

## Optimasi Biaya Distribusi Produk Farmasi Melalui Pendekatan Capacitated Vehicle Routing Problem With Time Windows (CVRPTW) pada Jaringan Distribusi PT DFO Wilayah Pulau Jawa

Laurensius Widi Andikha Putra, Melia Eka Lestiani, Erna Mulyati

Universitas Logistik dan Bisnis Internasional, Indonesia

laurens.widi@gmail.com, meliaeka@ulbi.ac.id, ernamulyati@ulbi.ac.id

### ABSTRACT

*Pharmaceutical product distribution faces challenges in achieving cost efficiency while complying with vehicle capacity constraints, service time limitations, and Good Distribution Practices (GDP) requirements. This study aims to analyze the existing distribution system, evaluate route efficiency, develop an optimization model using the Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW) approach, and measure the potential transportation cost savings within PT DFO's distribution network in Java Island. The study employed a mixed-method approach by utilizing primary data obtained through observations and interviews, as well as secondary company data consisting of branch locations, demand, vehicle capacity, distance, travel time, transportation costs, time windows, and service time. The optimization process applied the Savings Algorithm/Savings Matrix to cluster distribution routes while considering vehicle capacity and service time constraints, followed by visit-sequence optimization using Excel Solver. The results indicate that the existing 17 distribution routes can be optimized into 9 routes, representing a reduction of 47.06%. Total travel distance decreased from 11,865.5 km to 7,989.3 km, resulting in an efficiency of 32.67%, while total travel time decreased from 10,398 minutes to 7,196 minutes, representing a 30.79% reduction. Distribution costs per cycle decreased from IDR 103,800,000 to IDR 86,920,000, generating savings of IDR 16,880,000 or 16.26%. These findings demonstrate that the CVRPTW approach can produce more efficient pharmaceutical distribution routes while simultaneously considering vehicle capacity, time windows, service time, and operational feasibility based on Good Distribution Practices (GDP). The study recommends that route optimization should be dynamically reviewed by considering changes in demand, branch operating schedules, transportation tariffs, and operational conditions to maintain cost efficiency without compromising pharmaceutical distribution quality and regulatory compliance.*

**Keywords:** *Pharmaceutical Distribution; Cost Optimization; Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW); Savings Matrix; Distribution Routes; Good Distribution Practices.*

### ABSTRAK

Distribusi produk farmasi menghadapi tantangan dalam mencapai efisiensi biaya dengan tetap memenuhi keterbatasan kapasitas kendaraan, waktu layanan, dan ketentuan Cara Distribusi Obat yang Baik (CDOB). Penelitian ini bertujuan menganalisis kondisi eksisting distribusi, mengevaluasi efisiensi rute, mengembangkan model optimasi menggunakan pendekatan *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW)*, serta mengukur potensi penghematan biaya transportasi pada jaringan distribusi PT DFO wilayah Pulau Jawa. Penelitian menggunakan pendekatan *mixed method* dengan memanfaatkan data primer melalui

observasi dan wawancara serta data sekunder perusahaan berupa lokasi cabang, permintaan (*demand*), kapasitas kendaraan, jarak, waktu tempuh, biaya transportasi, *time windows*, dan *service time*. Proses optimasi dilakukan melalui pendekatan *Savings Algorithm/ Savings Matrix* untuk pengelompokan rute dengan mempertimbangkan kapasitas dan batas waktu layanan, kemudian dilanjutkan dengan optimasi urutan kunjungan menggunakan *Excel Solver*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rute eksisting sebanyak 17 rute dapat dioptimalkan menjadi 9 rute, atau berkurang sebesar 47,06%. Total jarak tempuh turun dari 11.865,5 km menjadi 7.989,3 km, atau mengalami efisiensi sebesar 32,67%, sedangkan total waktu tempuh berkurang dari 10.398 menit menjadi 7.196 menit atau sebesar 30,79%. Biaya distribusi per siklus menurun dari Rp103.800.000 menjadi Rp86.920.000, sehingga diperoleh penghematan sebesar Rp16.880.000 atau 16,26%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa CVRPTW mampu menghasilkan rute distribusi yang lebih efisien dengan tetap mempertimbangkan kapasitas kendaraan, *time windows*, *service time*, dan kelayakan operasional berdasarkan CDOB. Penelitian ini memberikan rekomendasi bahwa optimasi rute perlu dilakukan secara dinamis dengan memperhatikan perubahan *demand*, jadwal cabang, tarif transportasi, dan kondisi operasional agar efisiensi biaya dapat dipertahankan tanpa mengurangi mutu dan kepatuhan distribusi farmasi.

**Kata kunci:** Distribusi Farmasi; Optimasi Biaya; *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows* (CVRPTW); *Savings Matrix*; Rute Distribusi; CDOB.

## PENDAHULUAN

Distribusi produk farmasi tidak dapat dilepaskan dari tuntutan mutu layanan kesehatan yang semakin tinggi. Dalam sistem pelayanan kesehatan modern, ketersediaan obat yang tepat waktu dan dalam jumlah yang sesuai menjadi faktor penting dalam menjamin keberlangsungan layanan kepada pasien. Perbaikan efisiensi layanan kesehatan bahkan telah bergeser ke aspek logistik, dimana pengelolaan distribusi dipandang sebagai elemen strategis yang berkontribusi terhadap efisiensi biaya sekaligus peningkatan kualitas layanan (Mamoun et al., 2024).

Pada praktiknya, pengelolaan logistik farmasi telah banyak dikaitkan dengan pendekatan efisiensi berbasis data. Penggunaan metode seperti analisis ABC VEN menunjukkan bahwa perencanaan logistik yang baik dapat memberikan dampak langsung terhadap efisiensi keuangan dan mutu pelayanan kesehatan. Hal ini memperlihatkan bahwa pengelolaan distribusi tidak lagi sekadar operasional rutin, tetapi telah menjadi bagian dari strategi organisasi dalam menjaga keberlanjutan layanan (Jayarathna et al., 2022).

Efisiensi operasional dalam distribusi juga berkaitan erat dengan pemanfaatan sumber daya yang optimal. Ketika aliran barang dan informasi tidak terintegrasi dengan baik, potensi pemborosan menjadi sulit dihindari. Dalam konteks ini, sistem informasi logistik memiliki peran penting dalam meningkatkan akurasi data serta mempercepat proses pengambilan keputusan. Efisiensi operasional dan akurasi informasi menjadi dua indikator utama yang menentukan keberhasilan sistem distribusi (Cuvelier et al., 2023).

Kompleksitas distribusi semakin meningkat ketika jaringan pelayanan melibatkan banyak titik. Pada kondisi ini, kecepatan dan ketepatan pengolahan informasi menjadi sangat penting karena jumlah keputusan yang harus diambil semakin besar. Dalam penelitian ini, ruang lingkup jaringan distribusi dibatasi pada 17 cabang, yang mencerminkan kondisi nyata dengan tingkat kompleksitas menengah dalam distribusi produk farmasi. Struktur ini cukup untuk menunjukkan permasalahan koordinasi rute dan jadwal yang sering muncul dalam praktik (Reswari et al., 2023).

Permasalahan operasional di lapangan umumnya memiliki pola yang berulang. Rute distribusi yang tidak direncanakan secara optimal sering menyebabkan pemborosan jarak tempuh dan waktu perjalanan. Dampaknya tidak hanya pada peningkatan biaya bahan bakar, tetapi juga pada menurunnya produktivitas kendaraan dan meningkatnya risiko keterlambatan. Dalam jangka panjang, kondisi ini dapat menurunkan efisiensi sistem distribusi secara keseluruhan (Pulansari & Nugraha, 2022).

Tekanan terhadap biaya distribusi juga semakin besar seiring dengan meningkatnya kebutuhan layanan. Biaya transportasi menjadi salah satu komponen terbesar dalam aktivitas logistik. Tanpa adanya upaya perbaikan yang berkelanjutan, biaya ini cenderung meningkat dan sulit dikendalikan. Oleh karena itu, pendekatan yang mampu mengoptimalkan rute distribusi menjadi penting untuk menekan biaya operasional tanpa mengorbankan kualitas layanan (Li et al., 2023).

Untuk memberikan gambaran awal kondisi distribusi, berikut disajikan data logistik atas pengiriman Cabang Jawa PT DFO pada Tahun 2025.

**Tabel 1. Data Logistik Pengiriman Tahun 2025 PT DFO Wilayah Jawa**

| ID  | NAMA CABANG        | Jarak dari Gudang Pusat (Km) | Demand BERAT Per Sekali kirim | Demand Volume Per Sekali Kirim | History Frekuensi Per Tahun | History Frekuensi Per Bulan | Total Biaya Kirim (a) | Total Nilai Produk (b) | Ratio Biaya (a/b) |
|-----|--------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------|
| BDG | CABANG BANDUNG     | 142                          | 1.395                         | 5.399                          | 31                          | 3                           | Rp 51.099.094         | Rp 8.232.246.137       | 0,62%             |
| BGR | CABANG BOGOR       | 64,7                         | 2.352                         | 8.920                          | 29                          | 2                           | Rp 46.501.428         | Rp 9.665.788.520       | 0,48%             |
| BKS | CABANG BEKASI      | 21,5                         | 801                           | 3.258                          | 23                          | 2                           | Rp 19.791.642         | Rp 2.652.550.244       | 0,75%             |
| CRB | CABANG CIREBON     | 215                          | 2.091                         | 7.950                          | 26                          | 2                           | Rp 66.116.050         | Rp 4.579.804.023       | 1,44%             |
| JK1 | CABANG JAKARTA 1   | 15,4                         | 969                           | 3.996                          | 23                          | 2                           | Rp 21.856.494         | Rp 5.094.654.126       | 0,43%             |
| JK2 | CABANG JAKARTA 2   | 1,5                          | 1.526                         | 5.780                          | 27                          | 2                           | Rp 36.792.750         | Rp 11.629.545.963      | 0,32%             |
| JMR | CABANG JEMBER      | 945                          | 1.721                         | 6.360                          | 16                          | 1                           | Rp 71.417.179         | Rp 3.497.387.134       | 2,04%             |
| JOG | CABANG YOGYAKARTA  | 573                          | 2.660                         | 9.694                          | 25                          | 2                           | Rp 97.368.213         | Rp 13.977.718.404      | 0,70%             |
| MDN | CABANG MADIUN      | 632                          | 1.969                         | 6.854                          | 24                          | 2                           | Rp 78.395.148         | Rp 6.473.593.250       | 1,21%             |
| MLG | CABANG MALANG      | 841                          | 2.077                         | 7.578                          | 21                          | 2                           | Rp 104.407.395        | Rp 8.369.206.989       | 1,25%             |
| PWT | CABANG PURWOKERTO  | 345                          | 2.902                         | 10.122                         | 37                          | 3                           | Rp 111.451.682        | Rp 14.650.260.446      | 0,76%             |
| SDJ | CABANG SIDOARJO    | 768                          | 3.456                         | 12.873                         | 38                          | 3                           | Rp 180.535.213        | Rp 35.440.223.034      | 0,51%             |
| SKT | CABANG SURAKARTA   | 523                          | 2.020                         | 8.116                          | 26                          | 2                           | Rp 69.431.121         | Rp 10.605.552.359      | 0,65%             |
| SMG | CABANG SEMARANG    | 426                          | 4.542                         | 15.592                         | 26                          | 2                           | Rp 116.206.860        | Rp 28.117.197.634      | 0,41%             |
| SRG | CABANG SERANG      | 105                          | 1.415                         | 5.417                          | 32                          | 3                           | Rp 51.963.800         | Rp 7.114.257.983       | 0,73%             |
| TGR | CABANG TANGERANG   | 58,3                         | 1.228                         | 4.836                          | 25                          | 2                           | Rp 24.016.989         | Rp 11.112.516.780      | 0,22%             |
| TSM | CABANG TASIKMALAYA | 247                          | 2.665                         | 9.957                          | 24                          | 2                           | Rp 103.924.476        | Rp 5.531.381.603       | 1,88%             |

Berdasarkan tabel history diatas, diketahui terdapat 453 trip pengiriman, dengan biaya pengiriman sebesar Rp 1.251.275.534 dan total produk yang dikelola senilai Rp 186.743.884.629 sehingga atas pengiriman yang dilakukan memiliki ratio biaya total 0,67% dibandingkan value produk yang dikirim. Value secara rata-rata itu dibentuk dari ratio di beberapa cabang yang lebih dari rata-rata dan hingga mencapai lebih dari 1% seperti Jember 2,04%, Tasikmalaya 1,88%, Cirebon 1,44%, Madiun 1,21%, dan Malang 1,25%. Ratio biaya pengiriman lebih dari 1% akan membebani profitabilitas per masing-masing cabang disaat fee distribusi atas produk generik yang menjadi produk utama dalam proses distribusi ada diangka 3-5%.

Selain faktor biaya, keterbatasan kapasitas kendaraan menjadi kendala yang tidak dapat diabaikan. Setiap kendaraan memiliki batas muatan yang harus diperhatikan agar distribusi tetap berjalan efektif. Ketidaksiuaian antara kapasitas dan beban distribusi sering menyebabkan penggunaan armada yang tidak efisien. Hal ini menambah kompleksitas dalam perencanaan distribusi, terutama ketika permintaan di setiap cabang memiliki variasi yang berbeda (Tan et al., 2023).

Di sisi lain, pembatasan waktu pengiriman juga menjadi tantangan tersendiri. Banyak titik layanan memiliki waktu operasional tertentu yang harus dipatuhi. Kondisi ini menyebabkan distribusi tidak dapat dilakukan secara fleksibel tanpa perencanaan yang matang. Ketika jadwal pengiriman tidak disusun dengan baik, potensi keterlambatan akan meningkat dan berdampak pada kepuasan pelanggan serta biaya tambahan (Maroof et al., 2024).

Kesenjangan pada sistem distribusi eksisting sering muncul ketika pengambilan keputusan masih didasarkan pada pengalaman atau kebiasaan operasional. Pendekatan ini cenderung kurang mampu mengakomodasi kompleksitas yang terus berkembang. Tanpa dukungan model analitis, efisiensi sulit dicapai secara konsisten. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang lebih sistematis dan berbasis data dalam menentukan rute distribusi (Sari et al., 2025).

Permasalahan optimasi rute distribusi dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan telah banyak dikaji dalam literatur melalui pendekatan Vehicle Routing Problem (VRP), yang pertama kali diperkenalkan oleh Dantzig dan Ramser (1959) dan terus berkembang menjadi berbagai varian sesuai karakteristik permasalahan riil yang dihadapi (Braekers, Ramaekers, & Van Nieuwenhuyse, 2016). Salah satu metode heuristik yang paling banyak diterapkan untuk menyelesaikan permasalahan Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) adalah Savings Algorithm yang dikembangkan oleh Clarke dan Wright (1964), karena kesederhanaan prosedur perhitungannya dan kemudahan implementasi menggunakan aplikasi spreadsheet. Di Indonesia, metode ini telah diterapkan pada berbagai konteks distribusi kesehatan, di antaranya oleh Setiani dan Lukmandono (2021) untuk optimasi rute distribusi obat, serta Kurniawan dan Rohmad (2022) untuk distribusi alat kesehatan steril dan non-steril. Kedua penelitian tersebut

secara konsisten menunjukkan bahwa penerapan Savings Algorithm mampu menurunkan biaya transportasi dibandingkan kondisi rute eksisting. Padahal, sebagaimana telah diuraikan sebelumnya, kepatuhan terhadap CDOB mensyaratkan kesesuaian jadwal kedatangan dengan jam operasional penerimaan di setiap titik distribusi, sehingga pendekatan Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW) menjadi lebih relevan untuk merepresentasikan kondisi riil distribusi farmasi dibandingkan CVRP konvensional.

Meskipun demikian, penelitian-penelitian tersebut umumnya masih terbatas pada permasalahan CVRP murni yang hanya mempertimbangkan batasan kapasitas kendaraan, tanpa mengintegrasikan batasan waktu (time window) sebagai bagian eksplisit dari model optimasi. Kajian literatur terhadap CVRP Murni seperti yang dilakukan oleh (1) Setiani dan Lukmandono (2021) melakukan optimasi rute distribusi dengan Saving Matrix, (2) Kurniawan dan Rohma (2022) melakukan optimasi rute distribusi alat kesehatan dengan saving matrix dan algoritma clarke dengan kendaraan tunggal (homogen); (3) Franico (2025) melakukan rute optimasi dan biaya ditribusi pada penyaluran cadangan pangan dengan membandingkan metode CVRP dan TSP; (4) Vera Devani & Atika Muthia Sari (2025) melakukan optimalisasi rute distribusi obat dengan metode Travelling Salesman Problem dengan algoritma Tabu Search. Penelitian yang mengintegrasikan CVRPTW dengan pendekatan tambahan seperti analisis jaringan berbasis Geographic Information System (GIS) memang telah dilakukan, misalnya oleh Saputro dkk. (2024) pada konteks distribusi unggas. Namun demikian, penelitian tersebut diterapkan pada komoditas non-farmasi tanpa mempertimbangkan konteks regulasi CDOB, dan menggunakan perangkat analisis GIS khusus yang relatif kurang aplikatif untuk diadopsi secara langsung oleh staf operasional gudang farmasi tanpa latar belakang teknis pemetaan.

Berdasarkan pemetaan celah penelitian yang sudah dijelaskan, penelitian ini menawarkan beberapa unsur kebaruan (novelty) dibandingkan penelitian-penelitian terdahulu. Pertama, penelitian ini mengintegrasikan batasan time window secara eksplisit ke dalam model CVRPTW pada konteks distribusi farmasi, sesuatu yang belum banyak dilakukan pada penelitian Savings Matrix terdahulu di Indonesia yang umumnya masih berhenti pada level CVRP. Kedua, penelitian ini mempertimbangkan heterogenitas kapasitas kendaraan (dua tingkat kapasitas standar dan besar) sesuai kebutuhan riil operasional pada cabang-cabang dengan volume permintaan tinggi, yang belum ditemukan pada penelitian Savings Matrix sejenis. Ketiga, penelitian ini mengusulkan pendekatan penyelesaian dua tahap yang aplikatif, yaitu Savings Algorithm untuk tahap pengelompokan cabang ke dalam rute (clustering), dilanjutkan dengan Excel Solver untuk tahap optimasi urutan kunjungan dalam satu rute (sequencing), sehingga dapat diimplementasikan sepenuhnya menggunakan aplikasi spreadsheet yang umum digunakan oleh praktisi logistik tanpa memerlukan keahlian pemrograman komputer

maupun perangkat lunak solver khusus. Keempat, penelitian ini menempatkan kepatuhan terhadap regulasi CDOB sebagai bagian dari batasan operasional yang harus dipenuhi, bukan sekadar batasan waktu generik sebagaimana lazim pada literatur CVRPTW konvensional, serta melibatkan validasi kelayakan operasional oleh pakar/praktisi sebagai bagian dari desain penelitian mix method, sesuatu yang jarang ditemukan pada penelitian optimasi rute berbasis Savings Matrix pada level akademik yang umumnya bersifat murni kuantitatif-deskriptif.

. Distribusi yang dilakukan PT DFO dilihat dari operasional di 17 cabang juga menggambarkan kompleksitas regulasi CDOB yang menyertai dalam operasionalnya. Dengan dilihat celah penelitian yang telah diuraikan, penelitian ini bermaksud melakukan optimasi biaya distribusi produk farmasi melalui pendekatan Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows dengan algoritma Savings Matrix, pada jaringan distribusi PT DFO wilayah Pulau Jawa, sebagai upaya menghasilkan rekomendasi rute distribusi yang efisien secara biaya sekaligus applicable secara operasional dan regulasi. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan model distribusi farmasi yang lebih efektif dan berkelanjutan.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini dikategorikan sebagai penelitian kuantitatif karena seluruh proses analisis didasarkan pada penggunaan data numerik yang terukur dan dapat dihitung secara sistematis. Dalam konteks permasalahan distribusi, data yang digunakan meliputi jarak antar lokasi, waktu tempuh, permintaan masing-masing cabang, serta kapasitas kendaraan. Seluruh data tersebut menjadi input utama dalam proses pemodelan rute distribusi. Karakteristik ini sejalan dengan pendekatan kuantitatif yang menekankan pada pengolahan angka untuk menghasilkan kesimpulan yang objektif dan terukur.

Pendekatan kuantitatif dalam penelitian ini juga terlihat dari cara evaluasi hasil yang dilakukan. Kinerja sistem distribusi diukur menggunakan indikator yang jelas seperti total jarak tempuh, total waktu distribusi, dan total biaya transportasi. Nilai-nilai tersebut kemudian dibandingkan antara kondisi eksisting dengan hasil optimasi. Dengan demikian, perubahan kinerja sistem dapat dilihat secara langsung melalui selisih nilai yang dihasilkan, sehingga keputusan yang diambil memiliki dasar yang lebih rasional.

Dalam penelitian-penelitian sebelumnya yang mengangkat topik serupa, pendekatan kuantitatif juga banyak digunakan untuk menganalisis efisiensi distribusi. Perbaikan rute umumnya diukur melalui penurunan jarak tempuh, waktu perjalanan, maupun biaya operasional. Pola ini menunjukkan bahwa masalah perutean kendaraan memang lebih tepat dianalisis dengan pendekatan kuantitatif karena hasilnya dapat diuji dan diverifikasi melalui perhitungan yang jelas (Hudananjaya et al., 2026).

Selain itu, penelitian ini juga berada dalam kerangka riset operasi (operations research). Pendekatan ini dipilih karena permasalahan distribusi yang dihadapi memiliki

karakteristik sebagai masalah optimasi, di mana dari sekian banyak alternatif rute yang mungkin, perlu ditentukan satu atau beberapa rute terbaik yang mampu meminimalkan biaya. Riset operasi memungkinkan masalah tersebut diterjemahkan ke dalam model matematis sehingga solusi dapat dicari secara sistematis.

## **Formulasi Model**

Model direpresentasikan pada graf berarah  $G = (V, A)$  dengan  $V = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ , di mana indeks 0 menyatakan gudang pusat dan indeks 1 hingga  $n$  menyatakan cabang, serta  $n = 17$ . Fungsi tujuan meminimalkan total biaya distribusi:

$$\text{Minimumkan } Z = \sum C(R) \quad (1)$$

Biaya satu rute dihitung mengikuti skema tarif tujuan, yaitu cabang dengan tarif berangkat tertinggi dibayar penuh sedangkan cabang lain dikenakan 60 persen dari tarifnya masing-masing:

$$C(R) = \max(T_i) + 0,6 \times \sum T_i, \quad i \in R, i \neq \max \quad (2)$$

Untuk rute yang melayani satu cabang berlaku  $C(R) = T_i$ . Karena penentu tarif penuh adalah nilai tarif tertinggi dan bukan posisi cabang dalam rute, maka biaya rute tidak berubah walaupun urutan kunjungan diubah. Penghematan biaya sepenuhnya berasal dari keputusan penggabungan cabang, bukan dari penyusunan urutannya.

Terdapat batasan-batasan yang digunakan diformulasikan dalam model sebagai berikut

### **a. Kendala Kunjungan Tunggal**

Setiap gudang cabang dikunjungi tepat satu kali oleh satu kendaraan:

$$\sum_k \sum_j X_{ijk} = 1, \quad \text{untuk setiap } i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

### **b. Kendala Kontinuitas Rute**

Kendaraan yang memasuki suatu node harus meninggalkan node tersebut, sehingga rute tidak terputus:

$$\sum_i X_{ihk} - \sum_j X_{hjk} = 0, \quad \text{untuk setiap } h \text{ dan setiap } k \quad (4)$$

### **c. Kendala Keberangkatan dari Gudang Pusat**

Setiap kendaraan berangkat dari gudang pusat paling banyak satu kali:

$$\sum_j X_{0jk} \leq 1, \quad \text{untuk setiap } k \quad (5)$$

### **d. Kendala Kapasitas Dua Tingkat**

Total permintaan seluruh cabang dalam satu rute tidak boleh melampaui kapasitas kendaraan yang ditugaskan:

$$\sum_{i \in R} q_i \leq Q_k, \quad Q_k \in \{QS, QB\} \quad (6)$$

## **e. Kendala Time Window Antar Cabang**

Akumulasi waktu kirim antar cabang beserta waktu pelayanan tidak boleh melampaui batas waktu kerja:

$$T(R) = \sum_{i=1..m-1} t(C_i, C_{i+1}) + s \cdot m \leq W \quad (7)$$

## **f. Kendala Segregasi Jenis Armada**

Cabang yang wajib dilayani armada besar tidak dapat digabungkan dalam satu rute dengan cabang yang hanya dapat menerima armada standar:

$$b_i = b_j, \quad \text{untuk setiap } i, j \in R \quad (8)$$

Kendala (8) tidak terdapat pada formulasi CVRPTW baku. Kendala ini diturunkan dari kondisi lapangan berupa keterbatasan area bongkar pada sebagian cabang, dan merupakan salah satu unsur kebaruan penelitian.

## **g. Kendala Variabel Keputusan**

Variabel keputusan bersifat biner dan variabel bantu bersifat non-negatif:

$$X_{ijk} \in \{0, 1\}; \quad u_i \geq 0, \quad \text{untuk setiap } i, j, k \quad (8a)$$

Dalam menentukan rute dipakai algortima saving dan menentukan efisiensi dilakukan perhitungan yang dijelaskan dalam model sebagai berikut :

### **a. Nilai Savings**

Nilai savings menyatakan besarnya penghematan jarak apabila cabang i dan cabang j yang semula dilayani dua rute terpisah digabungkan ke dalam satu rute:

$$S_{ij} = d_{0i} + d_{0j} - d_{ij} \quad (9)$$

Karena matriks jarak bersifat asimetris, nilai  $d_{ij}$  yang digunakan pada persamaan (9) merupakan rata-rata kedua arah, yaitu  $(d_{ij} + d_{ji}) \div 2$ , agar peringkat nilai savings bersifat konsisten dan tidak berubah bergantung arah pembacaan.

### **b. Jarak dan Waktu Tempuh Rute**

Jarak tempuh suatu rute dengan urutan kunjungan  $(0, c_1, c_2, \dots, c_m, 0)$  dihitung sebagai:

$$d(R) = d(0, c_1) + \sum_{i=1}^{m-1} d(c_i, c_{i+1}) + d(c_m, 0) \quad (10)$$

Adapun total waktu perjalanan dari gudang pusat dihitung sebagai berikut, dan digunakan sebagai informasi pendukung, bukan sebagai kendala:

$$T_{total}(R) = t(0, c_1) + \sum t(c_i, c_{i+1}) + t(c_m, 0) + s \cdot m \quad (11)$$

### **c. Eliminasi Sub-tour pada Penyusunan Urutan Kunjungan**

Penyusunan urutan kunjungan di dalam setiap rute diselesaikan sebagai permasalahan Traveling Salesman Problem berskala kecil dengan fungsi tujuan meminimalkan  $d(R)$ . Untuk mencegah terbentuknya sub-tour digunakan kendala Miller-Tucker-Zemlin:

$$u_i - u_j + m \cdot X_{ij} \leq m - 1, \quad \text{untuk setiap } i \neq j, i, j \neq 0 \quad (12)$$

### **d. Efisiensi Biaya**

Efisiensi dihitung dengan membandingkan total biaya kondisi eksisting terhadap total biaya hasil optimasi:

$$\Delta C = C_{eksisting} - C_{optimasi} \quad (13)$$

$$Efisiensi (\%) = [(C_{eksisting} - C_{optimasi}) \div C_{eksisting}] \times 100\% \quad (14)$$

### **Tahapan Analisis**

Analisis dilaksanakan melalui delapan tahap sesuai alur penelitian. Tahap pertama adalah analisis kondisi eksisting untuk memperoleh baseline jarak, waktu, dan biaya. Tahap kedua adalah penyusunan model CVRPTW beserta fungsi tujuan dan kendalanya. Tahap ketiga adalah penyusunan input data ke dalam model, mencakup matriks jarak, matriks waktu, permintaan, kapasitas, dan tarif. Tahap keempat adalah komputasi menggunakan Excel Solver, yang mencakup perhitungan nilai savings dengan persamaan  $S_{ij} = d_{0i} + d_{0j} - d_{ij}$ , pengurutan nilai savings, dan pembentukan rute melalui pengujian kendala kapasitas, waktu, serta segregasi armada, dilanjutkan optimasi urutan kunjungan dengan solver. Tahap kelima adalah analisis hasil rute optimasi. Tahap keenam adalah perbandingan kondisi eksisting dengan hasil optimasi. Tahap ketujuh adalah penghitungan efisiensi biaya. Tahap kedelapan adalah analisis implikasi operasional dan kepatuhan Cara Distribusi Obat yang Baik, yang dilakukan melalui penurunan parameter dari regulasi, penyusunan matriks implikasi perubahan rute, verifikasi melalui checklist pemeriksaan, dan triangulasi dengan keterangan informan.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Kondisi Distribusi yang Berjalan**

Hasil wawancara menunjukkan bahwa alur distribusi di perusahaan ini sebenarnya sudah tertata. Proses dimulai dari permintaan cabang, dilanjutkan pengecekan ketersediaan barang, penyiapan barang melalui picking dan checking dengan prinsip FEFO, pemeriksaan dokumen, loading kendaraan, pengiriman, hingga penerimaan dan pencatatan di cabang. Pembagian dalam proses sudah dilakukan sesuai tugas pokok permasing-masing bagian. Problem yang muncul muncul bukan berasal dari prosedur pengiriman yang belum dibuat, melainkan pada dasar pengambilan rute yang dilakukan.

Terdapat beberapa kendala yang diketahui dari adanya wawancara. Penentuan rute selama ini bertumpu pada pengalaman lapangan dengan pengiriman langsung ke masing-masing cabang. Namun pertimbangan tersebut tidak disusun dalam satu perhitungan yang menggabungkan seluruh variabel secara bersamaan. Akibatnya, seluruh cabang dilayani sebagai pengiriman langsung tanpa penggabungan, sehingga tercatat tujuh belas rute untuk tujuh belas cabang. Keterbatasan mengenai area bongkar, diketahui bahwa untuk area selain Sidoarjo dan Semarang tidak mengakomodir untuk dilakukan pengiriman produk dengan kendaraan lebih dari 4.000 kg. Hal ini memperngaruhi terhadap permodelan dan MOQ dari penetapan kendaraan untuk pengiriman barang.

Perhitungan pada operasional eksisting menunjukkan bahwa rute eksisting sebanyak 17 rute direct menempuh total jarak 11.865,5 km dengan total waktu tempuh 10.398 menit dan total tarif berangkat sebesar Rp103.800.000 per siklus. Apabila diproyeksikan pada frekuensi pengiriman tahunan, estimasi biaya mencapai Rp2.739.000.000. Angka tersebut belum memperhitungkan waktu loading, antrean, dan proses administratif di cabang, sehingga durasi operasional yang sebenarnya lebih panjang daripada yang tercatat.

### ***Rute Hasil Optimasi***

Penerapan model CVRPTW menghasilkan sembilan rute, terdiri atas tujuh rute gabungan dan dua rute tunggal. Susunan rute selengkapnya disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Rute Hasil Optimasi Model CVRPTW**

| No | Rute                | Jumlah Cabang | Muatan (kg) | Keterangan |
|----|---------------------|---------------|-------------|------------|
| 1  | GP1-CRB-BDG-GP1     | 2             | 3.486       | Gabungan   |
| 2  | GP1-JK1-TGR-SRG-GP1 | 3             | 3.612       | Gabungan   |
| 3  | GP1-JK2-BGR-GP1     | 2             | 3.878       | Gabungan   |
| 4  | GP1-JOG-GP1         | 1             | 2.660       | Tunggal    |
| 5  | GP1-SKT-MDN-GP1     | 2             | 3.989       | Gabungan   |

| No | Rute            | Jumlah Cabang | Muatan (kg) | Keterangan                 |
|----|-----------------|---------------|-------------|----------------------------|
| 6  | GP1-MLG-JMR-GP1 | 2             | 3.798       | Gabungan                   |
| 7  | GP1-PWT-GP1     | 1             | 2.902       | Tunggal                    |
| 8  | GP1-SMG-SDJ-GP1 | 2             | 7.998       | Gabungan, kapasitas khusus |
| 9  | GP1-TSM-BKS-GP1 | 2             | 3.466       | Gabungan                   |

Rute dengan tiga cabang hanya terbentuk satu, yaitu rute yang melayani Jakarta 1, Tangerang, dan Serang. Terbentuknya rute ini dapat dijelaskan melalui dua tahap penggabungan. Pasangan Tangerang dan Serang memiliki nilai penghematan tertinggi sebesar 89,2 km dan lolos pengujian kapasitas maupun waktu. Jakarta 1 kemudian disisipkan dengan nilai penghematan 54,1 km, menghasilkan muatan gabungan 3.612 kg. Setelah itu tidak ada cabang lain yang dapat masuk, karena sisa kapasitas tinggal 388 kg sementara permintaan cabang terkecil yang tersisa sebesar 801 kg. Pola ini memperlihatkan bahwa kendala yang mengikat pada jaringan ini adalah kapasitas kendaraan, bukan batas waktu.

Dua cabang dipertahankan sebagai rute tunggal dengan alasan yang berbeda. Yogyakarta dan Purwokerto memiliki permintaan yang cukup besar disertai waktu tempuh panjang, sehingga penggabungan justru berisiko menggeser waktu kedatangan melewati batas penerimaan cabang. Sementara itu, Semarang dan Sidoarjo digabungkan dalam satu rute tersendiri dengan kendaraan berkapasitas lebih besar, karena permintaan Semarang sendiri sudah melampaui kapasitas kendaraan standar 4.000 kg. Keputusan ini sekaligus menyesuaikan keterbatasan area bongkar di cabang lain yang tidak dapat menerima kendaraan besar.

### ***Efisiensi yang Diperoleh***

Perbandingan kondisi eksisting dan hasil optimasi disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3. Perbandingan Kondisi Eksisting dan Hasil Optimasi**

| Indikator                   | Eksisting     | Optimasi      | Efisiensi |
|-----------------------------|---------------|---------------|-----------|
| Jumlah rute                 | 17            | 9             | 47,06%    |
| Total jarak (km)            | 11.865,5      | 7.989,3       | 32,67%    |
| Total waktu tempuh (menit)  | 10.398        | 7.196         | 30,79%    |
| Biaya per siklus (Rp)       | 103.800.000   | 86.920.000    | 16,26%    |
| Estimasi biaya tahunan (Rp) | 2.739.000.000 | 2.524.600.000 | 16,26%    |

Temuan yang paling menarik dari Tabel 2 justru terletak pada ketidaksebandingan antarindikator. Jumlah rute berkurang 47,06 persen, tetapi biaya hanya turun 16,26 persen. Selisih ini penting untuk dibaca secara cermat, karena menunjukkan bahwa penghematan biaya pada distribusi farmasi tidak berbanding lurus dengan pengurangan jumlah perjalanan. Biaya pengiriman pada perusahaan ini tidak murni berbasis jarak tempuh, melainkan mengikuti tarif tujuan yang terikat pada minimum order quantity dan lead time masing-masing cabang.

Implikasi dari temuan ini cukup praktis. Perusahaan yang hendak menerapkan optimasi rute sebaiknya tidak menjadikan pengurangan jumlah perjalanan sebagai indikator tunggal keberhasilan. Penghematan yang benar-benar terealisasi bergantung pada seberapa besar porsi biaya yang bersifat variabel terhadap jarak, dibandingkan porsi yang terkunci pada tarif tetap per tujuan. Pada jaringan dengan struktur tarif berbasis tujuan seperti ini, negosiasi ulang skema tarif untuk rute gabungan berpotensi memberi dampak yang tidak kalah besar dibandingkan optimasi rutenya sendiri.

Perlu ditegaskan pula bahwa efisiensi yang diperoleh tidak berasal dari pengurangan layanan. Seluruh tujuh belas cabang tetap dilayani dengan frekuensi yang sama. Penghematan sepenuhnya berasal dari penataan ulang rute, yaitu penggabungan cabang yang memang masih memenuhi seluruh kendala serta penyusunan urutan kunjungan yang lebih efisien

Hasil optimasi rute menunjukkan bahwa pendekatan CVRPTW dapat memberi perbaikan pada sistem distribusi produk farmasi dari GP1 ke cabang. Perbaikan tersebut terlihat dari berkurangnya jumlah rute, total jarak, total waktu tempuh, dan total biaya. Pada kondisi eksisting, distribusi dibaca melalui 17 rute langsung. Setelah dilakukan optimasi, rute dapat disusun menjadi 11 rute. Perubahan ini menunjukkan bahwa sebagian cabang masih dapat digabung dalam satu perjalanan selama kapasitas, waktu tempuh, time windows, service time, dan kelayakan CDOB tetap dipenuhi.

### ***Implikasi Operasional***

Konsolidasi rute membawa konsekuensi yang tidak seluruhnya positif. Rute multi-tujuan menuntut ketertiban lebih tinggi pada penyiapan barang, karena muatan harus disusun berdasarkan urutan cabang agar barang yang diturunkan lebih awal mudah diakses. Kesalahan penyusunan muatan pada rute tunggal hanya berdampak pada satu titik, sedangkan pada rute gabungan dampaknya merambat ke cabang berikutnya. Tingkat utilisasi kapasitas berkisar antara 86,6 hingga 99,7 persen, yang baik dari sisi efisiensi namun berarti hampir tidak tersedia ruang cadangan apabila terjadi penambahan permintaan mendadak.

### ***Implikasi terhadap Kepatuhan Cara Distribusi Obat yang Baik***

Analisis kepatuhan dilakukan dengan menurunkan parameter dari Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 20 Tahun 2025 pada bagian yang mengatur transportasi dan penyerahan, kemudian memetakan perubahan rute terhadap parameter tersebut. Hasil pemetaan disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 4. Matriks Implikasi Perubahan Rute terhadap Parameter CDOB**

| Rute           | Parameter CDOB Terdampak               | Arah Dampak                                            | Tingkat Risiko |
|----------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------|
| R2 JK1-TGR-SRG | Ketepatan waktu, dokumentasi, personel | Cabang ketiga berisiko tiba mendekati batas penerimaan | Tinggi         |
| R5 SKT-MDN     | Sarana angkut, suhu, keamanan          | Utilisasi 99,7 persen sehingga ruang muat sangat padat | Tinggi         |
| R6 MLG-JMR     | Suhu, personel                         | Durasi perjalanan melampaui satu shift kerja           | Tinggi         |
| R8 SMG-SDJ     | Sarana angkut, suhu, personel          | Perubahan jenis armada dan perjalanan panjang          | Tinggi         |
| R1, R9         | Suhu, dokumentasi                      | Bertambahnya titik serah terima                        | Sedang         |
| R3, R4, R7     | Dokumentasi                            | Perubahan terbatas atau tidak berubah                  | Rendah         |

*Sumber: hasil analisis, 2026*

Pemetaan tersebut menunjukkan bahwa perubahan rute tidak menimbulkan pelanggaran ketentuan secara langsung, tetapi menambah beban kepatuhan pada empat parameter. Pertama, pengendalian suhu, karena rute gabungan memperpanjang durasi produk berada dalam kendaraan dan menambah frekuensi buka-tutup pintu. Kedua, ketepatan waktu penerimaan, karena cabang yang dilayani pada urutan terakhir berisiko tiba mendekati batas akhir penerimaan. Ketiga, dokumentasi dan ketertelusuran, karena rute gabungan menghasilkan lebih dari satu titik serah terima sehingga dokumen harus dipisahkan per tujuan. Keempat, kualifikasi dan waktu kerja pengemudi, khususnya pada rute jarak jauh yang melampaui satu shift kerja apabila dihitung dari keberangkatan gudang pusat.

Verifikasi dilakukan menggunakan checklist pemeriksaan yang memuat lima belas butir pada lima kelompok parameter, dengan pembobotan kritis dan mayor. Butir berbobot kritis yang dinilai tidak sesuai menyebabkan rute dinyatakan belum layak dilaksanakan sebelum dilakukan penyesuaian, terlepas dari besarnya penghematan biaya

yang ditawarkan. Dengan demikian, efisiensi yang dihasilkan model tidak diperoleh dengan mengorbankan kepatuhan, sepanjang pengendalian yang direkomendasikan dijalankan. Hasil optimasi karena itu lebih tepat diposisikan sebagai alat bantu pengambilan keputusan yang dibatasi ketentuan Cara Distribusi Obat yang Baik, bukan sebagai keputusan final yang semata-mata berorientasi pada biaya terendah.

### ***Keterbatasan Penelitian***

Penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan yang perlu disampaikan. Data yang digunakan bersifat cross-sectional pada satu periode, sehingga fluktuasi permintaan antarperiode belum tercermin dalam model. Waktu layanan di cabang diperlakukan sebagai nilai tetap, padahal wawancara menunjukkan bahwa durasi penerimaan bervariasi menurut volume dan kesiapan masing-masing cabang. Metode savings algorithm yang digunakan juga tidak menjamin solusi optimal global, sehingga terbuka kemungkinan bahwa pendekatan metaheuristik menghasilkan susunan rute yang lebih baik. Terakhir, penghitungan efisiensi tahunan bersifat proyeksi indikatif yang mengasumsikan frekuensi pengiriman tetap sesuai baseline, sehingga angkanya perlu diperbarui apabila pola permintaan berubah.

### **KESIMPULAN**

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis sistem distribusi, mengevaluasi, dan mengoptimalkan rute pengiriman dari operasional PT DFO dengan menggunakan metode CVRPTW sehingga didapatkan penghematan terhadap biaya transportasi serta diketahui implikasi hasil optimasi terhadap kepatuhan CDOB. Berdasarkan hasil analisis diketahui hasil dari penelitian sebagai berikut

1. Kondisi eksisting distribusi produk farmasi dari gudang pusat GP1 ke cabang PT DFO wilayah Pulau Jawa dapat disimpulkan sudah memiliki alur kerja yang jelas. Proses distribusi diawali dari permintaan cabang. Setelah itu dilakukan pengecekan ketersediaan barang, penyiapan barang di gudang pusat, pemeriksaan dokumen, loading kendaraan, pengiriman ke cabang, penerimaan barang, pemeriksaan fisik, dan pencatatan ke dalam sistem. Kegiatan distribusi dilakukan oleh beberapa fungsi kerja sesuai dengan tugas pokok per masing-masing jabatan, seperti bagian logistik, administrasi, supervisor, pengemudi, dan penanggung jawab CDOB.
2. Berdasarkan rumusan masalah ketiga, model optimasi rute distribusi yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah model CVRPTW yang disusun dari data aktual distribusi PT DFO wilayah Pulau Jawa. Cabang yang dianalisis meliputi BDG, BGR, BKS, CRB, JK1, JK2, JMR, JOG, MDN, MLG, PWT, SDJ, SKT, SMG, SRG, TGR, dan TSM. Dalam model yang digunakan, kapasitas kendaraan ditempatkan sebagai batas awal. Total demand dalam satu rute tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan. Pada data pengolahan, kapasitas

rujukan yang digunakan adalah 4.000 kg dan 10.000 kg hanya untuk Semarang dan Sidoarjo. Time windows juga menjadi bagian penting dalam model. Kendaraan harus tiba dalam rentang waktu layanan cabang. Dilakukan perhitungan Matriks savings terhadap penghematan jarak dan dilakukan pengurutan dari nilai savings terbesar ke kecil dari penggabungan rute yang dilakukan. Berdasarkan hasil pengolahan terhadap parameter kapasitas, waktu dan urutan savings, model CVRPTW menghasilkan sembilan rute optimasi. Rute tersebut terdiri dari beberapa rute gabungan dan beberapa rute tunggal. Rute gabungan yang terbentuk antara lain GP1-CRB-BDG-GP1, GP1-JK1-TGR-SRG-GP1, GP1-JK2-BGR-GP1, GP1-SKT-MDN-GP1, GP1-MLG-JMR-GP1, GP1-SMG-SDJ-GP1 dan GP1-TSM-BKS-GP1. Sementara itu, beberapa cabang tetap dipertahankan sebagai rute tunggal yaitu JOG, dan PWT.

3. Berdasarkan rute optimasi, penelitian menunjukkan penerapan model CVRPTW memberikan potensi efisiensi biaya transportasi. Efisiensi dilihat dari pengurangan jumlah rute dari 17 menjadi 9 rute, terdapat pengurangan 8 rute sebanyak 47,06 persen. Dari sisi jarak tempuh, total jarak eksisting mencapai 11.865,5 km menjadi 7.989,3 km. Selisih jarak dapat ditekan sebesar 3.786,2 km, dengan persentase 32,67 persen. Dari sisi waktu tempuh, kondisi eksisting menunjukkan total waktu 10.398 menit, dengan optimasi menjadi 7.196 menit. Selisih waktu tempuh dapat ditekan sebesar 3.202 menit, dengan persentase efisiensi sebesar 30,79 persen. Dari sisi biaya, total biaya rute eksisting sebesar Rp 103.800.000 per siklus menjadi Rp 86.920.000 setelah dilakukan optimasi. Selisih biaya yang diperoleh sebesar Rp 16.880.000 per siklus, dengan persentase efisiensi biaya sebesar 16,26 persen. Apabila persentase efisiensi tersebut digunakan sebagai proyeksi indikatif terhadap estimasi biaya tahunan eksisting sebesar Rp2.739.000.000, maka potensi penghematan tahunan dapat diperkirakan sekitar Rp225.200.000.
4. Berdasarkan rumusan masalah kelima, hasil optimasi rute distribusi memberikan implikasi langsung terhadap aspek operasional distribusi dan kepatuhan CDOB. (1) Rute yang dipilih harus tetap menjaga ketertelusuran produk dari GP1 sampai cabang, dengan menjamin operasional tidak membiarkan terjadi kesalahan dalam distribusi karena penggabungan rute. (2) Waktu pengiriman antar cabang masih dibawah 480 menit, sehingga penerimaan bisa dilakukan oleh apoteker penaggung jawab dalam waktu kerja. (3) Penyesuaian terhadap kapasitas kendaraan dengan kondisi cabang, sebagai adaptasi terhadap keterbatasan area bongkar-muat masing-masing cabang. (4) Penggabungan rute akan menambah waktu tempuh, sehingga diperlukan mapping suhu kendaraan pada rute jarak jauh.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa penggunaan metode CVRPTW bisa menjadi solusi strategis dalam mengoptimalkan biaya transportasi pada distribusi

produk farmasi dengan diketahui proses yang perlu ditindaklanjuti dalam kepatuhan secara CDOB

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman, Z. (2025). *ALGORITMA SIMULATED ANNEALING UNTUK MINIMASI BIAYA DALAM VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH PICKUP AND DELIVERY WITH TIME WINDOWS DENGAN OVERFLOW WAREHOUSE (Studi Kasus: PT. Pos Logistik Indonesia)*. 1–85.
- Agusfiant, N. P., Andayani, S. U., Sihombing, A. L., Setiawan, A., Amelia, D., Gunawan, C., Indraswati, T. D., Wati, K. M., & Annuridya. (2023). *PENGANTAR BISNIS (RESPONS DINAMIKA ERA DIGITAL)*.
- Aini, S. B., Z, A. P., Annisa, A., Suci, Q. P., & Tanjung, A. A. (2024). Optimasi Biaya Transportasi Pengiriman Air Minum Kemasan Pada Pt Tirta Sari Sumber Murni. *Journal of Management and Innovation Entrepreneurship (JMIE)*, 1(2), 54–61. <https://doi.org/10.59407/jmie.v1i2.304>
- Al-Breiki, M., & Bicer, Y. (2025). *Sustainable Energy Carriers for Energy Storage and Transport: Exploring Advanced Solutions for a Green Future*. Springer Nature Switzerland. <https://books.google.co.id/books?id=NhyBEQAAQBAJ>
- Anansyah, M. D. A., Hindratmo, A., Octavia, W., & Dewi, F. G. (2024). Gudang Baru Menggunakan Metode Center of Gravity ( Cog ). *The Journal of System Engineering and Technological Innovation (JISTI)*, 03(01), 205–214.
- Anshori, M. Y., & Herlambang, T. (2025). *Manematik Mengelola Bisnis dengan Logika Angka dan Strategi*. Deepublish. [https://books.google.co.id/books?id=1hB\\_EQAAQBAJ](https://books.google.co.id/books?id=1hB_EQAAQBAJ)
- Arnelia, J., & Maulani, A. (2026). *Optimasi Rute Distribusi Layanan Vaksin Kabupaten pada Graf Lengkap*. 6(1), 79–87.
- Astuti, Y. D., & Normasari, N. M. (2022). Optimisasi Distribusi Pada Logistik Rantai Dingin: Tinjauan Pustaka. *Prosiding Snast, November*, 104–114. <https://ejournal.akprind.ac.id/index.php/snast/article/view/4140%0Ahttps://ejournal.akprind.ac.id/index.php/snast/article/download/4140/2945>
- Azahra, M., & Habiburrohman, M. (2025). MINIMASI BIAYA BBM PADA DISTRIBUSI OBAT MENGGUNAKAN METODE CLARKE WRIGHT SAVINGS HEURISTIC DAN NEAREST NEIGHBOR. *Jurnal Ilmiah Matematika*, 13(2), 198–199. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/mathunesa/article/view/64649>
- Azizah, D. N. (2025). Penyelesaian Capacitated Vehicle Routing Problem With Time Windows Dengan Metode Mixed Integer Linear Programming Pada Distribusi Obat Di Upkf Banyumas. *Journal of Systems Engineering and Management*, 4(1), 26. <https://doi.org/10.62870/joseam.v4i1.32073>
- Baisya, R. (2024). *Supply Chain and Logistics Management: An Integrated Approach*. Taylor & Francis. <https://books.google.co.id/books?id=tVYIEQAAQBAJ>

- Budi Halomoan Siregar, S. P., & Dr. Abil Mansyur, S. S. (2021). *Program Linier dan Aplikasinya Pada Berbagai Software*. Bumi Aksara. [https://books.google.co.id/books?id=JIY\\_EAAAQBAJ](https://books.google.co.id/books?id=JIY_EAAAQBAJ)
- Chakim, M. H. R., Septiani, S., Hadikusumo, R. A., Noerhatini, P., Nusantara, H., Sandira, N. F. A., Nalibratawati, R., Sarah, N., & Sugeng Susanto, S. E. M. M. (2025). *MANAJEMEN DISTRIBUSI: Strategi, Logistik, dan Inovasi*. Sada Kurnia Pustaka. <https://books.google.co.id/books?id=tWeBEQAAQBAJ>
- Cuvelier, T., Didier, F., Furnon, V., Gay, S., Mohajeri, S., Cuvelier, T., Didier, F., Furnon, V., Gay, S., Mohajeri, S., Vehicle, O., Cuvelier, T., Didier, F., Furnon, V., Gay, S., Mohajeri, S., & Perron, L. (2023). *OR-Tools ' Vehicle Routing Solver : a Generic Constraint-Programming Solver with Heuristic Search for Routing Problems To cite this version : HAL Id : hal-04015496 OR-Tools ' Vehicle Routing Solver : a Generic Constraint- Programming Solver with Heuristic Search for Routing Problems*. 4–6.
- Devani, V., & Sari, A. M. (2025). *OPTIMASI RUTE TERPENDEK JALUR DISTRIBUSI OBAT-OBATAN DENGAN METODE TRAVELING SALESMAN PROBLEM ALGORITMA TABU SEARCH*. 13(2), 137–147.
- Dewi, D. S., & Asmungi. (2023). Penentuan Rute Distribusi Pengiriman Hemodialisa Pack Untuk Menurunkan Biaya dan Waktu Pengiriman Dengan Menggunakan Metode Vehicle Routing Problems. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Sistem Industri*, 2(2), 107–114. <https://doi.org/10.56071/jtmsi.v2i2.614>
- Di Francesco, M., Gorgone, E., Manca, B., & Zanda, S. (2025). *Operations Research: Closing the Gap Between Research and Practice: International Conference on Optimization and Decision Science (ODS), Badesi, Italy, September 8-12, 2024*. Springer Nature Switzerland. <https://books.google.co.id/books?id=xWuOEQAAQBAJ>
- Dönmez, O. A., & Öner, E. (2024). Optimizing Ready-Mixed Concrete Transportation By a Truck Mixer Routing Model for Concrete Plants. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 12(4), 802–820. <https://doi.org/10.21923/jesd.1445781>
- Dornemann, J. (2023). Solving the capacitated vehicle routing problem with time windows via graph convolutional network assisted tree search and quantum-inspired computing. *Frontiers in Applied Mathematics and Statistics*, 9. <https://doi.org/10.3389/fams.2023.1155356>
- DR. D. Sc. Drs. Sunarno SastroAtmodjo, A. P., Abdullah Ade Suryobuwono, S. S., Prof. Dr. Ir. Prasadja Ricardianto, M. M., Dr. Sita Anisah Sholihah, S. S., Dr. Yuliantini, A. M. M., Dr. Ir. Edhie Budi Setiawan, M. M. C., Dr. Nelmida, S. E., Dr. Kamsariaty, S. E., Dr. Ir. Eduard Alfian Syamsya Sijabat, M. M., & Dr. Ir. Sofwan Farisyi, M. M. (2025). *Manajemen Transportasi*. CV Eureka Media Aksara. <https://books.google.co.id/books?id=E8qREQAAQBAJ>
- Ekayanti, E., Sugianto, & Efendi, I. B. (2024). Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) with Sweep and Nearest Neighbor Algorithm. *Sinergi International Journal of Logistics*, 2(1), 17–29. <https://doi.org/10.61194/sijl.v2i1.187>

- Elviana, R., Zahrina, N., & Elfianti, F. (2025). *Strategi Efektif Manajemen Logistik Kesehatan dalam Pengadaan Obat di Instalasi Farmasi Pelayanan Kesehatan Strategic Optimization of Health Logistics Management for Drug Procurement in Pharmaceutical*. 03.
- Evary, S. N., Abusini, S., & Muslikh, M. (2025). A Hybrid Sweep-Nearest Neighbor-Tabu Search Approach for CVRP in FMCG Route Distribution. *CAUCHY: Jurnal Matematika Murni Dan Aplikasi*, 10(2), 875–889. <https://doi.org/10.18860/cauchy.v10i2.35953>
- Golden, B., Wang, X., & Wasil, E. (2023). *The Evolution of the Vehicle Routing Problem: A Survey of VRP Research and Practice from 2005 to 2022*. Springer Nature Switzerland. <https://books.google.co.id/books?id=o9WkEAAAQBAJ>
- Goyal, S. B., Pradeep, N., Shukla, P. K., Ghonge, M. M., & Ravi, R. V. (2022). *Utilizing Blockchain Technologies in Manufacturing and Logistics Management*. IGI Global. <https://books.google.co.id/books?id=-txeEAAAQBAJ>
- Grimm, J. (2025). *Dial-A-Ride Problems in Transportation Service*. Springer Nature Switzerland. <https://books.google.co.id/books?id=U5I9EQAAQBAJ>
- Hevlie, W., Nazry, S., Riza, F., Rizky, F., Gultom, Z. A., Haris, M., Debora, M., & Barus, B. (2025). Model optimasi rute transportasi berbasis pemrograman linear. *Jurnal Sistem Informasi Triguna Dharma (JURSI TGD)*, 4(1), 75–81. <https://ojs.trigunadharma.ac.id/index.php/jsi>
- Hidayat, P., Winarno, & Wahyudin. (2023). Penentuan Rute Distribusi Feasible untuk Vehicle Routing Problem with Time Windows dengan Metode Sequential Insertion Pada CV. Hagia Mitra Mandiri. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(1), 7853–7863. <https://doi.org/10.32672/jse.v9i1.772>
- Hudananjaya, A., Adhitya, E., & Tinon, R. (2026). *ANALISIS OPTIMALISASI EFEKTIVITAS DAN EFISIENSI BIAYA OBAT KEMOTERAPI MAMMAE STADIUM LANJUT DIRS HERMINA BEKASI PERIODE JANUARI - JUNI*. 10(1), 45–51.
- Hulu, N., Lokot Muda Harahap, Sendy Marbun, Devi Adinda Putri, Marke Manik, & Kasah Sigalingging. (2025). Efisiensi Distribusi melalui Optimasi Biaya dan Jarak dengan Pendekatan Metode Transportasi. *ECONOBIS: Journal of Economics, Business and Management*, 1(1), 1–5. <https://jurnal.larisma.or.id/index.php/ECONOBIS/article/view/937>
- James, J. J., Nugroho, A. J., & Yogyakarta, U. T. (2024). *Vehicles Routing Problem*. 3, 60–73.
- Jayarathna, D. G. N. D., Lanel, G. H. J., & Juman, Z. A. M. S. (2022). Industrial vehicle routing problem: a case study. *Journal of Shipping and Trade*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s41072-022-00108-7>
- Jufri, M., & Rodiyah, A. (2025). Optimasi Distribusi Pengiriman Paket Menggunakan Metode Simpleks Transportasi Berbantuan Solver Microsoft Excel (Studi Kasus J&T Express Cabang Sampang). *Journal of Advanced Informatics and Sustainable Intelligent Systems*, 1(1).
- Juwita, O. V., Christata, B. R., & Primadasa, R. (2026). *Optimasi Rute Distribusi Produk Menggunakan Algoritma Clarke and Wright Saving Heuristic dan Algoritma Evolutionary*

( *Studi Kasus PT. XYZ* ). 8(1), 78–88.

Kasaetip, K., Yu, W., Wang, C., & Zealand, N. (2023). *Dynamic Routing and Scheduling Optimization for Cold Chain Vehicles in Vaccine Distribution Networks* †. 2023(4).

Kasim, F. (2024). *RENCANA INDUK SISTEM PENYEDIAAN AIR MINUM (RISPAM); Pedoman Strategis dan Implementasi*. Nas Media Pustaka.  
<https://books.google.co.id/books?id=hOwREQAAQBAJ>

Kirana, N. L. (2025). Minimasi Jarak Dan Keterlambatan Pada Kasus Capacitated Vrp With Time Window Menggunakan Nearest Insertion Dan Genetic Algorithm ( *Studi Kasus : Pt Pos Logistik Indonesia* ). 1, 8.

Kurniawan, S., Kushariyadi, K., Thamrin, J. R., Efitra, E., & Safitri, N. (2024). *Buku Ajar Manajemen Rantai Pasok*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.  
<https://books.google.co.id/books?id=o8UREQAAQBAJ>

Leeman, J. J. A. (2020). *Supply Chain Management: Fast, flexible Supply Chain in Manufacturing and Retailing -2nd edition-*. Books on Demand.  
<https://books.google.co.id/books?id=0Gj7DwAAQBAJ>

Li, M., Shi, Y., & Li, M. (2023). Solving the Vehicle Routing Problem for a Reverse Logistics Hybrid Fleet Considering Real-Time Road Conditions. *Mathematics*, 11(7).  
<https://doi.org/10.3390/math11071659>

Mamoun, K. A., Hammadi, L., Ballouti, A. El, Novaes, A. G. N., & Cursi, E. S. De. (2024). Vehicle Routing Optimization Algorithms for Pharmaceutical Supply Chain: A Systematic Comparison. *Transport and Telecommunication*, 25(2), 161–173.  
<https://doi.org/10.2478/ttj-2024-0012>

Maroof, A., Ayyaz, B., & Naeem, K. (2024). Logistics Optimization Using Hybrid Genetic Algorithm (HGA): A Solution to the Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW). *IEEE Access*, 12(February), 36974–36989.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3373699>

Marpaung, J. D. F. B., Silalahi, F. T. R., & Manurung, N. M. (2025). *OPTIMALISASI RUTE DISTRIBUSI MENGGUNAKAN METODE ELSAK ALGORITMA BRANCH AND BOUND*. 13(1), 63–75.

Martono, R. V. (2023). *Manajemen Logistik (Edisi Revisi)*. Gramedia Pustaka Utama.  
[https://books.google.co.id/books?id=P\\_L4EAAAQBAJ](https://books.google.co.id/books?id=P_L4EAAAQBAJ)

Megow, N., & Basu, A. (2025). *Integer Programming and Combinatorial Optimization: 26th International Conference, IPCO 2025, Baltimore, MD, USA, June 11–13, 2025, Proceedings*. Springer Nature Switzerland. <https://books.google.co.id/books?id=7tNkEQAAQBAJ>

Muindi, M. S., Noor, D., & Shale-Phd, I. (2025). LOGISTICS OPTIMIZATION AND PERFORMANCE OF PHARMACEUTICAL FIRMS IN NAIROBI CITY COUNTY, KENYA Background of the Study. *Int Journal of Social Sciences Management and Entrepreneurship*, 9(1), 223–237.  
[www.sagepublishers.com](http://www.sagepublishers.com)

Ningrum, K. F., Iswandi, I., & Untari, M. K. (2023). Evaluasi Penyaluran Vaksin Sesuai Standar

- CDOB (Cara Distribusi Obat yang Baik). *Journal Syifa Sciences and Clinical Research*, 4(3), 644–651. <https://doi.org/10.37311/jsscr.v4i3.15644>
- Novelan, M. S., Efendi, S., Sihombing, P., & Mawengkang, H. (2023). Vehicle Routing Problem Optimization With Machine Learning in Imbalanced Classification Vehicle Route Data. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(3(125)), 49–56. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.288280>
- Parada, V. (2025). *Automatic Generation Of Algorithms*. CRC Press. <https://books.google.co.id/books?id=dVmNEQAAQBAJ>
- Parningotan, S. (2025). Optimasi Biaya Transportasi Pada Distribusi Pupuk Menggunakan Metode Stepping Stone: Studi Kasus Pada Pabrik Pupuk. *Teknik Dan Kajian Multidisiplin Aplikatif*, 1(1), 14–23. <https://doi.org/10.63891/tekma.v1i1.13>
- Pulansari, F., & Nugraha, I. (2022). Transportasi North West Corner Method Dan Modified Distribution Method Berbasis Pom - Qm. *Seminar Nasional Teknik Industri Waluyo Jatmiko 2022*, 198–204, 198–204.
- Purnomo, C., Dekanawati, V., Astriawati, N., Sumardi, & Syahputra, G. (2022). Analisis Simulasi Distribusi Logistik Menggunakan Metode Transportasi. *Saintara : Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Maritim*, 6(2), 84–90. <https://doi.org/10.52475/saintara.v6i2.161>
- Rachmayanti, A. S., Badar, M., Wulandari, C., Sammulia, S. F., Haryani, R., & Hasan, N. (2023). *Gambaran Pelaksanaan Penyimpanan Cara Distribusi Obat Yang Baik Dan Benar (CDOB) Di PBF BUMN Dan Non BUMN Kota Batam*. 1(2), 20–30.
- Reswari, B. B., Budi, M. S., Firjatullah, D. B., Buana, R. N., & Iman, M. (2023). Penguatan UMKM Pasca Pandemi COVID-19 Melalui Pendampingan Pembuatan Nomor Induk Berusaha (NIB) Di Desa Jokarto. *Jurnal Pengabdian Indonesia*, 1(1), 51–58. <https://doi.org/10.47134/jpi.v1i1.2091>
- Roban, Ade Suhara, Asep Hermawan, & M. Ali Akbar. (2023). Penentuan Rute Dan Penjadwalan Distribusi Gas Lpg 3 Kg Pada Pt. Mita Sani Jaya. *Jurnal Teknologika*, 13(1), 95–102. <https://doi.org/10.51132/teknologika.v13i1.264>
- Sajid, M., Sagar, A. K., Singh, J., Khalaf, O. I., & Prasad, M. (2023). *Intelligent Techniques for Cyber-Physical Systems*. CRC Press. <https://books.google.co.id/books?id=0dSNEQAAQBAJ>
- Salman, N., Aminah, S. T., Ghani, D., Oktavianus, M., & Ibrahim, A. (2026). *Intelligent Supply Chain Management : Optimasi Distribusi Farmasi Berbasis Artificial Intelligence dan Data Mining di Kabupaten Maros*. XV(1), 20–25. <https://doi.org/10.36774/sisiti.v15i1.2138>
- Sanggala, E. (2023). Penyelesaian Capacitated Vehicle Routing Problem (Cvrp) Dengan Evolutionary Algorithm & Excel Solver (Studi Kasus: Russia-20-Nodes-Cvrp Instance). *PROFISIENSI: Jurnal Program Studi Teknik Industri*, 11(2), 144–151. <https://doi.org/10.33373/profis.v11i2.5896>
- Suprayitno, D., Kushariyadi, K., Sabaruddin, L. O., Nasution, U. B., Raza, E., Wanda, S. S., Susilawati, S., Efitra, E., & Permata, N. G. (2024). *Buku Ajar Pengantar Manajemen Logistik*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.

<https://books.google.co.id/books?id=gDEGEQAAQBAJ>

- Susilo, N. R., Thawafani, L., Buchari, M. A., Valencia, B. R., & Rifai, A. P. (2024). Penerapan Algoritma Simulated Annealing dan Large Neighborhood Search pada Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery Di PT Pos Indonesia Yogyakarta. *Jurnal Optimasi Teknik Industri (JOTI)*, 6(2), 50. <https://doi.org/10.30998/joti.v6i2.24821>
- Tan, K., Liu, W., Xu, F., & Li, C. (2023). Optimization Model and Algorithm of Logistics Vehicle Routing Problem under Major Emergency. *Mathematics*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/math11051274>
- Tofighi, A. B., Gorji, F., Deravi, A., & Hassannayebi, E. (2024). *Solving MDVRP Using Two-Step Clustering: A Case Study of Pharmaceutical Distribution in Tehran*. 58(June), 85–102. <https://doi.org/10.22059/aie.2024.363992.1879>
- Togatorop, R. E., Puspita, F. M., Octarina, S., Yuliza, E., & Dewi, N. R. (2022). Penerapan Algoritma Tabu Search Pada Model Acvrp Untuk Menentukan Rute Pengangkutan Sampah Yang Optimal Di Kecamatan Kalidoni. *Teorema: Teori Dan Riset Matematika*, 7(2), 303. <https://doi.org/10.25157/teorema.v7i2.6947>
- Vranico, P.W., dkk (2025). Analisis Optimalisasi Rute dan Biaya Distribusi Penyaluran Cadangan Bantuan Pangan Tahun 2024, *Jurnal Manajemen Pendidikan dan Ilmu Sosial (JMPIS) Vol. 6 No 3, April 2025*
- Wahyuni, Y., & Winanda, R. S. (2025). Penerapan Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) untuk Optimasi Rute Distribusi Air Mineral (Studi Kasus: PT Tina Dimans Raya Padang). *Journal of Mathematics UNP*, 10(3), 160–168. <https://doi.org/10.24036/fbbp8k75>
- Wijanarko, W. S., & Sepadyati, N. (2022). Optimasi Rute Pengiriman Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows PT. X. *Jurnal Titra*, 10(2), 513–520.
- Xue, D. (2020). *Solving Optimization Problems with MATLAB*. De Gruyter. <https://books.google.co.id/books?id=CovZDwAAQBAJ>
- Yudanto, A. (2025). *Optimasi Distribusi Pada Kasus Capacitated Vehicle Routing Problem With Pick-up And Delivery (CVRPPD) Untuk Meminimasi Jarak Tempuh Dan Emisi Karbon (Studi Kasus: PT. Xyz)*.
- Zhong, W., & Zhang, S. (2025). Research on the Location Selection and Path Optimization of Pharmaceutical Distribution Centers Considering Supply Chain Resilience. *Computer Life*, 13(1), 29–36. <https://doi.org/10.54097/9aq70468>