Contents list avaliable at Directory of Open Access Journals (DOAJ)

JUTIN : Jurnal Teknik Industri Terintegrasi

Volume x Issue x xxxx, Page xx-xx

ISSN: 2620-8962 (Online)

Journal Homepage: https://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/jutin/index



# PENENTUAN RUTE DISTRIBUSI PRODUK TEKSTIL MENGGUNAKAN PENDEKATAN CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS (CVRPTW)

**Fadlyansyah Achmad Lutfizein [1]✉, Hilyatun Nuha [2]**

Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya (1)

Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya (2)

DOI: 10.31004/jutin.vxix.xx

✉ Corresponding author:
[1412200157@surel.untag-sby.ac.id]

**Article Info**

*Kata kunci:*
*Distribusi;*
*Mixed Integer Linear Programming;*
*Phyton;*
*Optimasi Rute;*
*Time Windows*

*Keywords:*
*Distribution;*
*Mixed Integer Linear Programming;*
*Phyton;*
*Route Optimization;*
*Time Windows*

**Abstrak**

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh permasalahan distribusi produk tekstil pada PT XYZ yang belum menerapkan rute pengiriman secara optimal, sehingga berdampak pada tingginya jarak tempuh serta waktu yang diperlukan dalam proses distribusi. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh rute distribusi yang optimal dengan menerapkan metode Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW). Data yang digunakan dalam penelitian meliputi permintaan customer, kapasitas kendaraan, matriks jarak, matriks waktu tempuh, service time, serta batas waktu pelayanan customer. Penyusunan model matematis dilakukan menggunakan pendekatan Mixed Integer Linear Programming (MILP), kemudian disimulasikan melalui Google Colab dengan menggunakan bahasa pemrograman Python dan software PuLP Solver. Berdasarkan hasil penelitian, penerapan metode CVRPTW menghasilkan rute distribusi yang lebih optimal dibandingkan dengan rute existing perusahaan. Hal tersebut ditunjukkan melalui penurunan total jarak tempuh dari 5.466 km menjadi 3.155 km serta total waktu distribusi dari 4.755 menit menjadi 3.093 menit. Dengan demikian, penerapan CVRPTW dapat meningkatkan efisiensi proses distribusi melalui pengurangan jarak tempuh dan waktu distribusi.

**Abstract**

*This study was initiated by the distribution problem of textile products at PT XYZ, where the delivery routes have not been optimized, resulting in considerable travel distances and distribution times. The objective of this study is to obtain optimal distribution routes by applying the *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows* (CVRPTW) method. The data utilized in this study consist of customer demand, vehicle capacity, distance matrix, travel time matrix, service time, and customer service time limits. The mathematical model was formulated using the *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) approach and subsequently simulated through Google Colab using the Python programming language and PuLP Solver software. The findings demonstrate that the CVRPTW method produces more optimal distribution routes than the company's *existing* routes. This is evidenced by the decrease in total*

Received 23 October 2021; Received in revised form 8 November 2021 year; Accepted 16 November 2021
Available online 17 November 2021 / © 2021 The Authors. Published by Jurnal Teknik Industri Terintegrasi Universitas Pahlawan Tuanku Tambusai. This is an open access article under the CC BY-SA license (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0)

*travel distance from 5,466 km to 3,155 km and in total distribution time from 4,755 minutes to 3,093 minutes. Therefore, the implementation of CVRPTW can improve distribution efficiency by reducing both travel distance and distribution time.*

## 1. PENDAHULUAN

Persaingan dalam sektor industri yang semakin ketat menuntut perusahaan untuk meningkatkan efektivitas kegiatan operasional agar mampu mempertahankan daya saingnya. Salah satu aspek yang berperan dalam keberhasilan perusahaan adalah kemampuan dalam mengelola sistem distribusi secara efektif (Apriani Pratiwi & Novalia Harahap, 2024). Penerapan sistem distribusi yang baik memungkinkan perusahaan menyalurkan produk kepada pelanggan secara tepat waktu dan sesuai dengan kebutuhan yang telah ditentukan.

Distribusi merupakan salah satu komponen penting dalam rantai pasokan karena berhubungan secara langsung dengan aktivitas penyaluran produk dari perusahaan menuju pelanggan (Hidayat & Mulyono, 2025). Keberhasilan proses distribusi tidak hanya ditentukan oleh kualitas produk yang dihasilkan, tetapi juga oleh kemampuan perusahaan dalam merancang pola pengiriman yang efisien (Putri et al., 2023). Pengelolaan distribusi yang kurang optimal dapat menyebabkan bertambahnya jarak perjalanan kendaraan, meningkatnya waktu yang dibutuhkan dalam proses pengiriman, serta semakin besarnya biaya operasional transportasi.

PT XYZ merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang produksi tekstil dan melakukan pendistribusian produk kepada sejumlah pelanggan yang tersebar di Pulau Jawa. Dalam pelaksanaannya, sistem distribusi yang diterapkan perusahaan belum memanfaatkan metode optimasi rute, sehingga perjalanan menuju beberapa pelanggan masih dilakukan dengan pola yang kurang efisien. Kondisi tersebut ditunjukkan oleh adanya rute eksklusif serta perjalanan armada yang dilakukan secara terpisah, walaupun terdapat pelanggan yang memiliki lokasi relatif berdekatan. Di samping itu, proses distribusi perlu memperhatikan kapasitas kendaraan serta batas waktu penerimaan barang pada setiap pelanggan agar pengiriman dapat terlaksana sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan.

Permasalahan dalam menentukan rute distribusi merupakan salah satu permasalahan yang termasuk dalam kajian Vehicle Routing Problem (VRP). VRP merupakan permasalahan optimasi distribusi yang berkaitan dengan penentuan rute perjalanan kendaraan untuk melayani sejumlah pelanggan secara optimal (Azizah & Herlina, 2022). Salah satu bentuk pengembangan dari VRP adalah Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW), yang mengakomodasi keterbatasan kapasitas kendaraan sekaligus batas waktu pelayanan pelanggan. Dengan mempertimbangkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk memperoleh rute distribusi produk tekstil yang optimal dengan memperhatikan kapasitas kendaraan dan waktu pelayanan, sekaligus mengetahui pengaruh rute yang diusulkan terhadap efisiensi biaya distribusi perusahaan.

Berdasarkan permasalahan yang terdapat dalam sistem distribusi perusahaan, penelitian ini diarahkan pada optimasi rute distribusi menggunakan metode Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW) dengan pendekatan Mixed Integer Linear Programming (MILP). Permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini adalah bagaimana memperoleh rute distribusi produk tekstil yang optimal pada PT XYZ dengan mempertimbangkan time windows, serta bagaimana perbandingan biaya distribusi antara rute awal dan rute usulan dalam kaitannya dengan efisiensi distribusi perusahaan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan rute distribusi yang optimal serta menganalisis efisiensi biaya distribusi antara kondisi existing dan rute usulan pada PT XYZ. Secara teoritis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan tambahan referensi sekaligus mendukung pengembangan kajian terkait optimasi distribusi dengan metode CVRPTW berbasis MILP. Dari sisi praktis, hasil penelitian diharapkan dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan perusahaan dalam menentukan keputusan distribusi sehingga efisiensi jarak tempuh, waktu distribusi, dan biaya operasional distribusi dapat ditingkatkan.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengkaji permasalahan optimasi rute distribusi dengan pendekatan Vehicle Routing Problem (VRP) pada berbagai objek dan menggunakan metode yang beragam. Borman & Oktavia (2021) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa penggunaan metode One Vehicle Routing Problem (OVRP) dapat menghasilkan rute distribusi yang optimal dengan total jarak tempuh sebesar 130 km melalui software LINGO. Penelitian Mafaza & Muslim (2023) yang menerapkan metode Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) memperoleh hasil berupa pengurangan biaya transportasi sebesar 17,7% dan penurunan jarak tempuh sebesar 18,5%. Sementara itu, penelitian Alfiansah & Abdulrahim (2023) menunjukkan bahwa penerapan VRP mampu menekan biaya pengiriman produk styrofoam hingga mencapai Rp2.946.368 per bulan. Hasil penelitian Azizah & Herlina (2022) juga menunjukkan bahwa metode VRP dapat mengurangi jarak tempuh distribusi sebesar 15,9% sekaligus menurunkan biaya operasional pengiriman sebesar 16%. Selanjutnya, Khoidir et al. (2025) menunjukkan bahwa pendekatan Mixed Integer Linear Programming (MILP) dapat digunakan secara efektif untuk meminimalkan

total biaya distribusi pada jaringan rantai pasok multi produk. Adapun penelitian Nugroho & Abdulrahim (2022) memperoleh penurunan jarak tempuh distribusi makanan ringan sebesar 24% melalui penerapan metode Saving Matrix. Berdasarkan berbagai penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa pendekatan VRP berpotensi meningkatkan efisiensi distribusi. Akan tetapi, sebagian besar penelitian terdahulu masih menitikberatkan pada minimasi jarak dan biaya distribusi serta belum secara khusus mengintegrasikan batas waktu pelayanan customer atau time windows. Oleh sebab itu, penelitian ini mengembangkan pendekatan CVRPTW berbasis Mixed Integer Linear Programming (MILP) dengan mengintegrasikan pertimbangan kapasitas kendaraan dan time windows untuk memperoleh sistem distribusi yang lebih optimal.

## 2. METODE

Penelitian ini menerapkan metode Vehicle Routing Problem (VRP) sebagai pendekatan dalam penyelesaian permasalahan distribusi. VRP merupakan permasalahan optimasi yang digunakan untuk menentukan rute kendaraan secara optimal dalam melayani sejumlah customer yang berasal dari suatu depot dan kemudian kembali ke depot tersebut (Nugroho & Abdulrahim, 2022). Permasalahan VRP pada dasarnya berkaitan dengan penentuan pola perjalanan kendaraan yang mampu melayani seluruh *customer* secara efisien, sehingga jarak tempuh, waktu perjalanan, maupun biaya distribusi dapat ditekan seminimal mungkin.

Model VRP dapat dikembangkan ke dalam beberapa bentuk sesuai dengan karakteristik dan kondisi permasalahan distribusi yang dihadapi. Salah satu bentuk pengembangannya adalah Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW) (Ketaren et al., 2025). CVRPTW merupakan model optimasi distribusi yang memasukkan pertimbangan kapasitas kendaraan serta batas waktu pelayanan customer ke dalam proses penentuan rute (Zidanne et al., 2025). Dalam penerapannya, setiap kendaraan memiliki batas maksimum kapasitas angkut yang harus dipenuhi selama kegiatan distribusi. Di sisi lain, setiap customer mempunyai rentang waktu tertentu untuk menerima barang, sehingga kedatangan kendaraan perlu disesuaikan dengan waktu pelayanan yang telah ditetapkan.

Penerapan CVRPTW memungkinkan sistem distribusi yang dihasilkan menjadi lebih sesuai dengan kondisi operasional sekaligus lebih efisien karena sejumlah kendala distribusi dapat dipertimbangkan secara bersamaan. Dengan demikian, penentuan rute tidak hanya diarahkan untuk meminimalkan jarak perjalanan kendaraan, tetapi juga memperhatikan ketepatan waktu pengiriman serta penggunaan kapasitas armada secara optimal.

Penyelesaian model CVRPTW dalam penelitian ini menggunakan pendekatan Mixed Integer Linear Programming (MILP). MILP merupakan pendekatan optimasi matematis yang memanfaatkan fungsi tujuan dan constraint dalam bentuk linear serta memiliki variabel keputusan yang dapat berupa bilangan integer maupun biner (Ramadhani et al., 2021). Penggunaan MILP dipilih karena pendekatan tersebut dapat menangani permasalahan distribusi yang memiliki sejumlah constraint secara sistematis sehingga dapat memperoleh solusi yang optimal. Pelaksanaan proses optimasi dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Python melalui platform Google Colab. Google Colab merupakan lingkungan pemrograman berbasis cloud yang memungkinkan kode Python dijalankan tanpa membutuhkan proses instalasi perangkat lunak tambahan pada komputer pengguna (Maharani, 2025).

Formulasi dan penyelesaian model optimasi pada penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan library PuLP. PuLP merupakan library pada Python yang digunakan untuk membangun model *linear programming* dan integer programming. Melalui library tersebut, variabel keputusan, fungsi tujuan, dan constraint pada model matematis dapat didefinisikan secara terstruktur menggunakan sintaks Python. Dalam model CVRPTW yang digunakan, PuLP berfungsi dalam pembentukan fungsi tujuan untuk meminimalkan biaya distribusi dan jarak tempuh kendaraan serta menyusun constraint yang berkaitan dengan kapasitas kendaraan, time windows customer, dan kesinambungan rute distribusi.

Setelah formulasi model matematis dibentuk menggunakan PuLP, pencarian solusi optimal dilakukan dengan bantuan solver CBC. CBC merupakan solver optimasi berbasis Mixed Integer Linear Programming yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan integer programming dan binary programming. Dalam proses pencarian solusi, solver ini menggunakan metode branch and bound serta cutting plane untuk memperoleh kombinasi variabel keputusan terbaik yang memenuhi seluruh *constraint* model dengan nilai fungsi tujuan minimum.

Pemanfaatan Google Colab, PuLP, dan solver CBC memungkinkan proses optimasi distribusi dilakukan secara lebih efektif karena dapat mengolah data distribusi dalam jumlah besar serta menghasilkan rute distribusi secara otomatis. Pendekatan tersebut juga memberikan kemudahan dalam melakukan analisis dan pengembangan model optimasi distribusi yang lebih kompleks sesuai dengan kebutuhan perusahaan. Data penelitian yang digunakan terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui kegiatan observasi secara

langsung dan wawancara yang berkaitan dengan aktivitas distribusi perusahaan, sedangkan data sekunder bersumber dari dokumen perusahaan yang berhubungan dengan proses distribusi. Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1). Data *customer* distribusi
2). Data permintaan *customer*
3). Data kapasitas kendaraan
4). Data jumlah armada distribusi
5). Data jarak antar *customer*
6). Data waktu tempuh distribusi
7). Data waktu pelayanan *customer*
8). Data time windows *customer*
9). Data biaya BBM

Model matematis yang sudah diformulasikan selanjutnya dieksekusi menggunakan Python melalui platform Google Colab untuk mendapatkan rute distribusi usulan yang optimal. Hasil yang diperoleh dari proses optimasi kemudian dibandingkan dengan sistem distribusi existing berdasarkan total jarak tempuh dan waktu distribusi. Perbandingan tersebut dilakukan untuk mengetahui tingkat efisiensi yang dapat dicapai melalui penerapan rute distribusi hasil optimasi.

Indeks berfungsi untuk merepresentasikan elemen-elemen yang terdapat dalam model distribusi, seperti customer, depot, dan armada kendaraan (Sari et al., 2020). Penggunaan indeks dalam model bertujuan untuk menyederhanakan proses formulasi matematis CVRPTW sehingga keterkaitan antara lokasi-lokasi dalam aktivitas distribusi dapat digambarkan secara sistematis. Adapun keterangan masing-masing indeks yang digunakan adalah sebagai berikut:

i = indeks untuk menyatakan *customer* i
j = indeks untuk menyatakan *customer* j
K = indeks untuk menyatakan armada
C = indeks untuk menyatakan biaya pengiriman
d = indeks untuk menyatakan banyaknya permintaan
Ds = indeks untuk menyatakan jarak antar pelanggan
w = indeks untuk menyatakan kapasitas maksimal armada
E = indeks untuk menyatakan biaya bahan bakar kendaraan per km
T = indeks untuk menyatakan batas waktu awal pelayanan
a = indeks untuk menyatakan batas waktu awal pelayanan
b = indeks untuk menyatakan batas waktu akhir pelayanan
I = indeks untuk menyatakan waktu loading/unloading kendaraan
S = indeks untuk menyatakan durasi waktu pengiriman

Parameter merupakan besaran yang nilainya telah ditetapkan dan digunakan dalam model matematis CVRPTW untuk menggambarkan kondisi sistem distribusi perusahaan (Fatma et al., 2022). Parameter yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas d_ij yang menunjukkan jarak perjalanan dari titik i menuju titik j dalam satuan kilometer, t_ij yang menyatakan waktu tempuh perjalanan dalam satuan menit, q_i yang menunjukkan jumlah permintaan customer, Q_k yang merupakan kapasitas maksimum armada, c_ij yang menunjukkan biaya distribusi, a_i yang menyatakan batas awal waktu pelayanan customer, b_i yang menunjukkan batas akhir waktu pelayanan customer, s_i yang merupakan waktu loading/unloading atau waktu pelayanan customer, serta M yang digunakan sebagai bilangan besar dalam penerapan kendala waktu pada model Mixed Integer Linear Programming (MILP).

$d_{ij}$ = jarak tempuh dari titik $i$ ke titik $j$ dalam satuan km
$t_{ij}$ = waktu tempuh dari titik $i$ ke titik $j$ dala satuan menit
$q_i$ = jumlah permintaan *customer* $i$ dalam satuan rol
$Q_k$ = kapasitas maksimal angkut armada $k$
$c_{ij}$ = biaya distribusi dari titik $i$ ke titik $j$
$a_i$ = batas awal waktu pelayanan *customer* $i$
$b_i$ = batas akhir waktu pelayanan *customer* $i$
$s_i$ =waktu loading/unloading atau waktu pelayanan pada *customer* $i$
$M$=bilangan besar yang digunakan untuk kendala waktu pada model MILP

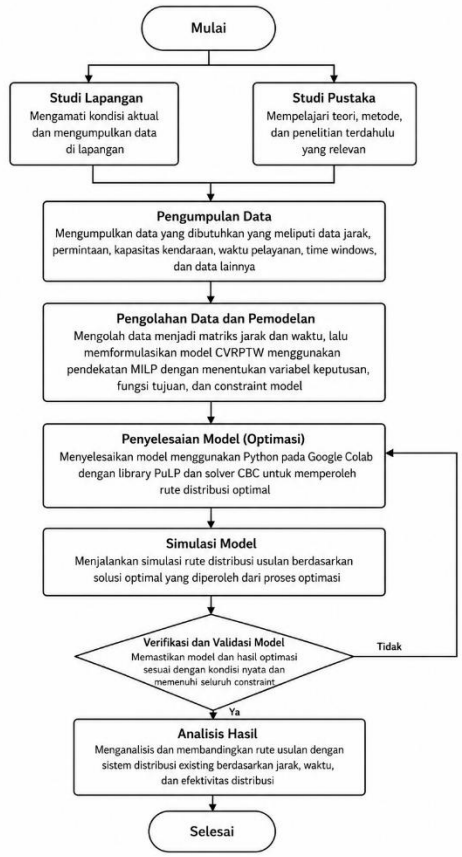
Fungsi tujuan pada penelitian ini bertujuan untuk meminimalkan total jarak tempuh kendaraan dalam proses distribusi. Minimasi jarak tempuh dilakukan untuk meningkatkan efisiensi kegiatan distribusi, sehingga waktu perjalanan dan biaya operasional distribusi perusahaan dapat dikurangi. Fungsi tujuan untuk meminimalkan total jarak dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Minimize } Z_1 = \sum_{k \in K} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N, i \neq j} d_{ij} \cdot x_{ijk} \qquad (1)$$

Keterangan:

- $Z_1$ = total jarak distribusi
- $d_{ij}$ = jarak dari titik $i$ ke titik $j$
- $x_{ijk}$ = variabel keputusan perjalanan armada
- $N$ = himpunan seluruh titik
- $K$ = himpunan armada

Fungsi tujuan bertujuan untuk mengurangi total kilometer perjalanan armada agar biaya pengiriman dapat diminimalkan.




**Gambar 1**. Flowchart Penelitian

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Pengumpulan Data

**Tabel 1. Data jarak dan permintaan**

| No | Kode | Jarak | Permintaan (Rol) |
|---|---|---|---|
| 1 | R1 | 511 | 38 |
| 2 | R2 | 599 | 31 |
| 3 | R3 | 36 | 26 |
| 4 | R4 | 550 | 33 |
| 5 | R5 | 614 | 28 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 6 | R6 | 41 | 27 |
| 7 | R7 | 619 | 33 |
| 8 | R8 | 4 | 30 |
| 9 | R9 | 594 | 36 |
| 10 | R10 | 610 | 24 |
| 11 | R11 | 22 | 31 |
| 12 | R12 | 623 | 31 |
| 13 | R13 | 534 | 33 |
| 14 | R14 | 250 | 29 |
| Total | | | 430 |

Pengumpulan data dilakukan dengan mengidentifikasi jumlah permintaan produk dari setiap customer. Data permintaan customer digunakan untuk menentukan total kebutuhan distribusi yang harus dipenuhi oleh perusahaan, sedangkan data jarak digunakan sebagai salah satu parameter utama dalam proses optimasi rute distribusi. Jarak antar customer diperoleh melalui Google Maps dengan mengacu pada titik lokasi perusahaan sebagai titik distribusi dan lokasi masing-masing customer.

**Tabel 2. Data Kapasitas Armada**

| Jenis Armada | Berat Angkut Armada (Max) | Kapasitas Angkut Box Armada (*Max*) | Jumlah Armada |
|---|---|---|---|
| Truk Box | 6 ton | 150 rol | 1 |
| Truk Box | 6 ton | 150 rol | 1 |
| Truk Box | 6 ton | 150 rol | 1 |

Data armada distribusi digunakan untuk mengetahui jumlah kendaraan yang tersedia serta kapasitas maksimum muatan yang dapat dibawa oleh setiap kendaraan. Kapasitas kendaraan menjadi salah satu constraint penting dalam model CVRPTW, karena total permintaan customer yang dilayani dalam satu rute harus tidak melebihi kapasitas kendaraan yang digunakan.

**Tabel 3. Data Matrik Jarak**

| | X | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | R9 | R10 | R11 | R12 | R13 | R14 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X | 0 | 511 | 599 | 36 | 550 | 614 | 41 | 619 | 4 | 594 | 610 | 22 | 623 | 534 | 250 |
| R1 | 511 | 0 | 186 | 492 | 130 | 189 | 505 | 181 | 489 | 154 | 181 | 471 | 193 | 124 | 640 |
| R2 | 599 | 186 | 0 | 600 | 63 | 12 | 613 | 7 | 598 | 63 | 9 | 579 | 10 | 71 | 766 |
| R3 | 36 | 493 | 600 | 0 | 551 | 603 | 15 | 595 | 39 | 568 | 595 | 24 | 607 | 538 | 238 |
| R4 | 550 | 130 | 63 | 551 | 0 | 79 | 564 | 71 | 549 | 38 | 71 | 530 | 74 | 5 | 716 |
| R5 | 614 | 189 | 12 | 603 | 79 | 0 | 616 | 9 | 601 | 76 | 7 | 582 | 12 | 74 | 769 |
| R6 | 41 | 505 | 613 | 15 | 564 | 616 | 0 | 610 | 51 | 583 | 610 | 38 | 623 | 550 | 253 |
| R7 | 619 | 181 | 7 | 595 | 71 | 9 | 610 | 0 | 592 | 68 | 5 | 574 | 16 | 66 | 760 |
| R8 | 4 | 489 | 598 | 39 | 549 | 601 | 51 | 592 | 0 | 563 | 591 | 23 | 603 | 535 | 234 |
| R9 | 594 | 154 | 63 | 568 | 38 | 76 | 583 | 68 | 563 | 0 | 66 | 547 | 69 | 37 | 734 |
| R10 | 610 | 181 | 9 | 595 | 71 | 7 | 610 | 5 | 591 | 66 | 0 | 573 | 587 | 66 | 760 |
| R11 | 22 | 471 | 579 | 24 | 530 | 582 | 38 | 574 | 23 | 547 | 573 | 0 | 584 | 516 | 215 |
| R12 | 623 | 193 | 10 | 607 | 74 | 12 | 623 | 16 | 603 | 69 | 587 | 584 | 0 | 78 | 773 |
| R13 | 534 | 124 | 71 | 538 | 5 | 74 | 550 | 66 | 535 | 37 | 66 | 516 | 78 | 0 | 703 |
| R14 | 250 | 640 | 766 | 238 | 716 | 769 | 253 | 760 | 234 | 734 | 760 | 215 | 773 | 703 | 0 |

Matriks jarak disusun berdasarkan data jarak antara customer dan depot distribusi yang diperoleh melalui Google Maps. Matriks tersebut digunakan untuk mengetahui jarak tempuh antar titik distribusi yang kemudian menjadi salah satu parameter utama dalam proses optimasi rute menggunakan metode CVRPTW. Setiap nilai dalam matriks merepresentasikan jarak perjalanan dari suatu lokasi ke lokasi lainnya dalam satuan kilometer. Penyusunan matriks jarak dilakukan untuk mempermudah perhitungan total jarak tempuh kendaraan selama proses distribusi.

**Tabel 4. Data Matrik Waktu Tempuh**

| | X | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | R7 | R8 | R9 | R10 | R11 | R12 | R13 | R14 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X | 0 | 417 | 510 | 67 | 463 | 505 | 81 | 501 | 10 | 478 | 499 | 34 | 519 | 455 | 218 |
| R1 | 417 | 0 | 191 | 401 | 144 | 202 | 413 | 197 | 350 | 162 | 196 | 376 | 203 | 140 | 516 |
| R2 | 510 | 191 | 0 | 526 | 85 | 33 | 543 | 23 | 541 | 80 | 25 | 506 | 26 | 86 | 638 |
| R3 | 67 | 401 | 526 | 0 | 435 | 489 | 20 | 478 | 58 | 428 | 465 | 50 | 486 | 444 | 220 |
| R4 | 463 | 144 | 85 | 435 | 0 | 98 | 466 | 88 | 495 | 72 | 87 | 480 | 92 | 15 | 590 |
| R5 | 505 | 202 | 33 | 489 | 98 | 0 | 525 | 20 | 515 | 95 | 18 | 500 | 25 | 94 | 640 |
| R6 | 81 | 413 | 543 | 20 | 466 | 525 | 0 | 520 | 75 | 500 | 520 | 65 | 535 | 461 | 230 |
| R7 | 501 | 197 | 23 | 478 | 88 | 20 | 520 | 0 | 510 | 90 | 15 | 495 | 28 | 90 | 635 |
| R8 | 10 | 350 | 541 | 58 | 495 | 515 | 75 | 510 | 0 | 490 | 505 | 48 | 515 | 460 | 215 |
| R9 | 478 | 162 | 80 | 428 | 72 | 95 | 500 | 90 | 490 | 0 | 88 | 485 | 90 | 56 | 610 |
| R10 | 499 | 196 | 25 | 465 | 87 | 18 | 520 | 15 | 505 | 88 | 0 | 495 | 505 | 90 | 635 |
| R11 | 34 | 376 | 506 | 50 | 480 | 500 | 65 | 495 | 48 | 485 | 495 | 0 | 500 | 425 | 205 |
| R12 | 519 | 203 | 26 | 486 | 92 | 25 | 535 | 28 | 515 | 90 | 505 | 500 | 0 | 100 | 645 |
| R13 | 455 | 140 | 86 | 444 | 15 | 94 | 461 | 90 | 460 | 56 | 90 | 425 | 100 | 0 | 572 |
| R14 | 218 | 516 | 638 | 220 | 590 | 640 | 230 | 635 | 215 | 610 | 635 | 205 | 645 | 572 | 0 |

Matriks waktu disusun berdasarkan estimasi waktu perjalanan antara customer dan depot distribusi. Data waktu tempuh diperoleh melalui Google Maps dengan mempertimbangkan kondisi perjalanan selama proses distribusi. Dalam model CVRPTW, matriks waktu digunakan untuk memastikan bahwa pengiriman dapat dilakukan sesuai dengan batas waktu pelayanan customer (time windows). Setiap nilai dalam matriks menunjukkan estimasi waktu perjalanan dari suatu lokasi ke lokasi lainnya dalam satuan menit, sehingga dapat digunakan untuk menghitung total waktu distribusi kendaraan secara keseluruhan.

**Tabel 5. Data Rute Awal**

| No | Armada | Rute Awal | Jumlah Permintaan (Rol) | Jarak (km) | Waktu (menit) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Truk Box = Kapasitas 6 ton/150 rol | Pabrik-PT JJ GLOVES(R11)-CV Celindo Putra (R1)-PT Kemilau Karya Bersama(R4)-Pabrik | 102 | 1173 | 1017 |
| | | Pabrik-PT Dunia Material Sepatu(R10)-PT Prima Niaga(R13)-Pabrik | 57 | 1210 | 1044 |
| 2 | Truk Box = Kapasitas 6 ton/150 rol | Pabrik-PT LANGGENG JAYA(R2)-PT Makmur Nusantara (R5)-PT Suntex(R7)-Pabrik | 92 | 1239 | 1064 |
| | | Pabrik-CV Sinar Maju Bersama (R9)-PT Joa Industries(R12)-Pabrik | 67 | 1286 | 1087 |
| 3 | Truk Box = Kapasitas 6 ton/150 rol | Pabrik-CV Hancover (R14)-PT Eagle Gloves (R3)-PT Samku (R6)-PT Woneel GK (R8)-Pabrik | 112 | 558 | 543 |
| | | Total | 430 | 5466 | 4755 |

Rute awal distribusi merupakan sistem distribusi existing yang diterapkan oleh perusahaan sebelum dilakukan proses optimasi. Pada kondisi existing, kegiatan distribusi masih mengikuti pola pengiriman yang telah diterapkan sebelumnya, sehingga terdapat beberapa customer yang dilayani dengan perjalanan yang kurang efisien dan masih memiliki rute eksklusif. Data rute awal digunakan sebagai acuan untuk membandingkan kondisi distribusi sebelum dan sesudah dilakukan optimasi menggunakan metode CVRPTW.

**Tabel 6. Data Biaya Awal Distribusi**

| No | Armada | Jarak keberangkatan (km) | Jarak Muatan Kosong (km) | Biaya BBM |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Truk Box = Kapasitas 6 ton/150 rol | 623 | 550 | Rp1,121,622 |
| | | 676 | 534 | Rp1,169,600 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2 | Truk Box = Kapasitas 6 ton/150 rol | 620 | 619 | Rp1,170,356 |
| | | 663 | 623 | Rp1,222,111 |
| 3 | Truk Box = Kapasitas 6 ton/150 rol | 554 | 4 | Rp630,889 |
| | Total | 3136 | 2330 | Rp5,314,578 |

Data biaya awal distribusi digunakan untuk mengetahui total biaya operasional yang dikeluarkan pada sistem existing perusahaan. Biaya bahan bakar merupakan biaya yang dikeluarkan untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar armada selama kegiatan distribusi berlangsung. Besarnya biaya bahan bakar dipengaruhi oleh jarak tempuh kendaraan, tingkat konsumsi bahan bakar kendaraan, serta harga bahan bakar yang digunakan. Armada distribusi menggunakan bahan bakar solar dengan harga Rp6.800 per liter, dengan tingkat konsumsi rata-rata sebesar 6 km/liter ketika kendaraan membawa muatan dan 9 km/liter ketika kendaraan dalam kondisi tanpa muatan.

### 3.2 Pembuatan Model Matematis

Tahap pengolahan data dimulai dengan menyusun model matematis CVRPTW yang berbasis Mixed Integer Linear Programming (MILP). Model matematis tersebut terdiri atas fungsi tujuan dan constraint yang digunakan untuk menentukan rute distribusi yang optimal. Fungsi tujuan pada penelitian ini adalah meminimalkan total jarak tempuh kendaraan. Sementara itu, constraint dalam model mencakup kapasitas kendaraan, batas time windows customer, kesinambungan rute kendaraan, serta ketentuan bahwa setiap customer hanya dapat dilayani sebanyak satu kali.

```
#================================
# FUNGSI TUJUAN
#================================

model += lpSum(
    dist[i][j] * x[(i, j, k)]
    for i in nodes for j in nodes for k in vehicles if i != j
)
```

Fungsi tujuan pada model CVRPTW dalam penelitian ini digunakan untuk meminimalkan total jarak tempuh kendaraan selama proses distribusi. Minimasi jarak tempuh bertujuan untuk meningkatkan efisiensi distribusi sehingga dapat mengurangi konsumsi bahan bakar, waktu perjalanan, serta biaya operasional yang dikeluarkan perusahaan. Constraint diterapkan untuk memastikan bahwa solusi optimasi yang diperoleh tetap sesuai dengan kondisi nyata dalam proses distribusi perusahaan. Adapun constraint yang digunakan dalam model CVRPTW pada penelitian ini meliputi:

```
#================================
# KENDALA MODEL
#================================
# 1. Setiap customer dikunjungi tepat satu kali
for j in customers:
    model += lpSum(
        x[(i, j, k)]
        for i in nodes for k in vehicles if i != j
    ) == 1
# 2. Setiap customer ditinggalkan tepat satu kali
for i in customers:
    model += lpSum(
        x[(i, j, k)]
        for j in nodes for k in vehicles if i != j
    ) == 1
```

```
# 3. Armada berangkat dari pabrik
for k in vehicles:
    model += lpSum(
        x[(0, j, k)]
        for j in customers
    ) == 1
# 4. Armada kembali ke pabrik
for k in vehicles:
    model += lpSum(
        x[(i, 0, k)]
        for i in customers
    ) == 1

# 5. Keseimbangan aliran
for k in vehicles:
    for h in customers:
        model += lpSum(
            x[(i, h, k)]
            for i in nodes if i !=h
        ) == lpSum(
            x[(h, j, k)]
            for j in nodes if j !=h
        )
# 6. Kapasitas armada
for k in vehicles:
    model += lpSum(
        demand[i] * lpSum(x[(i, j, k)] for j in nodes if i != j)
        for i in customers
    ) <= capacity[k]
# 7. Waktu awal di pabrik
for k in vehicles:
    model += t[(0, k)] == 0
# 8. Kendala urutan waktu
for k in vehicles:
    for i in nodes:
        for j in customers:
            if i != j:
                model += t[(j, k)] >= (
                    t[(i, k)] + service[i] + travel[i][j]
                    - M * (1 - x[(i, j, k)])
                )
# 9. Kendala time windows
for k in vehicles:
    for i in customers:
        dikunjungi_armada_k = lpSum(
            x[(i, j, k)]
            for j in nodes if i !=j
        )

            model += t[(i, k)] >= earliest[i] - M * (1 - dikunjungi_armada_k)
                  model += t[(i, k)] <= latest[i] + M * (1 - dikunjungi_armada_k)
```

Constraint digunakan untuk memastikan bahwa solusi optimasi yang diperoleh tetap sesuai dengan kondisi nyata pada proses distribusi perusahaan. Constraint yang diterapkan dalam penelitian ini mencakup ketentuan bahwa setiap customer harus dikunjungi dan ditinggalkan tepat satu kali, kendaraan wajib berangkat dan kembali ke pabrik, keseimbangan rute kendaraan, kapasitas armada, waktu awal keberangkatan kendaraan, urutan waktu perjalanan, serta batas waktu pelayanan customer (time windows). Penerapan constraint tersebut memungkinkan model CVRPTW menghasilkan rute distribusi yang lebih realistis, terstruktur, dan sesuai dengan kondisi operasional perusahaan.

### 3.3 Verifikasi dan Validasi Model

**HASIL OPTIMASI RUTE DISTRIBUSI**
Status Solusi: Optimal
ARMADA 1

Rute yang diperoleh untuk Armada 1 adalah Pabrik (02.00) - R4 (09.43) - R13 (10.13) - R5 (12.04) - R7 (12.38) - R10 (13.10) - Pabrik (21.41). Total muatan yang dibawa oleh Armada 1 sebesar 148 rol atau 5920 kg. Adapun rincian waktu kedatangan dan jumlah barang yang diturunkan pada setiap customer adalah sebagai berikut:

R4 | Jam kedatangan: 09.43 | Menurunkan: 30 rol / 1200 kg
R13 | Jam kedatangan: 10.13 | Menurunkan: 33 rol / 1320 kg
R5 | Jam kedatangan: 12.04 | Menurunkan: 28 rol / 1120 kg
R7 | Jam kedatangan: 12.38 | Menurunkan: 33 rol / 1320 kg
R10 | Jam kedatangan: 13.10 | Menurunkan: 24 rol / 960 kg
Total jarak yang ditempuh Armada 1 adalah 1253 km dengan total waktu perjalanan sebesar 1181 menit.

ARMADA 2

Rute yang dihasilkan untuk Armada 2 adalah Pabrik (02.00) - R8 (09.00) - R6 (10.34) - R3 (11.08) - R11 (12.11) - R14 (15.52) - Pabrik (19.45). Armada 2 membawa total muatan sebesar 150 rol atau 6000 kg. Rincian waktu kedatangan dan jumlah barang yang diturunkan pada setiap customer adalah sebagai berikut:

R8 | Jam kedatangan: 09.00 | Menurunkan: 37 rol / 1480 kg
R6 | Jam kedatangan: 10.34 | Menurunkan: 27 rol / 1080 kg
R3 | Jam kedatangan: 11.08 | Menurunkan: 26 rol / 1040 kg
R11 | Jam kedatangan: 12.11 | Menurunkan: 31 rol / 1240 kg
R14 | Jam kedatangan: 15.52 | Menurunkan: 29 rol / 1160 kg
Total jarak tempuh Armada 2 adalah 559 km, sedangkan total waktu perjalanan yang diperlukan sebesar 655 menit.

ARMADA 3

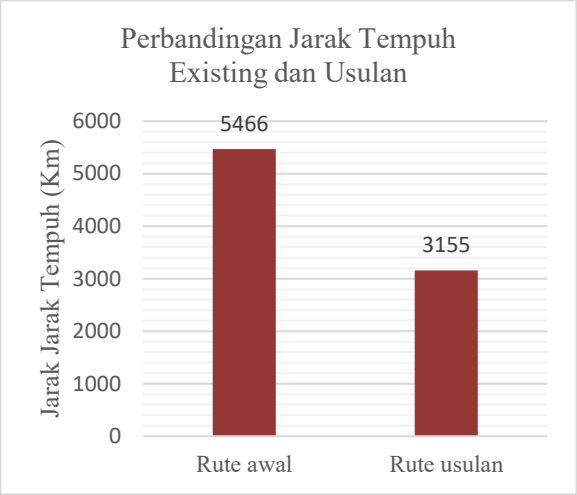
Rute yang diperoleh untuk Armada 3 adalah Pabrik (02.00) - R2 (10.30) - R12 (11.12) - R9 (12.58) - R1 (15.47) - Pabrik (22.57). Total muatan yang dibawa Armada 3 sebesar 102 rol atau 4080 kg. Adapun rincian waktu kedatangan dan jumlah barang yang diturunkan pada setiap customer adalah sebagai berikut:

R2 | Jam kedatangan: 10.30 | Menurunkan: 31 rol / 1240 kg
R12 | Jam kedatangan: 11.12 | Menurunkan: 31 rol / 1240 kg
R9 | Jam kedatangan: 12.58 | Menurunkan: 14 rol / 560 kg
R1 | Jam kedatangan: 15.47 | Menurunkan: 26 rol / 1040 kg
Total jarak yang ditempuh Armada 3 adalah 1343 km dengan total waktu perjalanan sebesar 1257 menit.

Tahap verifikasi dilakukan untuk memastikan bahwa model matematis dan program optimasi yang dikembangkan telah berjalan sesuai dengan formulasi CVRPTW yang telah dirancang. Berdasarkan hasil running program menggunakan Python pada Google Colab dengan bantuan library PuLP dan solver CBC, diperoleh status solusi “Optimal”. Hasil tersebut menunjukkan bahwa model berhasil memperoleh solusi terbaik berdasarkan fungsi tujuan dan constraint yang telah ditetapkan. Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa seluruh customer berhasil dikunjungi tepat satu kali oleh armada distribusi, setiap armada berangkat dan kembali ke pabrik, serta jumlah muatan pada setiap kendaraan tidak melebihi kapasitas maksimum armada. Selain itu, waktu kedatangan kendaraan pada setiap customer masih berada dalam batas time windows yang telah ditentukan. Dengan demikian, seluruh constraint yang terdapat dalam model dapat terpenuhi.

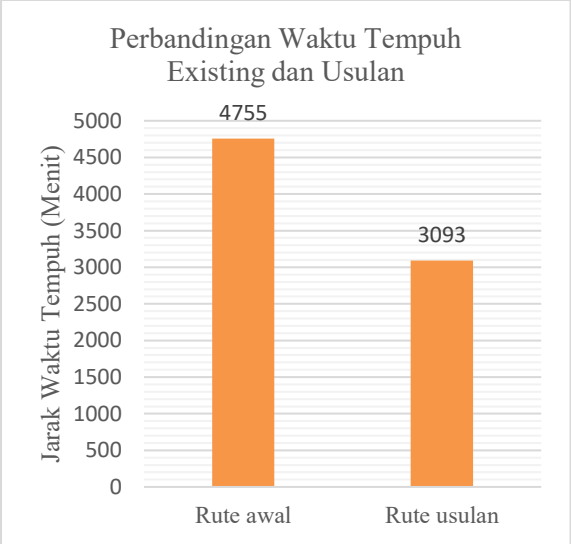
Tahap validasi dilakukan dengan membandingkan hasil distribusi yang diperoleh dari model usulan dengan kondisi distribusi existing perusahaan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa model optimasi menghasilkan rute distribusi yang lebih efisien dengan total jarak tempuh sebesar 3.155 km dan total waktu distribusi sebesar 3.093 menit. Hasil tersebut menunjukkan adanya penurunan jarak tempuh dan waktu distribusi dibandingkan dengan sistem existing perusahaan. Oleh karena itu, model CVRPTW berbasis Mixed Integer Linear Programming (MILP) dapat dinyatakan valid dan digunakan sebagai alat bantu dalam proses pengambilan keputusan terkait distribusi perusahaan.

**3.4 Perbandingan Rute Awal dan Usulan**




**Gambar 2**. Grafik Perbandingan Jarak Tempuh

Berdasarkan grafik perbandingan jarak tempuh distribusi, penerapan metode CVRPTW menunjukkan kemampuan dalam mengurangi total jarak distribusi secara signifikan dibandingkan dengan rute existing perusahaan. Pada kondisi existing, total jarak tempuh distribusi mencapai 5.466 km, sedangkan setelah dilakukan optimasi berkurang menjadi 3.155 km. Kondisi tersebut menunjukkan adanya pengurangan jarak tempuh sebesar 2.311 km atau sebesar 42,28%. Pengurangan jarak tempuh tersebut terjadi karena model optimasi dapat mengelompokkan customer berdasarkan kedekatan lokasi serta menentukan urutan kunjungan yang lebih efisien, sehingga rute perjalanan armada menjadi lebih optimal.




**Gambar 3**. Grafik Perbandingan Waktu Tempuh

Berdasarkan grafik perbandingan waktu distribusi, penerapan metode CVRPTW menghasilkan penurunan total waktu distribusi dibandingkan dengan sistem existing perusahaan. Pada kondisi existing, total waktu distribusi mencapai 4.755 menit, sedangkan setelah dilakukan optimasi menggunakan metode CVRPTW, total waktu distribusi berkurang menjadi 3.093 menit. Dengan demikian, terdapat pengurangan waktu distribusi sebesar 1.662 menit atau sebesar 34,95%. Penurunan tersebut terjadi karena rute yang dihasilkan mampu mengurangi perjalanan yang kurang efisien dan menentukan urutan distribusi yang lebih terstruktur, sehingga waktu perjalanan kendaraan dapat diminimalkan.




**Gambar 4**. Grafik Perbandingan Biaya Distribusi

Berdasarkan grafik perbandingan biaya bahan bakar, penggunaan metode CVRPTW menunjukkan bahwa biaya konsumsi bahan bakar dalam proses distribusi perusahaan dapat dikurangi. Pada sistem existing, total biaya bahan bakar yang dikeluarkan sebesar Rp5.314.578, sedangkan pada rute usulan biaya tersebut berkurang menjadi Rp3.057.733. Dengan demikian, diperoleh penghematan biaya bahan bakar sebesar Rp2.256.845 atau sebesar 42,46%. Pengurangan biaya bahan bakar tersebut terjadi sebagai dampak dari menurunnya total jarak tempuh distribusi, sehingga kebutuhan konsumsi bahan bakar kendaraan menjadi lebih rendah dibandingkan dengan sistem distribusi existing perusahaan.

## 4. KESIMPULAN

Penerapan metode CVRPTW berbasis MILP menghasilkan rute distribusi optimal, yaitu Armada 1 dengan rute Pabrik–R4–R13–R5–R7–R10–Pabrik, menempuh jarak 1.253 km dengan waktu distribusi 1.181 menit dan membawa muatan sebesar 148 rol. Armada 2 memiliki rute Pabrik–R8–R6–R3–R11–R14–Pabrik dengan jarak tempuh 559 km, waktu distribusi 655 menit, dan muatan 150 rol. Sementara itu, Armada 3 memiliki rute Pabrik–R2–R12–R9–R1–Pabrik dengan jarak tempuh 1.343 km, waktu distribusi 1.257 menit, serta muatan 102 rol. Hasil optimasi menunjukkan bahwa biaya bahan bakar dapat dikurangi dari Rp5.314.578 menjadi Rp3.057.733 atau menghasilkan penghematan sebesar 42,46%, sehingga efisiensi proses distribusi dapat meningkat. Untuk penelitian selanjutnya, pengembangan model dapat dilakukan dengan mempertimbangkan multi depot, ketidakpastian permintaan, variasi kapasitas dan biaya transportasi, multi produk, serta penggunaan pendekatan metaheuristik atau hybrid.

## 5. REFERENSI

Alfiansah, A. S., & Abdulrahim, M. (2023). *ANALISA PENENTUAN RUTE PENGIRIMAN PRODUK STYROFOAM UNTUK MEMINIMALKAN BIAYA PENGIRIMAN (STUDI KASUS : PT. MENARA CIPTA INDONESIA) Analysis of Determining Styrofoam Product Delivery Routes to Minimize Shipping Costs (Case Study PT. Menara Cipta Indonesia)*.

Apriani Pratiwi, R., & Novalia Harahap, U. (2024). *OPTIMALISASI PENDISTRIBUSIAN BARANG DENGAN MODEL MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING PADA PT. LOGISTIK EKSPRESINDO UTAMA*. *7*(1), 8–15.

Borman, M. R., & Oktavia, M. (2021). One *Vehicle Routing Problem* as the Best Solution for a Hangout Catering Company Expansion Plan with Lingo Software. *Faktor Exacta*, *13*(4), 216. https://doi.org/10.30998/faktorexacta.v13i4.7540

Fatma, E., Kartika, W., & Nur Madyanti, A. (2022). Penentuan Rute Pengangkut Limbah Medis Optimal Menggunakan *Vehicle Routing Problem* with Time Window pada Kasus Multi Depot. *Jurnal Manajemen Dan Organisasi*, *13*(4), 324–335. https://doi.org/10.29244/jmo.v13i4.38587

Hidayat, D. W., & Mulyono, N. B. (2025). Optimizing Fuel Distribution Costs through *Vehicle Routing Problem* Modeling in Jakarta-Tanjung Gerem Terminals. *Jurnal Ilmiah Manajemen Kesatuan*, *13*(5), 3873–3884. https://doi.org/10.37641/jimkes.v13i5.3547

Ketaren, D. R., Gultom, P., Nasution, M. K. M., & History, A. (2025). http://ejournal.radenintan.ac.id/index.php/desimal/index Multi-objective *Vehicle Routing Problem* with time windows via genetic algorithm ARTICLE INFO ABSTRACT. *Desimal: Jurnal Matematika*, *8*(2), 195–206. https://doi.org/10.24042/djm

Khoidir, A., Firyal, B., Safitri, S., Rahmasari, D., Prodi, ), & Industri, T. (2025). *OPTIMASI JARINGAN DISTRIBUSI MULTI ESELON DALAM RANTAI PASOK MULTI PRODUK MENGGUNAKAN MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING*.

Mafaza, G., & Muslim, E. (2023). *Perancangan Rute Distribusi Air Minum Dalam Kemasan dengan Capacitated Vehicle Routing Problem*. https://doi.org/10.350587/Matrik

Maharani, S. (2025). PEMBANGUNAN MODEL DATA SKALA BESAR DENGAN MENGGUNAKAN BUILDER DESIGN PATTERN. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, *13*(3). https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3.6817

Azizah, D., & Herlina, H. (2022). *PENENTUAN RUTE DISTRIBUSI UNTUK MEMINIMALKAN BIAYA PENGIRIMAN TAS FASHION DI UD. SUWARLANDONO*.

Nugroho, R. W., & Abdulrahim, M. (2022). PENENTUAN RUTE DISTRIBUSI MAKANAN RINGAN (SNACK) DENGAN METODE *VEHICLE ROUTING PROBLEMS* (Studi kasus pada UD. NNR JAYA di Bojonegoro). *Jurnal Produktiva*, *1*(2), 7–10. https://doi.org/10.36815/jurva.v2i1.1959

Putri, A. M., Ardiansyah, M. N., & Chulasoh, B. S. (2023). Perancangan Rute Pengiriman pada PT. ABC untuk Meminimasi Tingkat Keterlambatan Pengiriman dan Biaya Transportasi Menggunakan Model Mixed Integer Linear Programming. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, *6*(4), 1387–1395. https://doi.org/10.31004/jutin.v6i4.21022

Ramadhani, D. S., Masruroh, N. A., & Waluyo, J. (2021). *Model of Vehicle Routing Problem ... (Dinda Safitri Ramadhani, et al.) MODEL OF VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH SPLIT DELIVERY MULTI TRIPS, MULTI PRODUCTS AND COMPARTMENTS FOR DETERMINING FUEL DISTRIBUTION ROUTES*. http://journal.ugm.ac.id/index.php/ajse

Sari, G., Heryanto, R., & Santoso, S. (2020). Penentuan Rute Distribusi Menggunakan Model Integer Linear Programming dengan Metode Branch and Bound. *Go-Integratif : Jurnal Teknik Sistem Dan Industri*, *1*(01), 69–79. https://doi.org/10.35261/gijtsi.v1i01.4265

Zidanne, M., Keynobi, F., & Wirdianto, E. (2025). Jurnal Sistem Teknik Industri VRPTW Distribution Route Determination with Rigid and Flexible Time Window and Assignment Based on Number of Demand. *Jurnal Sistem Teknik Industri*, *27*(1), 14–20. https://doi.org/10.26594/register.v6i1.idarticle