
| Algoritma Clarke & Wright Saving | 11.250 Km              | 2.289,75 Liter         | Rp 15.570.300       | Rp 9.300.000  | Rp 22.200.000   |

Berdasarkan tabel 26. dapat diketahui konsumsi BBM per-bulan dan biaya BBM per-bulan. Dapat diketahui bahwa Algoritma clarke & wright saving dapat memberikan hasil paling baik.

Berikut pada tabel 27. merupakan perbandingan hasil emisi CO<sub>2</sub> dengan metode usulan.

**Tabel 27. Perbandingan Hasil Emisi CO<sub>2</sub> Per-bulan**

| Metode                           | Emisi (Kg CO <sub>2</sub> /month) |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| Algoritma Sweep                  | 9.289,95                          |
| Algoritma Clarke & Wright Saving | 6.089,19                          |

Berdasarkan tabel 27. Algoritma Clarke & Wright Saving menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> terendah, yaitu sebesar 6.089,19 kg CO<sub>2</sub>/bulan.

Berikut pada tabel 28. merupakan perbandingan hasil aspek sosial dengan metode usulan:

**Tabel 28. Perbandingan Hasil Aspek Sosial Metode Usulan**

| Metode                           | Jumlah Rute | Total Jarak Tempuh per-bulan (Km) | Implikasi Beban Distribusi    |
|----------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Algoritma Sweep                  | 5           | 15.918                            | Beban distribusi lebih tinggi |
| Algoritma Clarke & Wright Saving | 4           | 11.250                            | Beban distribusi lebih rendah |

Berdasarkan tabel 28. menunjukkan bahwa Algoritma Clarke & Wright Saving menghasilkan 4 rute distribusi dengan total jarak tempuh sebesar 11.250 km, lebih rendah dibandingkan Algoritma Sweep yang menghasilkan 5 rute dengan total jarak tempuh sebesar 15.918 km. Hasil tersebut menunjukkan bahwa beban distribusi pengemudi menjadi lebih rendah, sehingga Algoritma Clarke & Wright Saving dipilih sebagai metode usulan terbaik dari aspek sosial.

## D. Metode Usulan Terbaik

Berdasarkan hasil evaluasi, Algoritma Clarke & Wright Saving dipilih sebagai metode usulan terbaik karena menghasilkan kinerja paling baik pada aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial. Metode ini menghasilkan total jarak tempuh sebesar 11.250 km per bulan, konsumsi BBM sebesar 2.289,75 liter, biaya BBM sebesar Rp15.570.300 per bulan, emisi CO<sub>2</sub> sebesar 6.089,19 kg/bulan, serta membentuk 4 rute distribusi yang mampu menurunkan beban distribusi pengemudi. Selanjutnya, metode tersebut dibandingkan dengan metode distribusi eksisting perusahaan untuk mengevaluasi peningkatan kinerja distribusi.

## E. Perbandingan Hasil Metode Usulan Dengan Metode Eksisting

Berikut pada tabel 29. ditampilkan hasil perbandingan konsumsi BBM, biaya BBM, biaya tol, dan upah pengemudi dalam satu kali pengiriman metode usulan dengan metode perusahaan:

**Tabel 29. Perbandingan Hasil satu kali pengiriman Dengan Metode Usulan Dan Metode Perusahaan**

| Metode                           | Jarak tempuh | Konsumsi BBM   | Biaya BBM    | Biaya Tol    | Biaya Pengemudi |
|----------------------------------|--------------|----------------|--------------|--------------|-----------------|
| Metode Perusahaan                | 6.554 Km     | 1.338,85 Liter | Rp 9.105.540 | Rp 6.600.000 | Rp 22.200.000   |
| Algoritma Clarke & Wright Saving | 3.750 Km     | 763,25 Liter   | Rp 5.190.100 | Rp 3.100.000 | Rp 22.200.000   |

Berdasarkan tabel 29. Algoritma Clarke & Wright Saving memberikan hasil terbaik dengan jarak tempuh sebesar 3.750 km, konsumsi BBM sebesar 763,25 liter, biaya BBM sebesar Rp5.190.100, biaya tol sebesar Rp3.100.000, serta upah pengemudi sebesar Rp22.200.000.

Berikut pada tabel 30. disajikan perbandingan per-bulan dengan metode usulan dan metode perusahaan:

**Tabel 30. Perbandingan Hasil per-bulan Dengan Metode Usulan Dan Metode Perusahaan**

| Metode                           | Jarak tempuh per-bulan | Konsumsi BBM per-bulan | Biaya BBM per-bulan | Biaya Tol     | Biaya Pengemudi |
|----------------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|---------------|-----------------|
| Metode Perusahaan                | 19.662 Km              | 4.017,15 Liter         | Rp 27.316.620       | Rp 19.800.000 | Rp 22.200.000   |
| Algoritma Clarke & Wright Saving | 11.250 Km              | 2.289,75 Liter         | Rp 15.570.300       | Rp 9.300.000  | Rp 22.200.000   |

Berdasarkan tabel 30. dapat diketahui bahwa konsumsi BBM, biaya BBM, biaya tol, dan upah pengemudi. Algoritma clark & wright saving dapat memberikan hasil paling baik.

Berikut pada tabel 31. merupakan perbandingan hasil emisi CO<sub>2</sub> Dengan Metode Usulan Dan Metode Perusahaan:

**Tabel 31. Perbandingan Hasil Emisi CO<sub>2</sub> Per-bulan Dengan Metode Usulan Dan Metode Perusahaan**

| Metode                           | Emisi (Kg CO <sub>2</sub> /month) |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| Metode Perusahaan                | 10.682,91                         |
| Algoritma Clarke & Wright Saving | 6.089,19                          |

Berdasarkan tabel 31. Algoritma Clarke & Wright Saving menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> terendah, yaitu sebesar 6.089,19 kg CO<sub>2</sub>/bulan.

Berikut pada tabel 32. merupakan perbandingan hasil aspek sosial dengan metode usulan dan metode perusahaan:

**Tabel 32. Perbandingan Hasil Aspek Sosial Dengan Metode Usulan Dan Metode Perusahaan**

| Metode                           | Jumlah Rute | Total Jarak Tempuh per-bulan (Km) | Implikasi Beban Distribusi    |
|----------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Metode Perusahaan                | 8           | 19.662                            | Beban distribusi lebih tinggi |
| Algoritma Clarke & Wright Saving | 4           | 11.250                            | Beban distribusi lebih rendah |

Berdasarkan tabel 32. Algoritma Clarke & Wright Saving menghasilkan 4 rute distribusi dengan total jarak tempuh sebesar 11.250 km, lebih rendah dibandingkan metode perusahaan yang menghasilkan 8 rute dengan total jarak tempuh sebesar 19.662 km. Hasil tersebut menunjukkan penurunan beban distribusi pengemudi, sehingga Algoritma Clarke & Wright Saving dipilih sebagai metode usulan terbaik dari aspek sosial.

## Hasil dan Pembahasan

Berikut hasil dari ketiga metode yaitu metode eksisting perusahaan, algoritma sweep, dan algoritma clarke & wright saving.

**Tabel 33. Perbandingan Hasil Metode Perusahaan, Algoritma Sweep, dan Algoritma Clarke & Wright Saving**

| Parameter                         | Metode Perusahaan | Algoritma Sweep | Algoritma Clarke & Wright Saving |
|-----------------------------------|-------------------|-----------------|----------------------------------|
| Jumlah rute                       | 8                 | 5               | 4                                |
| Jarak tempuh/bulan (km)           | 19.662            | 15.918          | 11.250                           |
| Konsumsi BBM/bulan (liter)        | 4.017,15          | 3.493,35        | 2.289,75                         |
| Biaya BBM/bulan (Rp)              | 27.316.620        | 23.754.780      | 15.570.300                       |
| Biaya Tol/bulan                   | Rp 19.800.000     | Rp 13.200.000   | Rp 9.300.000                     |
| Biaya Pengemudi/bulan             | Rp 22.200.000     |                 | Rp 22.200.000                    |
| Emisi CO <sub>2</sub> /bulan (kg) | 11.385,22         | 9.289,95        | 6.089,19                         |
| Beban distribusi                  | Tinggi            | Lebih rendah    | Paling rendah                    |

Berdasarkan tabel 33. Algoritma Clarke & Wright Saving menghasilkan kinerja yang lebih baik dibandingkan Algoritma Sweep. Algoritma Sweep menghasilkan 5 rute distribusi dengan total jarak tempuh 15.918 km per bulan, sedangkan Algoritma Clarke & Wright Saving menghasilkan 4 rute dengan total jarak tempuh 11.250 km per bulan. Penurunan jarak tempuh sebesar 4.668 km per bulan tersebut diikuti dengan penurunan konsumsi BBM dari 3.493,35 liter menjadi 2.289,75 liter, biaya BBM dari Rp23.754.780 menjadi Rp15.570.300, biaya tol dari Rp13.200.000 menjadi Rp9.300.000, serta emisi CO<sub>2</sub> dari 9.289,95 kg menjadi 6.089,19 kg per bulan. Sementara itu, upah pengemudi pada kedua metode tetap sebesar Rp22.200.000 per bulan. Selain itu, jumlah perjalanan distribusi berkurang dari 5 menjadi 4 rute sehingga beban distribusi pengemudi menjadi lebih rendah. Selanjutnya, Algoritma Clarke & Wright Saving dibandingkan dengan metode distribusi perusahaan. Metode perusahaan menghasilkan 8 rute distribusi dengan total jarak tempuh 19.662 km per bulan, sedangkan Algoritma Clarke & Wright Saving menghasilkan 4 rute dengan total jarak tempuh 11.250 km per bulan. Perbaikan tersebut menurunkan konsumsi BBM dari 4.017,15 liter menjadi 2.289,75 liter, biaya BBM dari Rp27.316.620 menjadi Rp15.570.300, biaya tol dari Rp19.800.000 menjadi Rp9.300.000, serta emisi CO<sub>2</sub> dari 11.385,22 kg menjadi 6.089,19 kg per bulan, sementara upah pengemudi tetap sebesar Rp22.200.000 per bulan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa Algoritma Clarke & Wright Saving mampu meningkatkan efisiensi distribusi dari aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial sehingga dipilih sebagai metode usulan terbaik.

## Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, metode perusahaan menghasilkan 8 rute distribusi, Algoritma Sweep menghasilkan 5 rute distribusi, sedangkan Algoritma Clarke & Wright Saving menghasilkan 4 rute distribusi. Ditinjau dari aspek ekonomi, Algoritma Clarke & Wright Saving menghasilkan biaya operasional distribusi terendah sebesar Rp15.570.300 per bulan. Dari aspek lingkungan, metode ini menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> terendah sebesar 6.089,19 kg CO<sub>2</sub>/bulan. Dari aspek sosial, Algoritma Clarke & Wright Saving menghasilkan total jarak tempuh distribusi terendah sebesar 11.250 km per bulan sehingga mampu mengurangi beban distribusi pengemudi. Rute distribusi optimal yang dihasilkan terdiri atas Rute 1 melayani pelanggan: C5–C10–C8–C4–C6, Rute 2 melayani pelanggan: C7–C9–C3–C2–C11, Rute 3 melayani pelanggan: C15–C18–C19–C14–C17–C20–C13, Rute 4 melayani pelanggan: C1–C12–C16. Dengan demikian, penerapan Green Vehicle Routing Problem (GVRP) menggunakan Algoritma Clarke & Wright Saving mampu menghasilkan rute distribusi yang paling optimal untuk mendukung Sustainable Supply Chain Management (SSCM) melalui penurunan biaya operasional distribusi, emisi karbon, dan beban distribusi pengemudi.

## References

1. P. Lestari, A. Hasibuan, and B. Harahap, "Analisis Penentuan Rute Distribusi menggunakan Metode Nearest Neighbor di PT Medan Juta Rasa Tanjung Morawa," *Factory: Jurnal Industri, Manajemen dan Rekayasa Sistem Industri*, vol. 1, no. 1, pp. 26–32, 2022, doi: 10.56211/factory.v1i1.110.  
ISSN 2598-9936 (online), <https://ijins.umsida.ac.id>, published by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

2. K. A. Maulana and A. Emaputra, "Penentuan Jalur Distribusi Gas LPG dengan Metode Savings Matrix dan Nearest Neighbor pada PT XYZ," *Jurnal Rekayasa Industri (JRI)*, vol. 4, no. 2, pp. 94–103, 2022, doi: 10.37631/jri.v4i2.634.
3. E. Shekarian, B. Ijadi, A. Zare, and J. Majava, "Sustainable Supply Chain Management: A Comprehensive Systematic Review of Industrial Practices," *Sustainability*, vol. 14, no. 13, Art. no. 7892, 2022, doi: 10.3390/su14137892.
4. B. Carroll, J. A. Brown, and A. K. Buchholtz, *Business & Society: Ethics, Sustainability, and Stakeholder Management*, 10th ed. Boston, MA, USA: Cengage Learning, 2017.
5. N. Pujawan and E. R. Mahendrawathi, *Supply Chain Management*, 4th ed. Yogyakarta, Indonesia: Andi, 2024.
6. J.-F. Cordeau, G. Laporte, and S. Ropke, "Vehicle Routing Problems," in *Handbook of Transportation Science*, P. M. Pardalos and M. G. C. Resende, Eds. Cham, Switzerland: Springer, 2016.
7. H. Zhang, H. Ge, J. Yang, and Y. Tong, "Review of Vehicle Routing Problems: Models, Classification and Solving Algorithms," *Archives of Computational Methods in Engineering*, vol. 29, no. 1, pp. 195–221, 2022, doi: 10.1007/s11831-021-09574-x.
8. Erdogdu and K. Karabulut, "Bi-Objective Green Vehicle Routing Problem," *International Transactions in Operational Research*, vol. 29, no. 3, pp. 1602–1626, 2022, doi: 10.1111/itor.13044.
9. R. Arifian and F. Pulansari, "Determination of the Shortest Distribution Routes to Minimize Fuel Consumption and CO<sub>2</sub> Emission Using Sweep and Clarke & Wright Saving Algorithms," *Indonesian Journal of Industrial Engineering & Management (IJIEM)*, vol. 4, no. 2, pp. 146–156, 2023, doi: 10.22441/ijiem.v4i2.20493.
10. Setiawan, S. W. Nensi, N. C. Rizani, T. Y. B. Matutina, and K. Hamidi, "Optimasi Pemilihan Rute Terpendek Distribusi Gas LPG 3 Kg Menggunakan Algoritma Sweep Berbasis Python," *JISI: Jurnal Integrasi Sistem Industri*, vol. 12, no. 2, pp. 235–248, 2025, doi: 10.24853/jisi.12.2.235-248.
11. P. Oktaviani, I. Permata Dalnis, and E. Wirdianto, "Usulan Rute Pendistribusian Gas LPG Menggunakan Algoritma Dijkstra dan Algoritma Genetika pada Model CGVRP," *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, vol. 14, no. 1, pp. 131–145, 2025, doi: 10.26593/jrsi.v14i1.8491.131-145.
12. S. Fauzi, I. B. Wardani, I. L. Putra, and P. Puspitasari, "Penerapan Algoritma Sweep dan Particle Swarm Optimization (PSO) sebagai Alternatif Menentukan Rute Distribusi," *Faktor Exacta*, vol. 16, no. 4, pp. 264–273, 2023, doi: 10.30998/faktorexacta.v16i4.18962.
13. D. Ariyanto and Suseno, "Optimalisasi Penentuan Rute Distribusi Roti Bakar Dengan Metode Saving Matrix Dan Algoritma Nearest Neighbor Pada Pabrik Roti Bakar Azhari," *Jurnal Ilmiah Teknik Industri dan Inovasi*, vol. 2, no. 1, pp. 1–11, 2024, doi: 10.59024/jisi.v2i1.494.
14. H. Sekarningtyas, I. Faza, and R. Kafidzin, "Penentuan Jumlah dan Rute Kendaraan untuk Distribusi Tabung Oksigen (O<sub>2</sub>) Wilayah Jawa Timur dengan Algoritma Clarke and Wright Savings pada PT GCS," *Juremi: Jurnal Riset Ekonomi*, vol. 3, no. 2, pp. 219–226, 2023, doi: 10.53625/juremi.v3i2.6492.
15. Gunawan, *Pengantar Logistics & Supply Chain*. Bandung, Indonesia: Indonesia Emas Group, 2025.