

TUGAS AKHIR - TI234835

**OPTIMASI RUTE DAN ALOKASI SALES
REPRESENTATIVE PADA JARINGAN LOGISTIK
PEDESAAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN *CLUSTER
FIRST ROUTE SECOND* DENGAN *VISUAL BASIC
APPLICATIONS***

MADE RULLY ANJANI VITALOKA

NRP 5010211018

Dosen Pembimbing

Prof. Nurhadi Siswanto, S.T., M.S.I.E., Ph.D

NIP 197005231996011001

Program Studi Teknik Industri

Departemen Teknik Sistem dan Industri

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025



TUGAS AKHIR - TI234835

**OPTIMASI RUTE DAN ALOKASI SALES
REPRESENTATIVE PADA JARINGAN LOGISTIK
PEDESAAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN *CLUSTER
FIRST ROUTE SECOND* DENGAN *VISUAL BASIC
APPLICATIONS***

MADE RULLY ANJANI VITALOKA

NRP 5010211018

Dosen Pembimbing

Prof. Nurhadi Siswanto, S.T., M.S.I.E., Ph.D

NIP 197005231996011001

Program Studi Teknik Industri

Departemen Teknik Sistem dan Industri

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025



TUGAS AKHIR - TI234835

**OPTIMIZING SALES REPRESENTATIVE ROUTE AND
ALLOCATION FOR RURAL LOGISTICS NETWORKS
USING THE CLUSTER FIRST ROUTE SECOND
APPROACH ON VISUAL BASIC APPLICATIONS**

MADE RULLY ANJANI VITALOKA

NRP 5010211018

Dosen Pembimbing

Prof. Nurhadi Siswanto, S.T., M.S.I.E., Ph.D

NIP 197005231996011001

Study Program Industrial Engineering

Department of Industrial and System Engineering

Faculty of Industrial Technology and System Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMASI RUTE DAN ALOKASI *SALES REPRESENTATIVE* PADA JARINGAN LOGISTIK PEDESAAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN *CLUSTER FIRST* *ROUTE SECOND* DENGAN *VISUAL BASIC APPLICATIONS*

PROPOSAL TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar sarjana pada
Program Studi S-1 Teknik Industri
Departemen Teknik Sistem dan Industri
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **MADE RULLY ANJANI VITALOKA**
NRP. 5010211018

Disetujui oleh Tim Penguji Proposal Tugas Akhir :

1. Prof. Nurhadi Siswanto, S.T., M.S.I.E., Ph.D.
2. Prof. Dr. Ir. Budisantoso Wirjodirdjo M. Eng.
3. Rindi Kusumawardani, S.Si., M.Sc.


Pembimbing

Penguji

Penguji



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Made Rully Anjani Vitaloka / 5010211018
Program studi : Teknik Sistem dan Industri
Dosen Pembimbing / NIP : Prof. Nurhadi Siswanto, S.T., M.S.I.E., Ph.D. /
197005231996011001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Optimasi Distribusi *Sales Representative* pada Jaringan Logistik Pedesaan Menggunakan Pendekatan *Cluster First Route Second* pada *Visual Basic Applications*” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 18 Juni 2025

Mengetahui
Dosen Pembimbing

Mahasiswa



Prof. Nurhadi Siswanto, S.T., M.S.I.E., Ph.D.
NIP. 197005231996011001



Made Rully Anjani Vitaloka
NRP. 5010211018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ABSTRAK

OPTIMASI RUTE DAN ALOKASI *SALES REPRESENTATIVE* PADA JARINGAN LOGISTIK PEDESAAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN *CLUSTER FIRST ROUTE SECOND* DENGAN *VISUAL BASIC APPLICATIONS*

Nama Mahasiswa / NRP : Made Rully Anjani Vitaloka / 5010211018
Departemen : Teknik Sistem dan Industri FTIRS - ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Nurhadi Siswanto, S.T., M.S.I.E., Ph.D

Abstrak

Distribusi barang di wilayah pedesaan menghadapi berbagai tantangan, seperti ketidakefisienan rute pengiriman, ketidakseimbangan beban kerja antar *Sales representative* (SR), serta tingginya biaya operasional. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan model optimasi menggunakan pendekatan Cluster First Route Second (CFRS) yang diimplementasikan dalam Visual Basic for Applications (VBA) Excel untuk meningkatkan kinerja jaringan logistik pedesaan. Model ini terdiri dari dua tahap utama, yaitu (1) pengelompokan titik pengiriman menggunakan Nearest Neighbor Clustering untuk membentuk zona distribusi yang lebih terstruktur, dan (2) penentuan urutan kunjungan optimal dalam setiap kluster menggunakan algoritma Traveling Salesman Problem (TSP) dengan pendekatan Nearest Neighbor. Simulasi dilakukan pada enam skenario, dengan skenario kelima teridentifikasi sebagai alternatif dengan kinerja terbaik. Dibandingkan dengan kondisi eksisting perusahaan yang masih menggunakan perencanaan rute manual, skenario optimasi ini mampu meningkatkan waktu kerja rata-rata sebesar 2,86%, meningkatkan utilisasi waktu kerja sebesar 52,11%, menurunkan jarak tempuh sebesar 6,80%, mengurangi biaya distribusi sebesar 33,33%, serta memangkas waktu tidak terpakai sebesar 56,57%. Model ini juga terbukti robust terhadap perubahan parameter, seperti jumlah pelanggan dan durasi layanan. Temuan ini menunjukkan bahwa model CFRS yang diusulkan mampu meningkatkan efisiensi operasional, pemerataan beban kerja, dan menurunkan biaya logistik dalam sistem distribusi pedesaan. Pendekatan ini diharapkan dapat mendukung efektivitas rantai pasok dalam konteks distribusi mikro.

Kata kunci: Distribusi Pedesaan, Rute *Sales representative*, *Cluster First Route Second*, *Visual Basic Applications*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ABSTRACT

OPTIMIZING SALES REPRESENTATIVE ROUTE AND ALLOCATION FOR RURAL LOGISTICS NETWORKS USING THE CLUSTER FIRST ROUTE SECOND APPROACH ON VISUAL BASIC APPLICATIONS

Student Name / NRP : Made Rully Anjani Vitaloka / 5010211018
Department : Teknik Sistem dan Industri FTIRS - ITS
Advisor : Prof. Nurhadi Siswanto, S.T., M.S.I.E., Ph.D

Abstract

The distribution of goods in rural areas presents several challenges, such as inefficient delivery routes, unbalanced workload among sales representatives, and high operational costs. To address these issues, this study proposes an optimization model using the Cluster First Route Second (CFRS) approach, implemented in Visual Basic for Applications (VBA) Excel, to improve the performance of rural logistics networks. The model consists of two stages: (1) clustering delivery points using Nearest Neighbor Clustering to define structured regional zones, and (2) determining the optimal visit sequence within each cluster using the Traveling Salesman Problem (TSP) with a Nearest Neighbor heuristic. The simulation was conducted across six scenarios, with the 5th scenario emerging as the best-performing alternative. Compared to the company's manual route planning (existing condition), the optimized scenario achieved a 2.86% increase in average working time, a 52.11% increase in time utilization, a 6.80% reduction in travel distance, a 33.33% reduction in delivery costs, and a 56.57% decrease in non-utilized time. The model also demonstrated robustness under parameter changes, including variations in the number of customers and service time. These findings indicate that the proposed CFRS model can significantly improve operational efficiency, balance workload distribution, and reduce logistics costs in rural distribution systems. This approach is expected to support more effective supply chain operations in micro-distribution settings.

Keywords: Rural Distribution, Sales representative Route, Cluster first route second, Visual Basic Applications

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Dengan penuh rasa syukur dan kebahagiaan, penulis dengan rendah hati menyampaikan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat dan rahmat-Nya kepada penulis agar penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “Optimasi Distribusi *Sales representative* pada Jaringan Logistik Pedesaan Menggunakan Pendekatan *Cluster First Route Second* pada *Visual Basic Applications*”. Laporan ini merupakan hasil dari perjalanan panjang yang telah penulis lalui dalam rangka menyelesaikan studi. Berbagai bantuan dan dukungan berasal dari berbagai pihak yang membantu penulis di dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Oleh sebab itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Nurhadi Siswanto, S.T., M.S.I.E., Ph.D. sebagai Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang memberikan bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir.
2. Bapak Ahmed Raecky Baihaqy, S.T., M.T. sebagai Dosen QMIPA yang membantu penulis bertukar pikiran serta mengembangkan ide dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Budisantoso Wirjodirdjo M. Eng dan Ibu Rindi Kusumawardani, S.Si., M.Sc. selaku Dosen Penguji pada seminar proposal Tugas Akhir.
4. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen pengajar Teknik Industri yang telah memberikan banyak ilmu dan pandangan selama masa perkuliahan.
5. Orang tua, keluarga, dan orang terdekat penulis yang selalu memberikan dukungan secara penuh kepada penulis dalam melaksanakan Tugas Akhir.
6. Bestin Yap Fortuna, Josephine Kezia Himawan, dan Humaira Nurul Hadi yang telah menjadi rekan diskusi selama pelaksanaan pengerjaan Tugas Akhir.
7. Teman-teman asisten laboratorium QMIPA Angkatan 2020, 2021, dan 2022 yang telah menjadi rekan diskusi dan memberikan dukungan dalam pengerjaan Tugas Akhir.
8. Seluruh teman-teman TI-37 Svarganara yang menemani penulis dalam melakukan penelitian Tugas Akhir ini.

Mungkin dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih banyak yang dapat diperbaiki menjadi lebih baik lagi. Oleh karena itu, penulis mengharapkan masukan dan saran dari semua pihak sebagai media pembelajaran bagi penulis. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pihak lainnya. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Surabaya, Juni 2025

Made Rully Anjani Vitaloka

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan	6
1.4 Manfaat	6
1.5 Batasan dan Asumsi	6
1.5.1 Batasan	6
1.5.2 Asumsi	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Dasar Teori	9
2.1.1 Distribusi dan Logistik Pedesaan	9
2.1.2 Teknologi dan Digitalisasi dalam Distribusi Pedesaan	11
2.1.3 Optimasi Rute dan Distribusi	12
2.1.4 Cluster First Route Second (CFRS) Approach	14
2.1.5 Nearest Neighbor Clustering dalam Optimasi Distribusi	15
2.1.6 Traveling Salesman Problem	16
2.1.7 Pendekatan Heuristic dengan Nearest Neighbor Algorithm	18
2.1.8 Route Sequencing	20
2.1.9 Time Window Constraint	22
2.1.10 Visual Basic Applications	22
2.2 Hasil Penelitian Terdahulu	25
BAB 3 METODOLOGI	29
3.1 Diagram Alir Penelitian	29
3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian	30
3.2.1 Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data	30
3.2.2 Tahap Pemodelan	30
3.2.3 Tahap Pencarian Solusi Optimal	31
	xi

3.2.4	Tahap Analisis Hasil Optimasi	32
3.2.5	Penarikan Kesimpulan dan Saran	32
BAB 4	PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	33
4.1	Pengumpulan Data	33
4.1.1	Data <i>Sales representative</i>	33
4.1.2	Data Pelanggan	34
4.2	Pengembangan Model	35
4.2.1	Pengembangan Model Konseptual	35
4.2.2	Pengembangan Model VBA	37
4.2.3	Verifikasi dan Validasi Model	47
4.3	Perbandingan Hasil Antar Skenario	51
4.4	Analisis dan Interpretasi	53
4.4.1	Analisis Aspek Waktu Pengiriman	53
4.4.2	Analisis Utilitas	54
4.4.3	Analisis Aspek Jarak Tempuh	55
4.4.4	Analisis Aspek Biaya	56
4.4.5	Analisis Sensitivitas	58
4.4.6	Analisis Skenario Terbaik	62
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1	Kesimpulan	65
5.2	Saran	65
	DAFTAR PUSTAKA	67
	LAMPIRAN	71
	BIODATA PENULIS	99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Jumlah Infrastruktur Ekonomi Di Desa Tahun 2024.....	1
Gambar 1.2 Alur Perencanaan Pengiriman	2
Gambar 1.3 Alokasi Pengiriman <i>Sales representative</i>	3
Gambar 1.4 Performa Waktu Pengiriman	4
Gambar 2.1 Lokasi Titik Pelanggan	10
Gambar 2.2 Implementasi ERP dalam Logistik	12
Gambar 2.3 Iustrasi <i>Vehicle Routing Problem</i>	13
Gambar 2.4 Contoh <i>Travelling Salesman Problem</i>	17
Gambar 2.5 Diagram Alir Algoritma <i>Nearest Neighbor</i>	19
Gambar 2.6 Ilustrasi <i>Route Sequencing</i> dalam VRP	21
Gambar 2.7 Contoh Implementasi VBA Excel	23
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 4.1 Lokasi <i>Sales representative</i>	33
Gambar 4.2 Lokasi Pelanggan	35
Gambar 4.3 Model Konseptual Influence Diagram.....	36
Gambar 4.4 Alur Implementasi Model VBA	37
Gambar 4.5 Worksheet Data Input	38
Gambar 4.6 <i>User Interface</i> VBA Distance Matrix	40
Gambar 4.7 User Interface VBA Clustering pada Skenario 1	42
Gambar 4.8 User Interface VBA Optimasi Rute pada Skenario 1	43
Gambar 4.9 User Interface Rekapitulasi Seluruh Skenario	44
Gambar 4.10 User Interface VBA Best Result	45
Gambar 4.11 User Interface Run All VBA pada sheet Data Input.....	46
Gambar 4.12 Verifikasi Perhitungan Distance Matrix	47
Gambar 4.13 Verifikasi Alokasi Pelanggan Skenario 5	48
Gambar 4.14 Verifikasi Optimasi Rute Kunjungan SR Skenario 5	48
Gambar 4.15 Verifikasi Pemilihan Skenario Terbaik Otomatis	49
Gambar 4.16 Grafik Check-In & Check-Out SR 6 Skenario 5	50
Gambar 4.17 Hasil Alokasi SR Skenario 5	51
Gambar 4.18 Urutan Rute SR nomor 6 Skenario 5	51
Gambar 4.19 Grafik Analisis Waktu Seluruh Skenario.....	54
Gambar 4.20 Grafik Rata-Rata Utilitas Seluruh Skenario.....	55
Gambar 4.21 Grafik Total Jarak Tempuh Seluruh Skenario	56
Gambar 4.22 Grafik Biaya Operasional Seluruh Skenario.....	57
Gambar 4.23 Analisis Sensitivitas Jumlah Kunjungan Terhadap Utilitas.....	59
Gambar 4.24 Analisis Kelayakan Uji Sensitivitas Jumlah Kunjungan Terhadap Utilitas. 59	
Gambar 4.25 Analisis Sensitivitas Waktu <i>Loading & Unloading</i> Terhadap Utilitas.....	61
Gambar 4.26 Analisis Kelayakan Uji Sensitivitas Waktu <i>Loading & Unloading</i> Terhadap Utilitas	61
Gambar 4.27 Hasil Pemilihan Skenario Terbaik	63
Gambar 4.28 Visualisasi Alokasi Pelanggan pada Setiap SR	63
Gambar 4.29 Detail Rute Kunjungan Skenario Terbaik.....	64

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Biaya Operasional Pengiriman Harian	3
Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya yang Relevan dengan Penelitian Ini.....	25
Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Terkait.....	27
Tabel 3.1 Jenis Data yang Dikumpulkan	30
Tabel 3.2 Rencana Pengembangan Skenario	31
Tabel 4.1 Data Koordinat <i>Sales representative</i>	33
Tabel 4.2 Detail Pengiriman <i>Sales representative</i>	34
Tabel 4.3 Data Biaya Operasional	34
Tabel 4.4 10 Data Transaksi Pelanggan	34
Tabel 4.5 Deskripsi Simbol <i>Influence Diagram</i>	36
Tabel 4.6 Kode Pemrograman Distance Matrix	39
Tabel 4.7 Kode Pemrograman Nearest Neighbor Clustering	40
Tabel 4.8 Perubahan Kode Pemrograman Clustering.....	41
Tabel 4.9 Kode Pemrograman Optimasi Rute	43
Tabel 4.10 Kode Pemrograman Pemilihan Skenario Terbaik	45
Tabel 4.11 Kode Pemrograman Run All VBA	46
Tabel 4.12 Rekap Waktu Kerja dan Utilisasi Tiap Skenario.....	49
Tabel 4.13 Urutan Kunjungan SR 6 Skenario 5	50
Tabel 4.14 Perbandingan Hasil Antar Skenario	52
Tabel 4.15 Rekapitulasi Skenario Terbaik.....	52
Tabel 4.16 Analisis Waktu Seluruh Skenario.....	53
Tabel 4.17 Rekapitulasi Perhitungan Biaya Operasional Seluruh Skenario.....	56
Tabel 4.18 Uji Sensitivitas Parameter Jumlah Titik Pelanggan	58
Tabel 4.19 Uji Sensitivitas Parameter Waktu <i>Loading & Unloading</i>	60
Tabel 4.20 Analisis Peningkatan Efisiensi Model Optimasi terhadap Model Eksisting ...	62

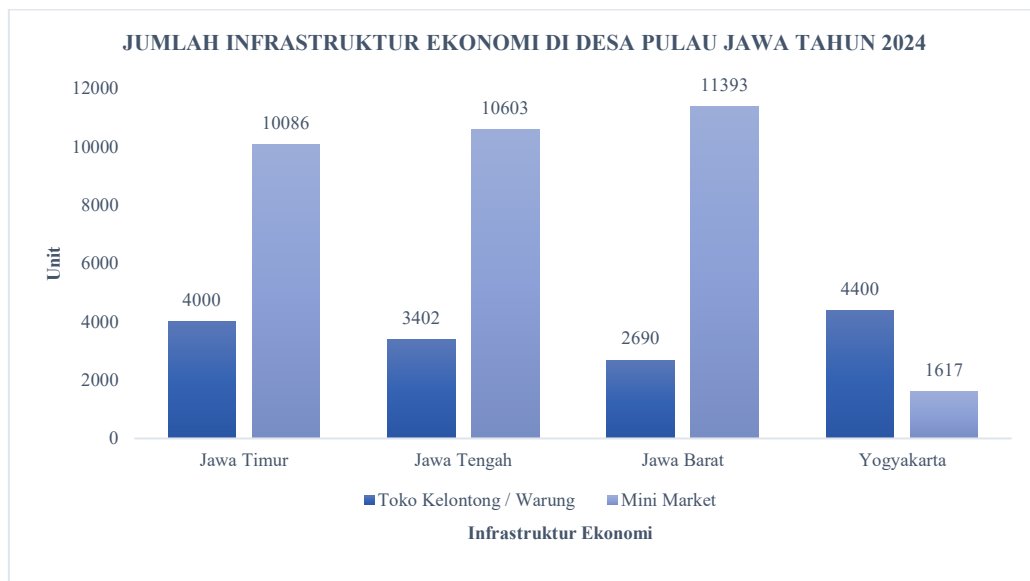
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini akan menjelaskan mengenai latar belakang dari penelitian ini dan permasalahan yang akan dirumuskan pada penelitian ini. Selain itu, pada bab ini juga akan dijelaskan juga mengenai tujuan, manfaat, batasan dan asumsi, dan sistematika penelitian ini.

1.1 Latar Belakang

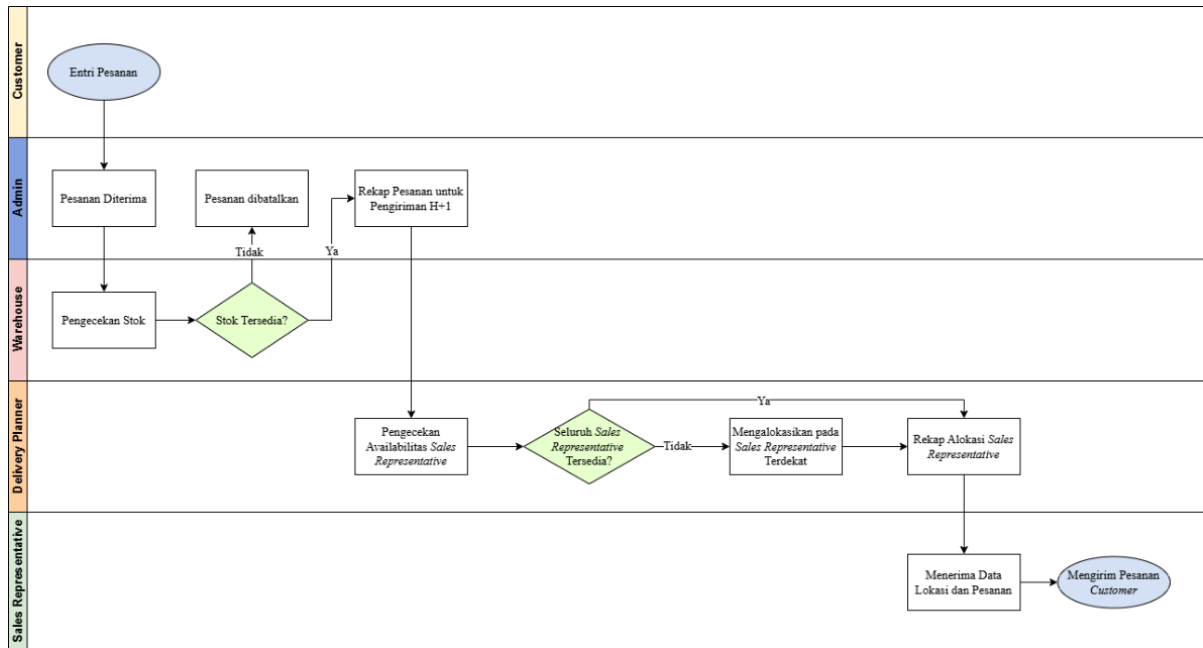
Pedesaan di Indonesia memiliki peran penting dalam menopang perekonomian nasional, terutama dalam distribusi kebutuhan pokok melalui warung, toko kelontong, dan minimarket. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2024, wilayah Jawa Timur, Jawa Tengah, Daerah Istimewa Yogyakarta, dan Jawa Barat memiliki ribuan toko kelontong dan pasar tradisional yang menjadi bagian integral dari rantai distribusi barang kebutuhan sehari-hari. Namun, tantangan utama dalam distribusi pedesaan adalah keterbatasan akses pasar, tingginya biaya logistik, serta belum optimalnya sistem distribusi yang diterapkan.



Gambar 1.1 Jumlah Infrastruktur Ekonomi Di Desa Tahun 2024

Sumber: (Badan Pusat Statistik, 2024)

Saat ini terdapat suatu platform digital yang menyediakan layanan pengantaran barang kebutuhan pokok melalui jaringan *sales representative* yang beroperasi di daerah tier 3 dan 4 sejak tahun 2019. Platform ini menawarkan minimum *order* yang lebih rendah, biaya pengiriman rendah, dan harga barang 12% lebih murah dari toko grosir lain sehingga cukup diminati oleh masyarakat pemilik toko kelontong dan warung di pedesaan. Perkembangan platform digital ini membuat lebih dari 20.000 desa dengan lebih dari 75.000 toko kelontong, warung, dan mini market mendapatkan akses untuk mendapatkan kebutuhan pokok dengan harga lebih kompetitif dan ketersediaan yang lebih terjamin. Hingga saat ini sudah terjadi 1.000.000+ transaksi dengan 30.000+ pengguna aktif setiap bulannya. Namun, sistem distribusi yang digunakan masih bersifat manual dan belum memiliki perencanaan rute yang optimal, sehingga menyebabkan ketidakefisienan operasional dan peningkatan biaya distribusi. Berikut merupakan alur proses bisnis yang saat ini diterapkan dalam merencanakan pengiriman.



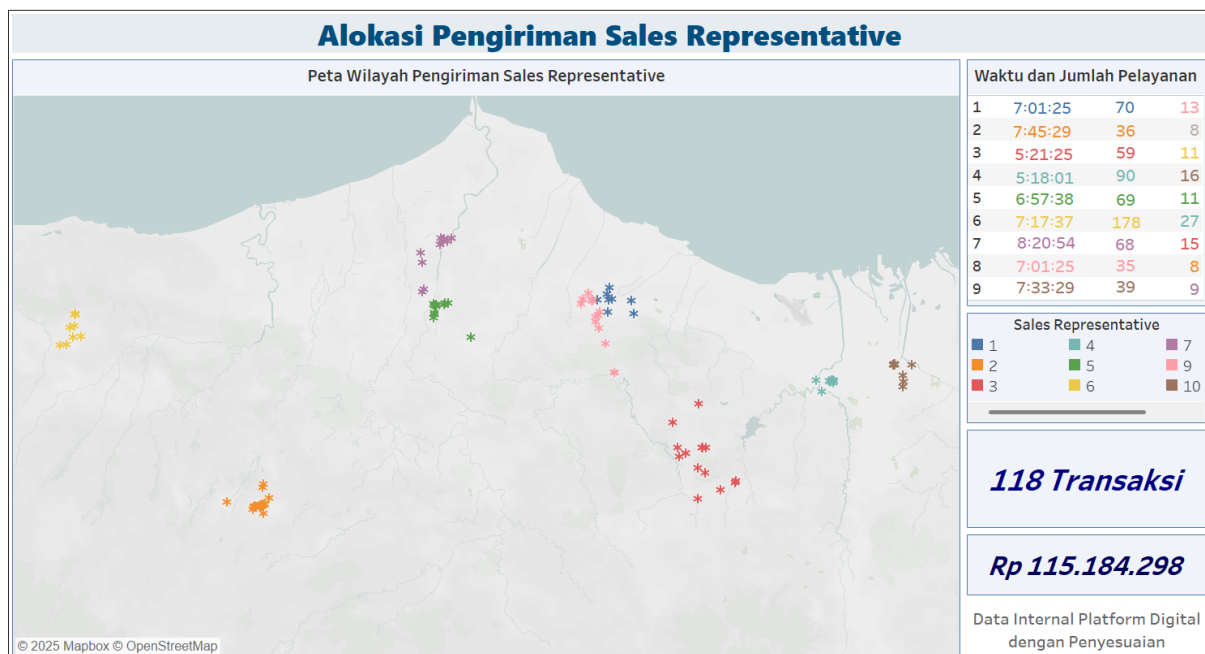
Gambar 1.2 Alur Perencanaan Pengiriman

Gambar 1.2 merupakan alur perencanaan pengiriman yang dilakukan oleh perusahaan platform digital saat ini. Secara singkat, proses dimulai dari entri pesanan oleh *customer* yang akan diterima oleh *admin*. Jadwal entri pesanan yang akan langsung diproses adalah maksimal pada pukul 17.00 WIB. Apabila terdapat *customer* yang melakukan entri pesanan di luar jadwal, maka akan diproses pada hari selanjutnya. Setelah pesanan diterima oleh *admin*, selanjutnya dilakukan pengecekan stok oleh pihak *warehouse*. Jika stok tidak tersedia, maka pesanan akan dibatalkan, sedangkan ketika stok tersedia, pesanan akan direkap oleh *admin* dan masuk dalam daftar pengiriman yang akan dilaksanakan pada hari selanjutnya. Dari daftar pengiriman yang sudah divalidasi oleh *admin*, selanjutnya dilakukan pengecekan availabilitas seluruh *sales representative* oleh *delivery planner* untuk menentukan alokasi secara detail. Jika seluruh *sales representative* tersedia, maka akan langsung ditugaskan untuk pengiriman pada titik-titik lokasi terdekat. Namun, ketika *sales representative* tidak tersedia seluruhnya, maka akan ditugaskan pada *sales representative* lain dengan lokasi yang terdekat dengan titik pengiriman. Setelah mendapatkan data pesanan dan *sales representative*, selanjutnya dilakukan rekap alokasi *sales representative* oleh *delivery planner* yang meliputi data lokasi koordinat lokasi, jumlah item, hingga revenue yang diperoleh. *Delivery planner* memberikan data tersebut kepada *Sales representative* maksimal 2 jam sebelum pengantaran yang dilaksanakan pada pukul 08.00 – 17.00 WIB. Setelah *sales representative* mendapatkan daftar pengiriman, selanjutnya dilakukan pengiriman pesanan kepada *customer* dengan urutan yang acak. Meskipun sudah terdapat pihak yang melakukan perencanaan pengiriman untuk *sales representative*, tetapi hasil alokasi pengiriman yang berjalan masih belum optimal dan kurang efisien yang berdampak pada peningkatan biaya operasional. Hal ini terjadi karena alur penentuan alokasi dilakukan dengan melihat ketersediaan seluruh *sales representative* terlebih dahulu untuk memastikan barang cepat diterima oleh *customer* tanpa melihat kemungkinan lain untuk mengoptimalkan utilitas dari *sales representative*. Sedangkan sistem pembayaran *sales representative* adalah dengan upah harian tanpa skema komisi. Akibatnya terjadi peningkatan biaya yang tidak seharusnya, baik karena pembayaran *sales representative* maupun biaya operasional lainnya. Berikut merupakan biaya yang dihasilkan dalam 1 hari operasional.

Tabel 1.1 Biaya Operasional Pengiriman Harian

<i>Sales Representative</i>	Upah Harian		Biaya Bensin	
1	Rp	135,000.00	Rp	12,400.00
2	Rp	135,000.00	Rp	12,400.00
3	Rp	135,000.00	Rp	12,400.00
4	Rp	135,000.00	Rp	12,400.00
5	Rp	135,000.00	Rp	12,400.00
6	Rp	135,000.00	Rp	12,400.00
7	Rp	135,000.00	Rp	12,400.00
8	Rp	135,000.00	Rp	12,400.00
9	Rp	135,000.00	Rp	12,400.00
Total	Rp	1,215,000.00	Rp	111,600.00
Total Biaya	Rp 1,326,600.00			

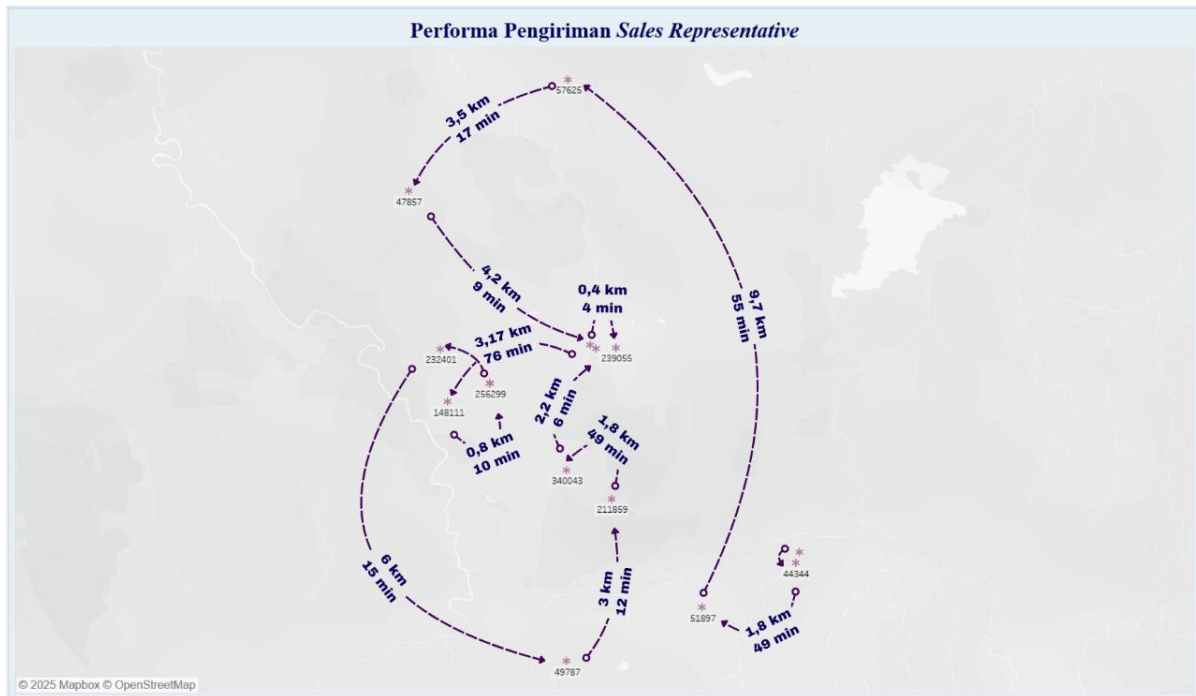
Berdasarkan Tabel 1.1 terlihat bahwa biaya operasional pada tanggal 15 Juni 2024 adalah sebesar Rp 1.326.600,00 untuk pengiriman wilayah pedesaan pada salah satu provinsi di Indonesia. Variabilitas terjadi pada biaya bensin yang dikeluarkan oleh masing-masing *sales representative* berbanding lurus dengan jarak yang ditempuh. Setiap *sales representative* memiliki area layanan sendiri yang bergantung pada permintaan di hari tersebut. Berikut merupakan rekap pengiriman yang dilakukan oleh *sales representative* pada tanggal 15 Juni 2024 mencakup area, waktu, jumlah *customer*, dan jumlah *box* yang dilayani.



Gambar 1.3 Alokasi Pengiriman Sales Representative

Berdasarkan Gambar 1.3, terlihat bahwa alokasi layanan dari masing-masing *sales representative* kurang merata. Dalam 1 hari terdapat 118 titik distribusi di Provinsi Jawa Tengah dengan total revenue Rp115.184.298 yang dilayani oleh 9 *sales representative*, dimana setiap *sales representative* bertanggung jawab atas 8 hingga 27 titik pengiriman per hari, dengan jumlah barang yang dikirim berkisar antara 35 hingga 178 *box*. Adanya variasi dari pesanan pelanggan yang berkisar antara 2 hingga 16 *box* per transaksi menyebabkan beban pengiriman setiap *sales representative* menjadi tidak seimbang. Selain itu, urutan pengiriman yang diterapkan saat ini dilakukan secara acak oleh *sales representative* tanpa mempertimbangkan jarak antar lokasi dan prioritas pelanggan yang menyebabkan perjalanan yang tidak efisien dan

waktu tempuh yang lebih panjang dari yang seharusnya. Pada kenyataannya, *sales representative* juga memiliki waktu *idle* yang cukup lama yang seharusnya dapat dimanfaatkan untuk pengiriman pada titik lokasi lainnya.



Gambar 1.4 Performa Waktu Pengiriman

Gambar 1.4 menunjukkan contoh performa waktu pengiriman dari salah satu *sales representative*. Dengan jarak yang sama, waktu untuk mengirim pesanan cukup bervariasi yang teridentifikasi sebagai *idle time*. Idealnya waktu pengiriman dengan jarak 1 km berkisar antara 4-6 menit. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa proses perencanaan rute distribusi yang dilakukan secara manual masih belum optimal dalam hal pemerataan beban kerja maupun efisiensi perjalanan. Permasalahan ini semakin kompleks ketika dihadapkan pada keterbatasan teknologi yang umum terjadi di wilayah pedesaan. Minimnya infrastruktur digital dan akses terhadap teknologi informasi menyebabkan proses perencanaan pengiriman sulit dilakukan secara otomatis dan *real-time*. Hal ini sejalan dengan penelitian Sinaga et al. (2022), yang menyatakan bahwa keterbatasan digitalisasi di pedesaan menjadi penghambat utama dalam penerapan sistem logistik yang efisien dan berbasis data. Selain itu, waktu yang tersedia untuk menyusun rencana pengiriman juga terbatas, sedangkan kompleksitas distribusi meningkat seiring bertambahnya titik pengantaran dan variasi permintaan pelanggan. Dengan demikian, tantangan utama yang dihadapi oleh *delivery planner* mencakup keterbatasan teknologi pendukung dan tekanan waktu dalam pengambilan keputusan yang cepat namun tetap efisien.

Untuk menjawab tantangan yang ada, dibutuhkan strategi logistik yang adaptif dan terstruktur guna menghasilkan perencanaan pengiriman yang optimal dengan dukungan teknologi yang sederhana. Pendekatan yang tepat tidak hanya mampu meningkatkan efisiensi waktu tempuh dan pemerataan beban kerja antar *sales representative*, tetapi juga memungkinkan pemanfaatan sumber daya yang ada secara maksimal. Salah satu pendekatan yang relevan adalah pemanfaatan metode pengelompokan wilayah dan penentuan rute yang dapat diimplementasikan melalui perangkat lunak sederhana seperti Microsoft Excel dengan bantuan VBA. Strategi ini memungkinkan *delivery planner* untuk melakukan perencanaan yang lebih sistematis, berbasis data, dan dapat dijalankan secara praktis tanpa memerlukan infrastruktur teknologi yang kompleks.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah membahas optimasi distribusi menggunakan pendekatan matematis dan algoritma heuristik. Zhu Xiaojing (2023) menyoroti penggunaan big data dalam optimasi rantai pasok pedesaan, sementara Asmara & Ichtiarto (2021) mengusulkan pendekatan p-Median untuk menentukan lokasi pusat distribusi yang optimal. Namun, penelitian-penelitian ini masih memiliki keterbatasan dalam aspek segmentasi pelanggan berbasis nilai transaksi dan lokasi geografis, serta perencanaan rute *sales representative* secara sistematis. Untuk menjawab tantangan ini, penelitian ini mengusulkan pendekatan *Cluster First Route Second* (CFRS) yang mengoptimalkan distribusi *sales representative* melalui pengelompokan lokasi dan penentuan rute kunjungan secara efisien. Dalam tahap awal, *Nearest Neighbor Clustering* digunakan untuk mengelompokkan titik distribusi berdasarkan lokasi geografis. Pengelompokan ini bertujuan membentuk zona kunjungan yang lebih terfokus, sekaligus sebagai dasar estimasi kebutuhan jumlah *sales representative* berdasarkan sebaran dan jumlah pelanggan dalam setiap kluster. Setelah pembentukan kluster, optimasi rute kunjungan dalam masing-masing kluster dilakukan menggunakan *Traveling Salesman Problem* (TSP) dengan algoritma *Nearest Neighbor*. Pendekatan ini mempertimbangkan efisiensi jarak tempuh sekaligus prioritas pelanggan berdasarkan nilai transaksi, sehingga memungkinkan penyusunan rute kunjungan yang tidak hanya meminimalkan jarak, tetapi juga memaksimalkan potensi nilai yang dihasilkan dari setiap kunjungan. Penentuan rute hanya dilakukan berdasarkan jarak tempuh dan nilai transaksi karena perencanaan dilakukan secara harian.

Dalam konteks keterbatasan infrastruktur digital di banyak wilayah distribusi, dibutuhkan strategi logistik yang adaptif dan terstruktur dengan dukungan teknologi sederhana. Salah satu pendekatan yang relevan adalah pemanfaatan Microsoft Excel berbasis *Visual Basic Applications* (VBA), yang memungkinkan penyusunan rute secara otomatis, fleksibel, dan mudah digunakan oleh *delivery planner* di lapangan. Studi oleh Wicaksono & Kusniawati (2022) membuktikan bahwa algoritma heuristik yang diimplementasikan dalam VBA mampu menghasilkan rute optimal dalam sistem pengiriman bahan baku, dengan penurunan biaya logistik secara signifikan. Selain itu, penelitian oleh Muhayyaroh et al. (2023) menunjukkan bahwa penggunaan metode *Saving Matrix* dan *Nearest Insertion* berbasis VBA Excel dapat meningkatkan kecepatan dan akurasi dalam pengambilan keputusan distribusi, sekaligus mengurangi potensi human error dalam perhitungan manual. Dengan dukungan VBA, sistem CFRS ini tidak hanya mampu mengotomatisasi proses pengelompokan dan perencanaan rute, tetapi juga dapat dioperasikan secara praktis tanpa memerlukan infrastruktur teknologi kompleks. Dari sisi akademik, penelitian ini menawarkan pendekatan integratif dalam perencanaan distribusi berbasis *constraint programming*, yang menggabungkan pengelompokan lokasi dan perencanaan rute berbobot. Dari sisi industri, model ini berpotensi menurunkan biaya operasional melalui pengurangan jarak tempuh dan waktu perjalanan, meningkatkan efektivitas distribusi, serta memperkuat strategi kunjungan berbasis data dalam konteks jaringan distribusi pedesaan maupun wilayah dengan keterbatasan teknologi.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana rancangan strategi logistik mengenai jumlah *sales representative*, batasan area, serta rute pengiriman guna meningkatkan efisiensi operasional dalam jaringan distribusi pedesaan dengan memastikan rute yang lebih optimal dan prioritas pelanggan yang lebih terstruktur melalui pengembangan model optimasi *Clustering First Route Second* (CFRS) dengan *Nearest Neighbor Clustering* dan *Traveling Salesman Problem* dalam *Virtual Basic Applications* (VBA).

1.3 Tujuan

Di dalam penelitian ini, terdapat beberapa tujuan yang ingin dicapai. Tujuan-tujuan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Menentukan jumlah *sales representative* yang optimal dalam sistem distribusi untuk memastikan pemerataan beban kerja dan peningkatan efisiensi operasional.
2. Menganalisis batasan area dalam jaringan distribusi guna mengelompokkan titik pengiriman secara lebih terstruktur untuk memudahkan perencanaan rute.
3. Mengembangkan model optimasi rute pengiriman *sales representative* dengan pendekatan TSP dalam VBA, yang mempertimbangkan efisiensi jarak tempuh serta prioritas pelanggan berdasarkan nilai transaksi.
4. Mengukur peningkatan efisiensi yang dihasilkan oleh metode optimasi rute berbasis VBA dibandingkan dengan metode *routing* manual yang diterapkan perusahaan saat ini.

1.4 Manfaat

Manfaat yang akan diperoleh melalui penelitian ini antara lain:

1. Meningkatkan efisiensi operasional dalam jaringan distribusi pedesaan dengan optimasi jumlah *sales representative* dan rute pengiriman guna meminimalkan jarak tempuh serta biaya operasional.
2. Memberikan strategi segmentasi wilayah berbasis *Nearest Neighbor Clustering* untuk memastikan alokasi kerja *sales representative* lebih terstruktur dan distribusi barang lebih efektif.
3. Menjadi acuan dalam perencanaan distribusi berbasis teknologi melalui penerapan CFRS dan TSP berbasis VBA, sehingga dapat meningkatkan efektivitas rantai pasok dan kualitas layanan pelanggan.
4. Mendukung optimalisasi distribusi di daerah dengan infrastruktur terbatas, sehingga perusahaan dapat lebih adaptif dalam menghadapi tantangan logistik dan meningkatkan aksesibilitas produk bagi masyarakat pedesaan.

1.5 Batasan dan Asumsi

Berikut merupakan batasan dan asumsi yang digunakan dalam penelitian ini.

1.5.1 Batasan

Batasan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Wilayah yang diteliti hanya pada satu kota pada salah satu provinsi di Indonesia.
2. Data yang akan dimodelkan adalah data transaksi harian agar bisa digunakan untuk kegiatan operasional perusahaan.
3. Sumber data berasal dari data transaksi harian perusahaan yang sudah dilakukan penyesuaian
4. Gaji *sales representative* adalah upah harian dengan nilai yang sama tanpa skema intensif.

1.5.2 Asumsi

Adapun asumsi dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Armada transportasi yang digunakan adalah sama.
2. Tidak terdapat disrupsi pada rute pengiriman yang menyebabkan terhalangnya pengiriman seperti kecelakaan, banjir, dan musibah lainnya.

3. Parameter/variabel yang bersifat stokastik selain waktu *loading unloading* diasumsikan deterministik (kecepatan pengiriman, biaya, aspek operasional, dan lain sebagainya).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan mengenai tinjauan pustaka yang akan menjadi acuan dan dasar penulis untuk melakukan penelitian ini. Berikut merupakan penjelasan dari tinjauan pustaka penelitian ini.

2.1 Dasar Teori

Subbab ini menjelaskan mengenai dasar-dasar teori dari metode yang digunakan pada pengerjaan Tugas Akhir. Dasar teori ini memberikan gambaran umum mengenai landasan dari Tugas Akhir ini.

2.1.1 *Distribusi dan Logistik Pedesaan*

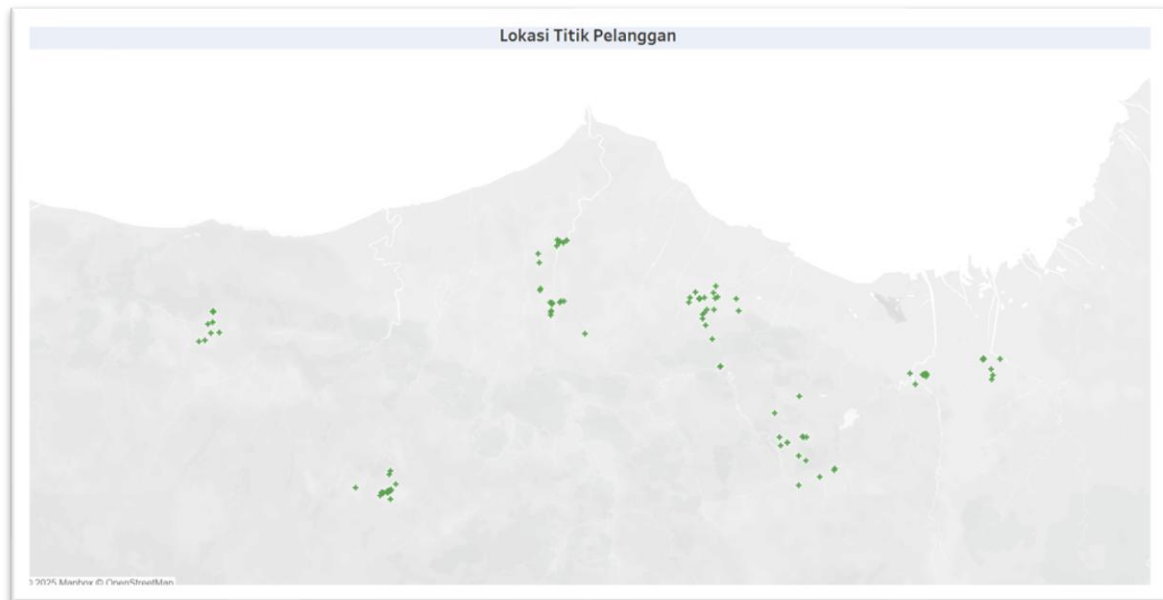
Distribusi merupakan kegiatan inti dalam sistem logistik yang bertujuan mengalirkan barang dari produsen ke konsumen akhir melalui rantai pasok yang efisien dan efektif. Dalam konteks pedesaan, proses distribusi menghadapi tantangan yang jauh lebih kompleks dibandingkan kawasan urban, seperti keterbatasan infrastruktur, kondisi geografis yang sulit, serta rendahnya volume dan frekuensi permintaan (Sarkar & Bandyopadhyay, 2020). Logistik pedesaan didefinisikan sebagai proses pengelolaan aliran barang dan informasi untuk mendukung kehidupan ekonomi dan sosial masyarakat di wilayah pedesaan. Menurut Chopra & Meindl (2016), logistik pedesaan memiliki peran strategis dalam menjembatani ketimpangan akses terhadap produk, layanan, dan peluang ekonomi antara wilayah perkotaan dan pedesaan. Distribusi barang ke wilayah pedesaan tidak hanya menuntut efisiensi biaya, tetapi juga ketahanan terhadap kondisi infrastruktur yang terbatas, topografi menantang, serta kepadatan penduduk yang rendah. Oleh karena itu, pendekatan distribusi pedesaan harus mempertimbangkan kombinasi antara optimasi rute, fleksibilitas armada, dan kebijakan pelayanan sosial (Fan et al., 2005).

Menurut Cao et al. (2018) dan Mulrooney & Segerson (2006), karakteristik sistem logistik di wilayah pedesaan dapat diidentifikasi sebagai berikut:

1. Volume Permintaan Rendah dan Tidak Stabil: Konsumen di pedesaan cenderung melakukan pembelian dalam skala kecil dan tidak reguler, sehingga efisiensi logistik sulit dicapai dengan pendekatan konvensional.
2. Jangkauan Geografis Luas dengan Akses Terbatas: Wilayah yang terpencil dengan infrastruktur terbatas seperti jalan rusak atau belum beraspal menyulitkan distribusi tepat waktu.
3. Minimnya Konsolidasi Muatan: Tidak adanya pusat distribusi regional menyebabkan pengiriman barang dilakukan secara individual dan terpisah, meningkatkan biaya logistik per satuan unit.
4. Keterbatasan Teknologi dan SDM: Rendahnya literasi digital dan teknologi informasi membatasi kemampuan pelacakan, integrasi sistem informasi logistik, dan efisiensi operasional lainnya.
5. Frekuensi Permintaan Rendah: Karena kepadatan penduduk yang lebih kecil dan aktivitas ekonomi yang terbatas, permintaan terhadap distribusi barang cenderung sporadis, menyebabkan biaya per unit distribusi lebih tinggi.
6. Fungsi Sosial: Distribusi ke pedesaan seringkali tidak hanya dilihat sebagai kegiatan bisnis, tetapi juga sebagai sarana pemerataan ekonomi dan pemenuhan kebutuhan dasar masyarakat.

Distribusi ke daerah pedesaan memerlukan pendekatan yang berbeda dari sistem distribusi konvensional. Beberapa tantangan utama yang diidentifikasi Sullivan et al (2021) meliputi: (1)

Fragmentasi titik layanan, di mana pelanggan tersebar luas sehingga sulit untuk mengkonsolidasikan permintaan, (2) Kurangnya teknologi informasi yang menyebabkan keterbatasan dalam pelacakan dan pemantauan distribusi, dan (3) Keterbatasan modal usaha lokal yang menyebabkan rendahnya investasi dalam fasilitas distribusi seperti gudang mikro atau *cold chain*. Dalam penelitian ini, tantangan mengenai fregmentasi titik layanan menjadi fokus utama untuk diselesaikan seperti terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Lokasi Titik Pelanggan

Untuk mengatasi berbagai tantangan tersebut, diperlukan pendekatan distribusi yang bersifat inklusif dan adaptif. Beberapa strategi yang umum diterapkan antara lain:

1. Model Konsolidasi Rute dan Pengiriman Terjadwal: Penggabungan permintaan dari berbagai desa ke dalam satu rute distribusi dapat mengurangi frekuensi perjalanan kosong dan menekan biaya transportasi (Taniguchi et al., 2020).
2. Penggunaan Kendaraan Kecil atau Fleksibel: Penggunaan kendaraan roda dua, motor listrik, atau kendaraan ringan lainnya lebih sesuai untuk medan pedesaan dan volume barang yang terbatas (Hirata et al., 2022).
3. Logistik Terintegrasi dengan Layanan Sosial: Logistik dapat digabungkan dengan layanan pos, kesehatan, atau pendidikan untuk mengurangi beban operasional dan memperluas jangkauan (Saghafian & Van Oyen, 2019).
4. Pemanfaatan Teknologi Informasi Berbasis Komunitas: Sistem informasi sederhana berbasis mobile dapat mendukung pelaporan stok, permintaan barang, serta pelacakan pengiriman secara real-time.

Penguatan sistem logistik pedesaan memberikan manfaat jangka panjang bagi pembangunan nasional. Menurut *Asian Development Bank* (2017), logistik yang efisien di daerah pedesaan berkontribusi terhadap peningkatan pendapatan petani dan pelaku UMKM melalui akses pasar yang lebih luas, pengurangan disparitas harga barang antara wilayah desa dan kota, percepatan pemerataan pembangunan infrastruktur logistik, hingga terdorongnya inklusi ekonomi melalui integrasi desa ke dalam sistem rantai pasok nasional. Dengan demikian, perencanaan logistik pedesaan tidak hanya dilihat sebagai solusi teknis distribusi, tetapi juga sebagai instrumen pembangunan ekonomi dan pengentasan kemiskinan wilayah.

2.1.2 Teknologi dan Digitalisasi dalam Distribusi Pedesaan

Digitalisasi telah menjadi penggerak utama dalam transformasi sistem distribusi dan rantai pasok, termasuk pada wilayah pedesaan. Dalam konteks distribusi pedesaan, teknologi berperan sebagai jembatan antara keterbatasan infrastruktur fisik dengan kebutuhan akan sistem distribusi yang efisien, transparan, dan adaptif. Menurut Wilding & Khan (2013), teknologi digital memungkinkan optimalisasi logistik melalui otomatisasi data, pelacakan *real-time*, pengelolaan permintaan berbasis sistem, serta integrasi antarpemangku kepentingan dalam rantai pasok. Distribusi di wilayah rural cenderung menghadapi tantangan geografis, topografi sulit, serta konektivitas yang rendah. Maka, digitalisasi hadir sebagai pendekatan non-fisik yang memperbaiki efisiensi dan keandalan operasional (De Marchi et al., 2022). Inisiatif seperti penggunaan *Internet of Things* (IoT), aplikasi *mobile* berbasis *cloud*, dan *sistem informasi geografis* (GIS) semakin penting untuk memperkuat visibilitas distribusi dan pengambilan keputusan berbasis data.

Menurut Yossi Sheffi (2015), digitalisasi dalam logistik mencakup penggunaan teknologi informasi untuk mendukung pengambilan keputusan, mengurangi kesalahan manusia, serta mempercepat respons terhadap dinamika permintaan dan gangguan rute. Dalam konteks pedesaan, beberapa aplikasi teknologi yang berperan krusial antara lain:

- a. Sistem Informasi Logistik (LIS): Mendukung perencanaan pengiriman, pengelolaan inventaris, serta pelaporan secara digital.
- b. *Global Positioning System* (GPS) & *Geographic Information System* (GIS): Membantu dalam penentuan rute optimal, pelacakan armada secara *real-time*, serta pemetaan akses ke desa-desa terpencil.
- c. *Mobile Application & Cloud Platform*: Memberikan kemudahan bagi operator lokal untuk mengakses data permintaan, mengatur jadwal pengiriman, dan melakukan verifikasi pengantaran dengan perangkat sederhana.
- d. *Big Data Analytics*: Mengolah data permintaan, pola konsumsi, serta informasi transportasi untuk memprediksi kebutuhan distribusi secara lebih akurat (Ivanov et al., 2019).

Meskipun teknologi memberikan berbagai keunggulan, implementasinya di wilayah pedesaan tidak lepas dari tantangan. Berdasarkan temuan dari Heeks & Renken (2018), tantangan tersebut mencakup:

1. Keterbatasan Infrastruktur Digital: Masih banyak wilayah pedesaan yang belum memiliki akses internet stabil dan perangkat teknologi pendukung.
2. Rendahnya Literasi Digital: Masyarakat dan operator distribusi di desa sering kali belum terbiasa menggunakan aplikasi atau sistem informasi modern.
3. Kapasitas Finansial: Investasi awal untuk adopsi teknologi (perangkat, pelatihan, dan pemeliharaan sistem) bisa menjadi beban bagi pelaku distribusi lokal.



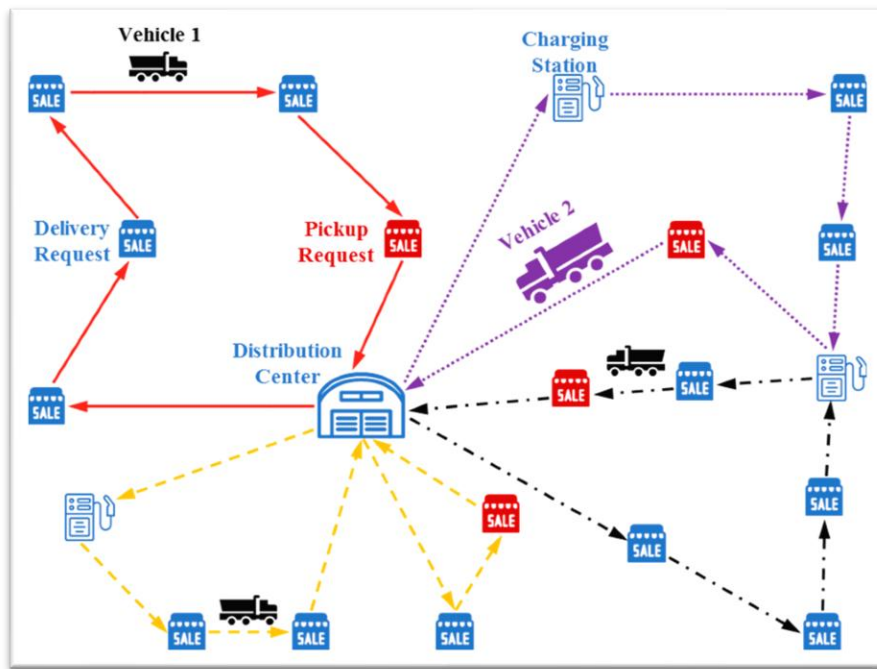
Gambar 2.2 Implementasi ERP dalam Logistik

Sumber: (Fleetcx, 2022)

Gambar 2.2 menunjukkan implementasi ERP dalam logistik. Berbagai studi menunjukkan implementasi teknologi di sektor distribusi pedesaan berhasil meningkatkan efisiensi dan ketepatan distribusi, seperti yang dilakukan oleh Chandra & Saraswati (2020) yang berhasil mengimplementasikan *dashboard* Excel berbasis VBA pada distribusi bahan pokok pedesaan terbukti mempercepat waktu proses hingga 40% dan mengurangi kesalahan input. Kemudian De Marchi et al. (2022) mencatat bahwa integrasi sistem *Enterprise Resource Planning* (ERP) ringan pada program distribusi pangan di wilayah Afrika Timur mampu meningkatkan ketepatan waktu pengiriman hingga 85%.

2.1.3 Optimasi Rute dan Distribusi

Optimasi rute dan distribusi merupakan bagian krusial dari manajemen rantai pasok yang bertujuan untuk menentukan jalur pengiriman barang yang paling efisien, dengan mempertimbangkan kendala seperti jarak tempuh, kapasitas kendaraan, waktu pelayanan, dan permintaan pelanggan. Menurut Laporte & Semet (2002), optimasi rute tidak hanya berkaitan dengan penurunan biaya operasional logistik, tetapi juga berdampak langsung terhadap peningkatan kepuasan pelanggan dan efisiensi sumber daya. Masalah optimasi rute secara umum dapat dimodelkan dalam bentuk *Vehicle Routing Problem* (VRP), sebuah perluasan dari *Traveling Salesman Problem* (TSP) yang mempertimbangkan banyak kendaraan dan titik layanan. Penelitian dalam bidang ini telah berkembang dengan pendekatan algoritmik seperti algoritma heuristik, metaheuristik, dan pemrograman matematis untuk mencari solusi optimal atau mendekati optimal.



Gambar 2.3 Ilustrasi *Vehicle Routing Problem*

Sumber: (Zhao & Lu, 2019)

Gambar 2.3 merupakan ilustrasi dari salah satu model optimasi rute dan distribusi, yaitu VRP. Menurut Applegate et al. (2007), tujuan utama dari optimasi rute adalah meminimalkan total jarak atau waktu tempuh kendaraan dengan tetap memenuhi seluruh permintaan pelanggan. Optimisasi ini menjadi semakin kompleks dengan adanya kendala nyata seperti waktu kerja sopir, waktu pelayanan (*time windows*), dan kapasitas kendaraan (*capacity constraint*). Tujuan optimasi rute dalam distribusi secara umum mencakup:

1. Pengurangan Biaya Transportasi: Termasuk biaya bahan bakar, biaya operasional kendaraan, dan biaya tenaga kerja.
2. Efisiensi Waktu Pengiriman: Menurunkan waktu tempuh dan keterlambatan pengiriman untuk meningkatkan kepuasan pelanggan.
3. Penggunaan Armada yang Efisien: Mengoptimalkan jumlah dan kapasitas kendaraan agar tidak terjadi pemborosan.
4. Kepatuhan terhadap Kendala Operasional: Termasuk waktu kerja, kapasitas, dan batasan geografis.

Terdapat beberapa pendekatan yang sering digunakan dalam optimasi rute antara lain:

1. Algoritma Eksak: Pendekatan seperti *Linear Programming*, *Branch and Bound*, dan *Integer Programming* dapat memberikan solusi optimal untuk kasus kecil hingga menengah.
2. Algoritma Heuristik: Digunakan untuk mempercepat pencarian solusi, seperti *Nearest Neighbor*, *Clarke & Wright Savings Algorithm*, dan *Sweep Algorithm*.
3. Algoritma Metaheuristik: Pendekatan berbasis optimasi global seperti *Genetic Algorithm*, *Simulated Annealing*, dan *Ant Colony Optimization* digunakan untuk kasus besar dan kompleks.
4. *Hybrid Approaches*: Kombinasi antara heuristik dan algoritma optimasi lain untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi solusi.

Menurut Toth & Vigo (2014), beberapa tantangan yang sering dihadapi dalam optimasi rute dan distribusi meliputi:

1. Kompleksitas Komputasi: Banyaknya kombinasi rute yang mungkin membuat proses pencarian solusi optimal menjadi *NP-hard*.
2. Dinamika Permintaan: Permintaan pelanggan yang berubah-ubah memerlukan sistem rute yang adaptif dan responsif.
3. Keterbatasan Data dan Sistem Informasi: Kurangnya data historis dan sistem pendukung keputusan menghambat proses optimasi secara menyeluruh.
4. Kendala Nyata di Lapangan: Misalnya kondisi lalu lintas, cuaca buruk, dan keterlambatan layanan yang sulit dimodelkan secara deterministik.

Beberapa studi telah dilakukan dalam optimasi rute dan distribusi, seperti yang dilakukan oleh Wicaksono & Kusniawati (2023) menunjukkan bahwa implementasi algoritma *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) dalam pengiriman bahan baku mampu mengurangi jarak tempuh hingga 3.5% dan biaya logistik sebesar 4%. Sementara itu, Ekra Sanggala (2020) menerapkan algoritma *Savings* berbasis VBA Excel dalam sistem distribusi sederhana dan berhasil menurunkan total jarak pengiriman menjadi hanya 47 km untuk 4 rute berbeda, memperlihatkan efektivitas pendekatan heuristik dalam konteks lokal.

2.1.4 Cluster First Route Second (CFRS) Approach

Pendekatan *Cluster First Route Second* (CFRS) merupakan metode heuristik yang umum digunakan dalam menyelesaikan permasalahan rute khususnya dalam konteks *Vehicle Routing Problem* (VRP). Menurut Forsberg dan Nordovist (2023), pendekatan CFRS menawarkan strategi pengelompokan tanpa terlebih dahulu mempertimbangkan rute dalam setiap kluster. Metode ini menarik untuk diterapkan karena mampu menyederhanakan masalah kompleks dan mengurangi waktu komputasi yang biasanya panjang.

Menurut hasil studi oleh Putri et al. (2021) dan Chandra & Bambang (2019), pendekatan CFRS memiliki keunggulan sebagai berikut:

1. Efisien:
CFRS mampu bekerja lebih cepat dibandingkan pendekatan lain, terutama dalam skala besar. Metode ini mengurangi jumlah rute yang harus dihitung, sehingga mempercepat proses komputasi dengan hasil yang cukup optimal.
2. Fleksibel:
CFRS dapat diterapkan pada berbagai jenis masalah routing, termasuk VRP dan *Inventory Routing Problem*, karena fleksibilitasnya terhadap jenis data yang bervariasi.
3. Robust:
Pendekatan ini mampu menyesuaikan diri dengan dinamika konsumen dan perubahan kondisi, menjadikannya adaptif terhadap berbagai skenario distribusi.

Selain keunggulan dari pendekatan CFRS yang sudah dijelaskan, juga terdapat beberapa kekurangan dari pendekatan CFRS. Berikut merupakan kekurangan dari pendekatan CFRS:

1. Kualitas:
Karena sifatnya heuristik, CFRS tidak selalu memberikan solusi terbaik secara global dan bisa saja memerlukan waktu lebih lama dibandingkan metode eksak.
2. Kompleksitas:
Struktur kluster yang terbentuk bisa sangat bervariasi, dan penyesuaian terhadap data yang heterogen dapat menjadi lebih sulit.
3. Algoritma Pengklasteran:

Kualitas hasil sangat bergantung pada metode pengelompokan awal yang digunakan, sehingga hasil akhir CFRS dipengaruhi oleh akurasi dan ketepatan metode klasterisasi tersebut.

Menurut Putri et al.(2021), *Cluster First Route Second (CFRS)* memakai pendekatan 2 langkah, yaitu sebagai berikut:

2.1.4.1 Fase Pengelompokan/Identifikasi Klaster

Pada tahap ini, titik-titik pelanggan dikelompokkan menjadi beberapa klaster berdasarkan karakteristik masing-masing. Berikut adalah tahapan dalam proses klasterisasi:

1. Pengumpulan Data:
Pada tahapan ini, data-data fitur pengklasteran dikumpulkan. Data-data fitur yang biasanya digunakan terdiri dari data jarak antar lokasi, data permintaan, dan data kendala khusus (time windows, kapasitas kendaraan, dan lain-lain).
2. Pemrosesan Data:
Pada tahapan ini, data-data fitur akan diproses. Pemrosesan data yang biasanya digunakan adalah normalisasi dan penanganan outlier.
3. Pemilihan Metode Klasterisasi:
Pada tahapan ini, metode pengklasteran akan dipilih. Metode pengklasteran ini dipilih berdasarkan kebutuhan dan karakteristik dari masalah yang akan diselesaikan. Berikut merupakan beberapa metode pengklasteran yang dapat digunakan:
 - a. *K-means Clustering*:
Mengelompokkan titik berdasarkan pusat klaster (*centroid*). Cocok untuk data bentuk bulat, namun tidak efektif untuk data bentuk kompleks.
 - b. *Hierarchical Clustering*:
Menyusun data dalam bentuk hierarki tanpa memerlukan jumlah klaster di awal. Kelemahannya adalah kebutuhan komputasi yang tinggi.
 - c. *Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN)*:
Klasterisasi berdasarkan kepadatan data. Cocok untuk data tidak beraturan, namun sensitif terhadap parameter input.
 - d. *Nearest Neighbor Clustering*:
Mengelompokkan data berdasarkan kedekatan antar titik dengan menggunakan jarak terdekat sebagai dasar pengelompokan. Metode ini intuitif dan sederhana, serta cocok digunakan untuk data spasial atau sekuensial. Namun, metode ini dapat menghasilkan hasil yang buruk apabila terdapat outlier atau distribusi data yang tidak merata.
4. Evaluasi dan Validasi Klaster:
Tahapan validasi dan evaluasi ini dapat menggunakan validasi internal seperti *silhouette score* dan juga validasi eksternal seperti dengan perbandingan terhadap *ground truth* jika tersedia.

2.1.4.2 Fase Penentuan Rute dalam Klaster

Setelah proses klasterisasi selesai, rute dalam setiap klaster ditentukan secara independen. Penentuan rute ini bertujuan untuk menemukan jalur optimal dari depot ke seluruh titik dalam klaster dan kembali lagi. Biasanya, metode yang digunakan adalah algoritma *Traveling Salesman Problem (TSP)*, seperti *Nearest Neighbor*, *Genetic Algorithm*, maupun pendekatan lainnya yang sesuai dengan karakteristik data dan kebutuhan distribusi.

2.1.5 *Nearest Neighbor Clustering dalam Optimasi Distribusi*

Nearest Neighbor Clustering merupakan pendekatan klasterisasi yang memanfaatkan kedekatan spasial antar titik data untuk mengelompokkan data ke dalam sejumlah klaster yang

telah ditentukan sebelumnya. Dalam konteks ini, nilai k merujuk pada jumlah klaster yang menjadi parameter input utama, bukan jumlah tetangga terdekat seperti pada algoritma *K-Nearest Neighbors* (KNN). Pendekatan ini relevan untuk kasus distribusi di mana wilayah layanan perlu dibagi menjadi sejumlah segmen berdasarkan lokasi pelanggan secara geografis.

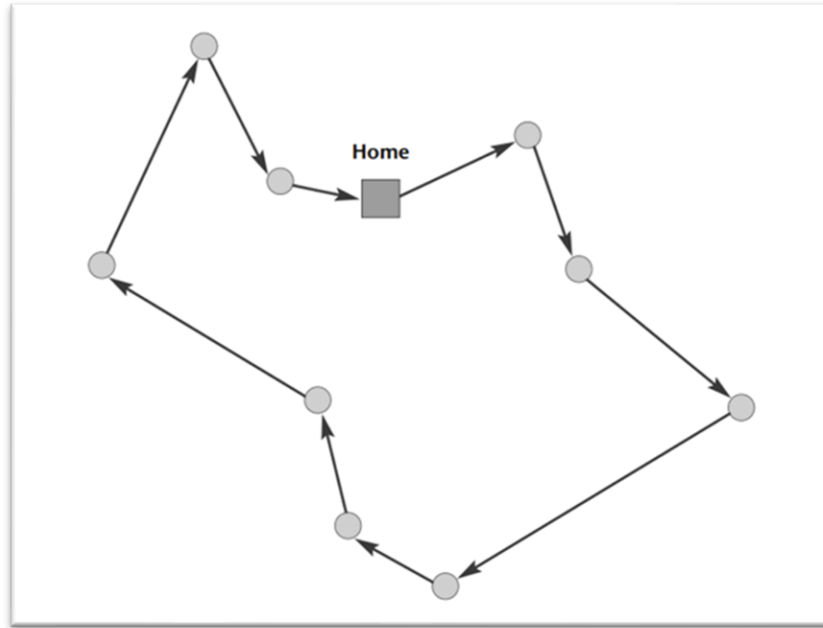
Wong dan Lane (1983) memperkenalkan prosedur klasterisasi berbasis *K-Nearest Neighbor* yang menggabungkan estimasi densitas lokal dengan metode single linkage hierarchical clustering. Dalam prosedur tersebut, data dikelompokkan berdasarkan estimasi kerapatan lokal dengan mempertimbangkan jarak ke titik-titik terdekat, dan kemudian dikonstruksi struktur klaster secara hirarkis. Meskipun konsep dasar dari metode ini berakar pada relasi antar tetangga terdekat, struktur hasil akhir tetap dikontrol oleh jumlah klaster k yang telah ditentukan.

Selanjutnya, Bubeck dan von Luxburg (2009) mengembangkan kerangka teoritis bagi metode klasterisasi berbasis tetangga terdekat, yang disebut sebagai *Nearest Neighbor Clustering* (NNC). Mereka menunjukkan bahwa pendekatan ini dapat digunakan untuk menyelesaikan fungsi objektif seperti *RatioCut* dan *Normalized Cut* secara konsisten, selama jumlah klaster k ditentukan sejak awal. Hal ini memperkuat justifikasi penggunaan pendekatan ini dalam pengelompokan spasial untuk keperluan segmentasi operasional, karena NNC terbukti dapat menghasilkan partisi yang stabil secara statistik dan tidak sensitif terhadap *noise*. Dalam praktiknya, pendekatan ini digunakan untuk membagi wilayah distribusi menjadi k klaster berdasarkan kedekatan lokasi antar pelanggan. Pemilihan nilai k didasarkan pada kebutuhan distribusi, jumlah armada yang tersedia, serta hasil simulasi atau eksperimen yang menunjukkan konfigurasi klaster terbaik dalam hal efisiensi rute. Pendekatan ini termasuk dalam *framework Cluster First Route Second* (CFRS), di mana pengelompokan pelanggan dilakukan terlebih dahulu untuk membentuk wilayah kerja yang lebih terstruktur sebelum dilakukan optimasi rute dalam setiap klaster.

Dengan menggunakan k sebagai jumlah klaster yang ditentukan di awal, *Nearest Neighbor Clustering* memberikan fleksibilitas dalam pembentukan wilayah distribusi yang seimbang dan efisien. Pendekatan ini mengurangi beban komputasi dibanding metode yang menyesuaikan jumlah klaster secara otomatis, dan tetap mempertahankan ketepatan spasial dengan mempertimbangkan jarak antar titik data sebagai kriteria utama pembentukan klaster.

2.1.6 *Traveling Salesman Problem*

Dalam proses perencanaan transportasi, terdapat berbagai aspek penting yang harus diperhatikan, seperti kebutuhan armada, penjadwalan, perawatan layanan, peningkatan kualitas, dan sebagainya. Salah satu isu utama dalam transportasi yang erat kaitannya adalah penentuan rute kendaraan distribusi. Permasalahan utama dalam penentuan rute adalah mencari rute paling efisien untuk mengirimkan barang ke pelanggan. Salah satu bentuk dasar dari permasalahan ini dikenal dengan *Traveling Salesman Problem* (Waters, 2003), yang menggambarkan bagaimana seorang sales harus mengunjungi semua pelanggan dan mencari jalur terpendek yang memungkinkan seperti ilustrasi pada Gambar 2.6. Pemilihan kombinasi rute yang paling efisien sangat kompleks dan membutuhkan pertimbangan khusus.



Gambar 2.4 Contoh Travelling Salesman Problem
Sumber: (Waters, 2003)

Permasalahan *Traveling Salesman Problem* (TSP) merupakan persoalan kombinatorial di mana setiap titik lokasi hanya boleh dikunjungi sekali. Permasalahan ini biasanya diselesaikan dengan pendekatan matematis, terutama melalui *Linear Programming*. Menurut Dantzig et al (1954) serta Prause (2021), TSP dapat dirumuskan secara matematis seperti berikut:

$$\begin{aligned}
 Z = \min \sum_{(i,j) \in E} d_{ij} x_{ij} \\
 \text{s.t.} \\
 \sum_{j \in V} x_{ij} = 2 \quad \forall i \in V \\
 \sum_{i,j \in S, i \neq j} x_{ij} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subseteq V, S \neq \emptyset \\
 x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

Dimana:

- x_{ij} = *binary decision variable* yang menentukan apakah (i, j) dilewati atau tidak
- d_{ij} = panjang rute (i, j)

Pada kasus penentuan rute, terdapat banyak faktor seperti jenis kendaraan, kompartemen dalam kendaraan, produk yang dimuat, fasilitas logistik, jendela waktu pengiriman, biaya, dan penjadwalan. Untuk mendapatkan solusi terkait dengan permasalahan ini, beberapa metode telah dikembangkan dengan pendekatan tertentu. Dalam penentuan rute, pendekatan geografis bisa dilakukan untuk mencari rute terbaik. Di sisi lain, penentuan rute terbaik juga bisa ditentukan berdasarkan jaringan rute perjalanan dan mencari rute terpendek yang harus dilalui. Menurut Waters (2003) metode-metode yang dapat diterapkan dalam penyelesaian kasus penentuan rute distribusi antara lain sebagai berikut.

- Negosiasi

Pengambilan keputusan mengenai rute kerap kali bersifat subjektif dan melibatkan banyak pihak. Metode negosiasi digunakan untuk mencapai kesepakatan terbaik di antara para pemangku kepentingan. Secara teknis, metode ini tidak selalu memberikan hasil optimal, tetapi cukup representatif untuk situasi tertentu.

b. Penyesuaian Rencana

Penentuan rute umumnya dilakukan berdasarkan rencana awal yang stabil, tetapi perlu dievaluasi secara berkala melalui review agar tetap relevan. Penyesuaian rencana dilakukan untuk mengakomodasi gangguan dan perubahan rute secara fleksibel dan cepat.

c. Metode Intuitif

Digunakan oleh perencana yang mengandalkan pengalaman dan pengetahuan terdahulu. Biasanya metode ini menggunakan pendekatan heuristik berdasarkan keberhasilan masa lalu.

d. Peta

Penentuan rute berdasarkan representasi grafis melalui peta yang diperbarui secara iteratif. Metode ini memberikan pemahaman visual terhadap rute yang dipilih dan mempermudah proses identifikasi rute terbaik.

e. Kalkulasi *Spreadsheet*

Pendekatan berbasis spreadsheet membantu penghitungan rute dengan cara yang terstruktur dan efisien. Spreadsheet memudahkan penyusunan daftar pelanggan, jadwal pengiriman, dan informasi lainnya.

f. Simulasi

Metode ini mensimulasikan kondisi nyata dari sistem pengiriman dalam rentang waktu tertentu. Simulasi komputer memungkinkan pengujian berbagai skenario rute dan pola pengiriman.

g. *Expert System*

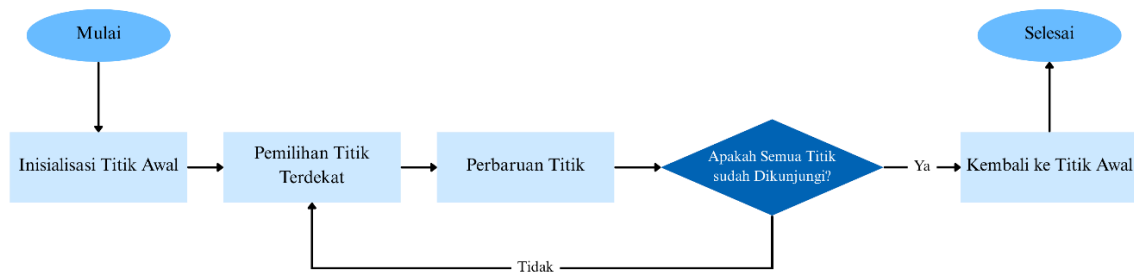
Sistem pakar meniru kemampuan ahli dalam membuat keputusan. Sistem ini menganalisis masalah berdasarkan basis pengetahuan untuk menghasilkan solusi rute yang optimal.

h. Pemodelan Sistematis

Metode ini menawarkan solusi optimal atau mendekati optimal secara kuantitatif tanpa pengaruh subjektif manusia. Namun, untuk kasus nyata yang kompleks, pemodelan ini sering digunakan sebagai pendekatan pendukung dalam pengambilan keputusan.

2.1.7 Pendekatan Heuristic dengan *Nearest Neighbor Algorithm*

Algoritma *Nearest Neighbor* (NN) merupakan salah satu pendekatan heuristik yang banyak digunakan dalam menyelesaikan permasalahan optimasi rute, terutama dalam konteks *Traveling Salesman Problem* (TSP) dan *Vehicle Routing Problem* (VRP). Sebagai algoritma yang bersifat *greedy*, pendekatan NN secara iteratif memilih titik berikutnya yang paling dekat dari lokasi saat ini hingga semua titik dikunjungi, dan akhirnya kembali ke titik awal (Applegate et al, 2007). Algoritma NN menawarkan solusi cepat dan mudah diterapkan, sehingga sangat cocok digunakan dalam skenario nyata yang membutuhkan waktu komputasi rendah. Meskipun algoritma ini tidak menjamin solusi optimal secara global, hasil yang diperoleh sering kali cukup mendekati optimal dan relevan secara praktis dalam dunia logistik dan distribusi.



Gambar 2.5 Diagram Alir Algoritma *Nearest Neighbor*

Sumber: (Muhayyaroh et al., 2023)

Berdasarkan Gambar 2.7, tahapan umum dalam algoritma NN untuk optimasi rute dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Inisialisasi Titik Awal: Pemilihan titik awal biasanya dilakukan secara acak atau berdasarkan depot pusat distribusi.
2. Pemilihan Titik Terdekat: Dari titik saat ini, algoritma akan memilih titik tujuan terdekat yang belum dikunjungi berdasarkan jarak (*Euclidean distance* atau jarak matriks).
3. Perbaruan Titik Saat Ini: Setelah titik terdekat dipilih, jadikan titik tersebut sebagai titik saat ini dan keluarkan dari himpunan titik yang belum dikunjungi.
4. Iterasi: Proses pemilihan titik terdekat diulang hingga semua titik telah dikunjungi.
5. Kembali ke Titik Awal: Setelah seluruh titik dikunjungi, algoritma menutup siklus dengan kembali ke titik awal, membentuk rute lengkap.

Ilustrasi tahapan ini sederhana namun sangat efektif, khususnya ketika jumlah titik yang harus dikunjungi cukup besar dan waktu pemrosesan menjadi faktor penting. Berikut merupakan keunggulan dari pendekatan NN dalam konteks optimasi rute:

1. Cepat dan Efisien: Waktu komputasi yang rendah menjadikan NN sangat efisien untuk kasus skala besar (Lawler et al., 1985).
2. Mudah Diimplementasikan: Proses algoritmik yang sederhana memungkinkan penerapan yang cepat tanpa memerlukan sumber daya komputasi tinggi.
3. Cocok untuk Heuristik Awal: NN sering digunakan sebagai solusi awal (*initial solution*) dalam algoritma metaheuristik seperti *Simulated Annealing* atau *Genetic Algorithm* (Gendreau et al., 1994).

Selain keunggulan dari pendekatan NN yang sudah dijelaskan, juga terdapat beberapa kekurangan dari pendekatan NN. Berikut merupakan kekurangan dari pendekatan NN:

1. Solusi Sub-optimal: Karena bersifat *greedy*, NN tidak menjamin solusi global terbaik dan cenderung terjebak dalam solusi lokal (Reinelt, 1994).
2. Sensitif terhadap Titik Awal: Pemilihan titik awal dapat memengaruhi kualitas rute secara keseluruhan, terutama pada dataset dengan distribusi spasial yang tidak merata.
3. Kurang Adaptif untuk Permasalahan Kompleks: NN tidak dirancang untuk mempertimbangkan batasan kompleks seperti time windows, kapasitas kendaraan, atau prioritas pelanggan tanpa modifikasi tambahan.

Algoritma NN banyak digunakan dalam sistem logistik untuk penjadwalan distribusi barang, pengiriman pesanan e-commerce, dan penentuan jalur operasional harian (Soleha & Khotimah, 2021). Beberapa penelitian juga menggabungkan NN dengan algoritma lain dalam pendekatan *Cluster First Route Second* (CFRS), di mana setelah kluster dibentuk, algoritma

NN digunakan untuk menyusun urutan kunjungan dalam setiap kluster (Muhayyaroh et al., 2023). Dalam konteks implementasi nyata, NN sering dimodifikasi agar dapat mempertimbangkan kendala praktis seperti kapasitas armada, waktu layanan, dan jarak maksimum, menjadikannya tetap relevan sebagai pendekatan awal dalam sistem pengambilan keputusan logistik modern.

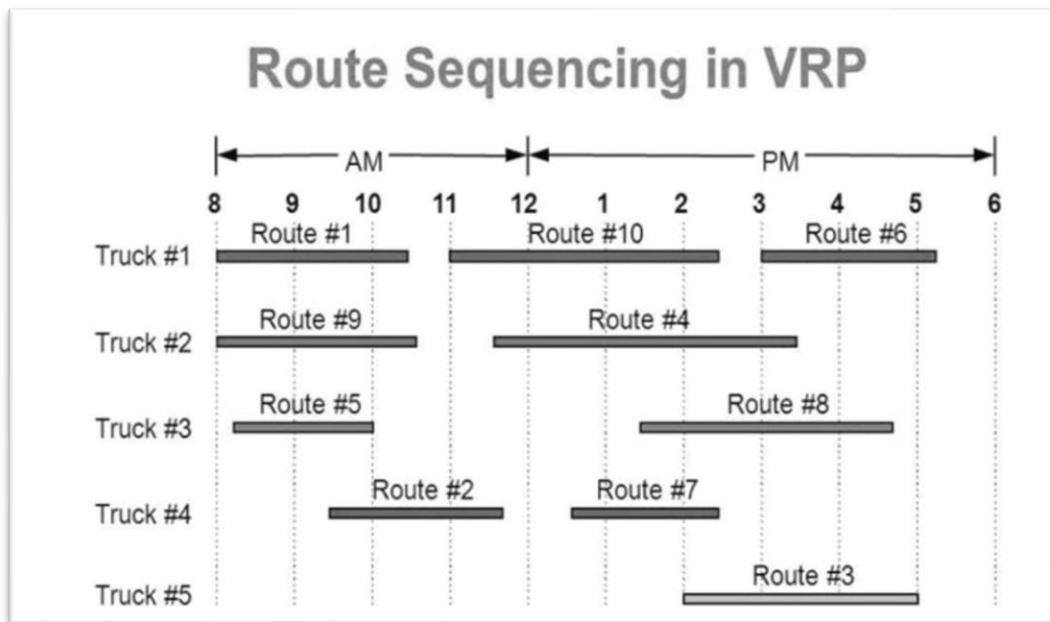
Nearest Neighbor Algorithm merupakan metode heuristik yang sederhana dan cepat dalam menyusun rute optimal. Meskipun solusi yang dihasilkan tidak selalu optimal secara global, pendekatan ini efektif untuk menghasilkan baseline solusi yang dapat dioptimalkan lebih lanjut. Keunggulan dalam kecepatan dan kemudahan implementasi membuat algoritma ini banyak digunakan dalam sistem optimasi rute, terutama pada tahap awal perencanaan distribusi.

2.1.8 Route Sequencing

Route sequencing adalah proses menentukan urutan kunjungan titik layanan dalam suatu rute distribusi untuk meminimalkan total jarak tempuh, waktu, atau biaya, sekaligus memastikan seluruh titik dapat dilayani secara efisien. Dalam konteks logistik dan transportasi, *route sequencing* menjadi tahap penting setelah rute atau kluster telah ditentukan, di mana setiap titik dalam rute perlu disusun dalam urutan perjalanan yang optimal (Toth & Vigo, 2002).

Menurut Laporte et al. (2000), penentuan urutan kunjungan sangat krusial dalam meningkatkan efisiensi distribusi, karena urutan yang tidak optimal dapat menyebabkan rute memutar atau memperpanjang jarak secara signifikan. Oleh karena itu, *route sequencing* kerap dikaji sebagai bagian dari *Traveling Salesman Problem* (TSP), di mana satu agen harus mengunjungi seluruh titik tepat satu kali dan kembali ke titik awal dengan rute terpendek. Reinelt (1994) mendefinisikan *sequencing* adalah bagian dari optimasi mikro dalam sistem distribusi yang berfokus pada level individual rute dibandingkan keseluruhan jaringan distribusi. Tujuan utamanya adalah untuk menentukan urutan kunjungan yang paling efisien secara spasial, menghindari jalur redundan atau looping, mematuhi batasan waktu atau kapasitas, dan memperkuat keandalan jadwal distribusi.

Route sequencing mempertimbangkan waktu operasional setiap kendaraan guna menentukan penugasan yang optimal dalam menjalankan aktivitas pengiriman. Model yang dikembangkan dalam perancangan rute kendaraan dilakukan berdasarkan rute eksisting dan perencanaan logistik yang telah ditetapkan sebelumnya. Apabila durasi layanan tergolong singkat, maka pemanfaatan kendaraan menjadi kurang efisien karena adanya batasan jendela waktu operasional. Rute pengiriman dirancang untuk dimulai setelah kendaraan menyelesaikan *maintenance* di awal. Setelah menyelesaikan satu rute, kendaraan dapat dialokasikan ke rute berikutnya, dan proses ini berlanjut hingga batas waktu operasional tercapai. Berdasarkan mekanisme ini, jumlah kendaraan yang dibutuhkan dapat ditentukan melalui analisis urutan penugasannya. Pada VRP, metode *route sequencing* ini juga bertujuan untuk meminimalkan jumlah kendaraan yang digunakan untuk melayani seluruh permintaan pengiriman pada rute yang tersedia. Meskipun pendekatan ini dilakukan secara manual, sistem terkomputerisasi dapat digunakan untuk mengintegrasikan perencanaan rute dan penjadwalan kendaraan guna menghasilkan rencana operasional yang terintegrasi (Ballou, R. H., 2004). Berikut merupakan ilustrasi dari *route sequencing* yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.6 Ilustrasi *Route Sequencing* dalam VRP

Sumber: (Ballou, R. H., 2004)

Beberapa pendekatan algoritma yang banyak digunakan dalam route sequencing, menurut Applegate et al (2007), antara lain:

1. *Nearest Neighbor Algorithm*: Menentukan urutan berdasarkan titik terdekat dari posisi saat ini. Sangat cepat, namun tidak menjamin hasil optimal.
2. *Greedy Insertion* dan *Savings Algorithm*: Menyusun rute secara iteratif dengan memasukkan titik yang menghasilkan penghematan terbesar.
3. *Exact Methods*: Memberikan solusi optimal untuk jumlah titik kecil-menengah, tetapi mahal secara komputasi.
4. Metaheuristik: Cocok untuk kasus besar dan kompleks; mampu menemukan solusi mendekati optimal.

Beberapa tantangan yang sering dihadapi dalam route sequencing menurut Golden et al (2008) meliputi:

1. Dimensi permasalahan yang bersifat *NP-hard*: Kombinasi urutan dari n titik menghasilkan $(n-1)!$ kemungkinan.
2. Ketergantungan pada titik awal: Titik awal yang dipilih dapat memengaruhi hasil akhir secara signifikan dalam metode heuristik.
3. Variabilitas kondisi lapangan: Faktor eksternal seperti kemacetan, kondisi jalan, dan cuaca dapat mengubah efektivitas urutan yang telah dirancang.

Dalam praktik, route sequencing digunakan dalam berbagai sektor seperti distribusi barang konsumen, pengambilan sampah, layanan kesehatan rumah, hingga pengiriman e-commerce. Studi oleh Wicaksono & Kusniawati (2023) pada distribusi CKD part menunjukkan bahwa penyesuaian urutan kunjungan berdasarkan algoritma *Nearest Neighbor* dan validasi oleh planner berhasil menurunkan total waktu pengiriman hingga 6%. Selain itu, Sanggala (2020) membuktikan bahwa implementasi *Savings Algorithm* berbasis VBA Excel dalam penentuan urutan distribusi menghasilkan rute yang lebih pendek dibanding metode konvensional, cocok untuk wilayah rural dengan kendala infrastruktur.

2.1.9 Time Window Constraint

Time window constraint adalah batasan waktu yang menentukan kapan suatu layanan seperti pengantaran atau penjemputan barang harus dimulai atau diselesaikan pada lokasi pelanggan. Dalam sistem distribusi, terutama pada varian *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW), kendala ini menjadi komponen penting yang memengaruhi urutan kunjungan dan penjadwalan kendaraan (Desrosiers et al., 1995).

Menurut Laporte & Cordeau (2000), penerapan *time window* bertujuan untuk memastikan bahwa pelayanan dilakukan dalam rentang waktu yang telah disepakati antara perusahaan dan pelanggan, sehingga meningkatkan keandalan layanan. *Time window* sangat relevan dalam industri makanan segar, logistik *e-commerce*, dan distribusi farmasi, di mana kepresisian waktu layanan menjadi faktor utama. *Time window* didefinisikan sebagai interval waktu $[e_i, l_i]$ untuk setiap titik pelanggan i , dimana e_i merupakan waktu paling awal layanan dapat dimulai (*earliest start time*), dan l_i merupakan waktu paling akhir layanan dapat dimulai (*latest start time*). Jika kendaraan tiba sebelum e_i , maka harus menunggu. Dan jika tiba setelah l_i , maka layanan dianggap terlambat atau bahkan tidak diperbolehkan.

Menurut Toth & Vigo (2002), *time window* dalam sistem distribusi dapat dikategorikan sebagai *Hard Time Window* dan *Soft Time Window*. *Hard Time Window* merupakan kondisi yang tidak memperbolehkan penyimpangan. Jika kendaraan datang di luar jangka waktu, layanan tidak dapat dilakukan seperti pengiriman ke rumah sakit atau supermarket dengan slot terbatas. Sedangkan *Soft Time Window* adalah kondisi yang memperbolehkan terjadi penyimpangan dengan konsekuensi seperti penalti atau biaya tambahan. *Soft Time Window* cocok untuk sistem logistik yang fleksibel seperti *e-commerce* atau distribusi pedesaan.

Keberadaan *time window* dapat mengubah struktur klasik dari permasalahan rute menjadi lebih kompleks. Menurut Ichoua et al (2003), penambahan dimensi waktu dapat menyebabkan perubahan dalam urutan kunjungan, pengaturan waktu keberangkatan dan kedatangan, kemungkinan munculnya *waiting time*, serta evaluasi biaya dan performa layanan. Optimasi dalam konteks VRPTW membutuhkan algoritma yang mempertimbangkan tidak hanya jarak minimum, tetapi juga kesesuaian jadwal dengan batasan waktu. Dari kompleksitas yang terjadi, terdapat tantangan yang dihadapi meliputi perlunya kompromi antara efisiensi dan kepatuhan terhadap waktu, tingginya kompleksitas algoritmik yang meningkatkan waktu pemrosesan, hingga munculnya kebutuhan integrasi dengan sistem informasi *real-time* untuk memantau keterlambatan, penjadwalan ulang, dan koordinasi dinamis.

2.1.10 Visual Basic Applications

Visual Basic for Applications (VBA) merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi yang terintegrasi dengan produk Microsoft Office, khususnya Microsoft Excel. VBA memungkinkan pengguna untuk mengotomatiskan tugas, membangun antarmuka pengguna (*user interface*), serta mengembangkan sistem pemrosesan data berbasis logika terstruktur (Walkenbach, 2010). Dalam konteks logistik dan distribusi, VBA sering dimanfaatkan sebagai alat bantu dalam membangun sistem perhitungan dinamis untuk penjadwalan rute, perhitungan kapasitas kendaraan, simulasi pengiriman, hingga pengembangan model heuristik seperti *Savings Algorithm* dan *Nearest Neighbor*. Keunggulan VBA terletak pada integrasinya dengan Excel yang sudah sangat umum digunakan oleh pelaku industri dan praktisi logistik (Jelen & Syrtstad, 2004). Berikut merupakan contoh implementasi VBA dalam *management inventory control* yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.7 Contoh Implementasi VBA Excel

Sumber: (Hidayat, 2023)

Menurut Sanggala (2020), penerapan VBA dalam menyelesaikan masalah *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)* menunjukkan efektivitas dalam memodelkan logika optimasi distribusi berbasis parameter aktual seperti permintaan pelanggan, kapasitas kendaraan, serta jarak antar titik distribusi. Berikut beberapa keunggulan utama VBA dalam konteks ini:

1. Integrasi Excel yang Kuat: VBA memanfaatkan antarmuka Excel sebagai dasar input-output, memudahkan pengguna dalam memasukkan data, membaca hasil, serta memvisualisasikan output dalam bentuk tabel dan grafik dinamis (Catana et al., 2009).
2. Automatisasi Proses: Perhitungan rute dan optimasi logistik yang kompleks dapat diotomatisasi melalui *script* pada VBA, sehingga mengurangi ketergantungan pada pengolahan manual dan mempercepat waktu pengambilan keputusan (Putra & Solikah, 2022).
3. Kemudahan Akses dan Pengembangan: VBA dapat dijalankan tanpa memerlukan perangkat lunak tambahan, cukup dengan Microsoft Excel, sehingga cocok untuk digunakan oleh UMKM hingga korporasi besar.

Terdapat beberapa studi yang telah menerapkan VBA untuk membangun sistem distribusi berbasis algoritma heuristik, seperti Sanggala (2020) yang mengembangkan aplikasi CVRP berbasis *Savings Algorithm* dalam Excel menggunakan VBA. Aplikasi ini mampu menghitung jarak minimum, jumlah kendaraan, dan mengoptimalkan pembentukan rute berdasarkan permintaan pelanggan. Kemudian terdapat Muhayyarah et al. (2023) yang membangun sistem optimasi rute distribusi menggunakan metode *Saving Matrix* dan *Nearest Insertion* berbasis VBA Excel untuk CV Maple. Sistem ini mempercepat proses kalkulasi dan mengurangi risiko kesalahan manual. Wicaksono & Kusniawati (2023) menggunakan VBA untuk mengimplementasikan algoritma *Large Neighborhood Search* dalam perencanaan rute distribusi CKD Part. Hasilnya menunjukkan penghematan signifikan dalam total biaya dan jarak tempuh. Meski sangat bermanfaat, VBA memiliki keterbatasan dalam skenario berskala

besar dan integrasi sistem eksternal. Kapasitas pemrosesan VBA terbatas oleh performa Excel, serta kurang fleksibel untuk pengolahan data *real-time*. Oleh karena itu, pengembangan sistem optimasi modern kini juga mempertimbangkan integrasi VBA dengan API eksternal atau transisi ke platform yang lebih canggih seperti Python atau R untuk skala *enterprise*. Namun demikian, untuk kebutuhan pengembangan prototipe, pelatihan, hingga aplikasi ringan-menengah, VBA tetap relevan sebagai solusi berbasis desktop yang praktis dan efisien.

2.2 Hasil Penelitian Terdahulu

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai penelitian sebelumnya yang menjadi referensi dalam penyusunan penelitian ini. Beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini disajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya yang Relevan dengan Penelitian Ini

No	Penulis	Judul Penelitian	Objek Penelitian	Hasil Penelitian
1	Mostafa & Eltawil (2017)	<i>Solving the Heterogeneous Capacitated Vehicle Routing Problem using K-Means Clustering and Valid Inequalities</i>	CVRP pada armada kendaraan yang bermacam-macam	Penggunaan <i>K-Means Clustering</i> dapat mengurangi waktu komputasi sebesar 55% dibandingkan metode optimasi langsung, meningkatkan utilisasi kendaraan sebesar 4%, dan menghasilkan solusi dengan perbedaan hanya sekitar 5% dari metode optimasi eksak.
2	Putri et al. (2021)	<i>Genetic Algorithm with Cluster-First Route-Second to solve the Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows: A Case Study</i>	Distribusi Coca-Cola Amatil Indonesia	Pendekatan <i>Cluster First Route Second</i> (CFRS) dengan <i>Genetic Algorithm</i> mampu mengurangi biaya distribusi sebesar 16,26% dan mempercepat waktu komputasi hingga 89,68% dibandingkan metode eksak.
3	Sanggala (2020)	Penyelesaian CVRP dengan Menggunakan <i>Savings Algorithm</i> & VBA Excel	Distribusi produk ke 10 gudang oleh perusahaan X	Aplikasi berbasis VBA Excel berhasil menyelesaikan masalah CVRP menggunakan <i>Savings Algorithm</i> . Menghasilkan 4 rute dengan total jarak tempuh 47 km untuk mengangkut 277 botol, cocok sebagai media pembelajaran dan dasar pengembangan aplikasi industri.
4	Nirwan & Mubassiran (2021)	Optimasi Pengiriman Pos dengan Melibatkan Kendaraan Sewa Menggunakan <i>Close-Open Mixed Vehicle Routing Problem</i>	Pengiriman pos di PPC Bandung 40400	Penggunaan COMVRP dikombinasikan dengan <i>Nearest Neighbor</i> dan <i>Genetic Algorithm</i> menghasilkan pengurangan jumlah kendaraan dari 6 menjadi 5 (4 internal + 1 sewa), dengan total jarak tempuh berkurang dari 184,4 km menjadi 176,22 km.
5	Asmara & Ichtiarto (2021)	Evaluasi Sistem Distribusi Barang di Wilayah Pedesaan Indonesia	Distribusi barang di wilayah pedesaan	Studi ini mengevaluasi hambatan utama dalam sistem distribusi pedesaan di Indonesia dan menyarankan solusi berbasis infrastruktur dan digitalisasi logistik untuk meningkatkan aksesibilitas pasar.
6	Sinaga et al. (2022)	<i>The Development of a Conceptual Rural Logistics System Model to Improve Products Distribution in Indonesia</i>	Sistem logistik pedesaan di Indonesia	Studi ini mengembangkan model konseptual sistem logistik pedesaan untuk meningkatkan distribusi produk dan kesejahteraan petani melalui strategi logistik yang lebih efisien.
7	Fortuna, Bestin Y. (2024)	Implementasi Pendekatan <i>Cluster First Route Second</i> Untuk Menyelesaikan	Distribusi BBM di wilayah MOR VIII – Ambon	Metode DBSCAN menghasilkan kluster dengan kualitas lebih baik dibandingkan <i>K-Means</i> , tetapi <i>K-Means</i> lebih unggul dalam

No	Penulis	Judul Penelitian	Objek Penelitian	Hasil Penelitian
		Permasalahan Maritime <i>Inventory Routing</i> Pada Distribusi Bahan Bakar Minyak		efisiensi waktu dan utilisasi kapal. CFRS dengan <i>K-Means</i> mampu mengurangi waktu komputasi hingga 6200 kali lebih cepat dibandingkan metode optimasi langsung MIRPTW.
8	Pratama, Maulana Y. (2024)	<i>Small-Scale LNG Supply Chain Optimization for Efficient Distribution to Power Plants</i>	Distribusi LNG skala kecil di Indonesia	Studi ini mengembangkan model optimasi rantai pasok LNG skala kecil untuk memenuhi kebutuhan pembangkit listrik di daerah terpencil dengan biaya distribusi yang optimal.
9	Wicaksono & Kusniawati (2023)	Optimasi Rute Pengiriman Bahan Baku CKD Part dengan Pendekatan CVRP di PT XYZ	Distribusi bahan baku CKD Part area Karawang ke PT XYZ	Penggunaan algoritma <i>Insertion Heuristic</i> dan <i>Large Neighborhood Search</i> berbasis VBA menghasilkan rute optimal dengan 3 kendaraan, menurunkan total jarak tempuh dari 481 km menjadi 464,5 km dan biaya logistik dari Rp 5.772.000 menjadi Rp 5.574.000.
10	Muhayyaroh et al. (2023)	Perancangan Sistem Penentuan Rute dan Optimasi Biaya Pendistribusian Barang dengan Metode <i>Saving Matrix</i> dan <i>Nearest Insertion</i> Berbasis VBA Excel	Distribusi barang oleh CV Maple Semarang (distributor tisu)	Sistem aplikasi berbasis VBA Excel mampu menentukan rute optimal secara otomatis menggunakan metode <i>Saving Matrix</i> dan <i>Nearest Insertion</i> , mempercepat perhitungan dan mengurangi risiko human error, sekaligus mengoptimalkan biaya operasional distribusi.

Penelitian-penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan clustering dalam optimasi rute kendaraan dan distribusi dapat meningkatkan efisiensi operasional serta mengurangi biaya distribusi. Metode seperti *CFRS* dengan *Nearest Neighbor Clustering* dan TSP ataupun VRP terbukti memberikan solusi yang lebih efisien dibandingkan metode konvensional.

Untuk mendapatkan gambaran dengan lebih jelas mengenai posisi penelitian, maka penulis melakukan komparasi terhadap penelitian penelitian terkait. Komparasi dan posisi penelitian ini dapat dilihat pada tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Terkait

No	Judul Penelitian	Penulis	Metode							Output				
			CFRS	Nearest Neighbor	TSP	VBA Excel	Exact Algorithm	Metaheuristic Algorithm	Heuristic Algorithm	Jumlah Armada	Rute Pengiriman	Biaya Distribusi	Utilitas Armada	Model Penyelesaian Interaktif
1	<i>Solving the Heterogeneous Capacitated Vehicle Routing Problem using K-Means Clustering and Valid Inequalities</i>	Mostafa & Eltawil (2017)	✓				✓				✓	✓		
2	<i>Genetic Algorithm with Cluster-First Route-Second to solve the Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows: A Case Study</i>	Putri et al. (2021)	✓	✓				✓			✓	✓		
3	Penyelesaian CVRP dengan Menggunakan Savings Algorithm & VBA Excel	Sanggala (2020)			✓	✓			✓	✓	✓	✓		✓
4	Optimasi Pengiriman Pos dengan Melibatkan Kendaraan Sewa Menggunakan Close-Open Mixed Vehicle Routing Problem	Nirwan & Mubassiran (2021)					✓	✓		✓	✓	✓		
5	Evaluasi Sistem Distribusi Barang di Wilayah Pedesaan Indonesia	Asmara & Ichtiarto (2021)	✓				✓			✓		✓		
6	<i>The Development of a Conceptual Rural Logistics System Model to Improve Products Distribution in Indonesia</i>	Sinaga et al. (2022)			✓			✓		✓	✓	✓		✓
7	Implementasi Pendekatan Cluster First Route Second Untuk Menyelesaikan Permasalahan Maritime Inventory Routing Pada Distribusi Bahan Bakar Minyak	Fortuna, Bestin Y. (2024)	✓	✓			✓				✓	✓		

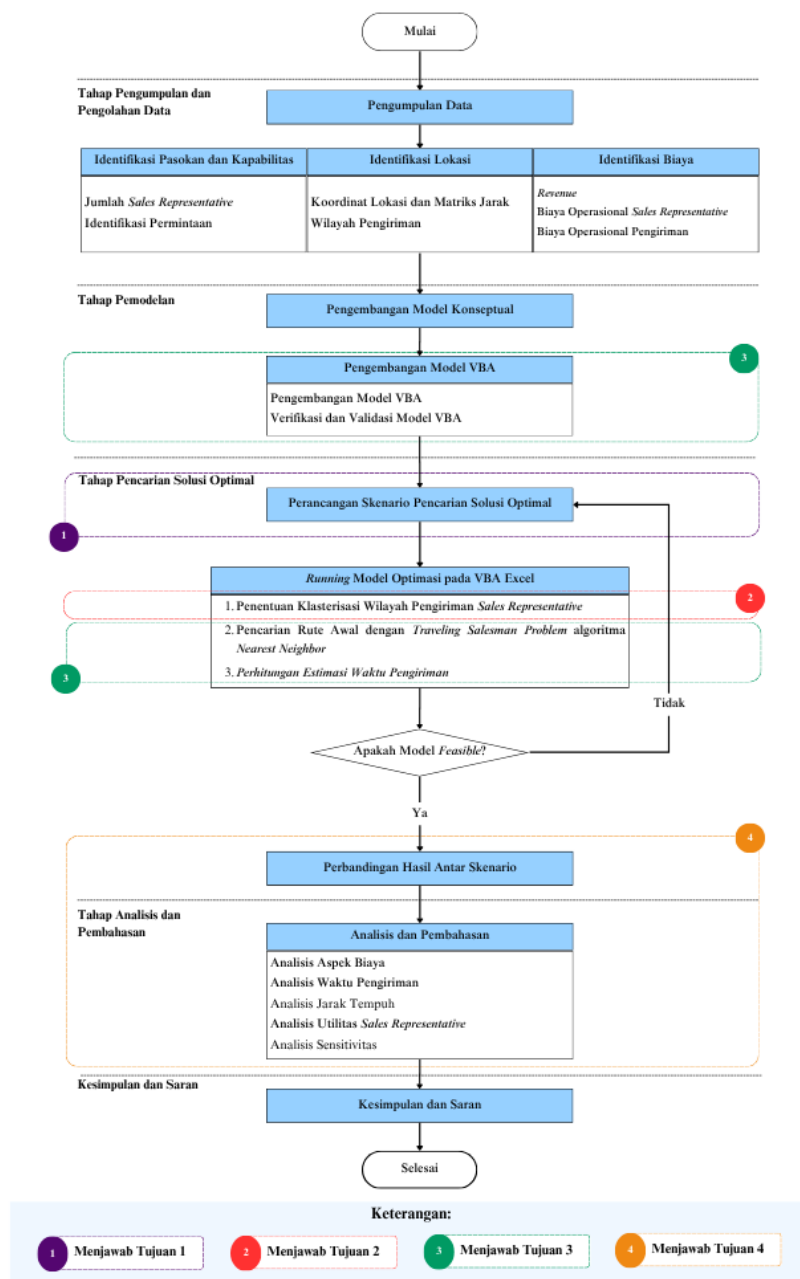
8	<i>Small-Scale LNG Supply Chain Optimization for Efficient Distribution to Power Plants</i>	Pratama, Maulana Y. (2024)	✓	✓	✓		✓			✓	✓	✓		
9	Optimasi Rute Pengiriman Bahan Baku CKD Part dengan Pendekatan Capacitated <i>Vehicle Routing Problems</i> (CVRP) di PT XYZ	Wicaksono & Kusniawati (2022)				✓			✓	✓	✓	✓		✓
10	Perancangan Sistem Penentuan Rute dan Optimasi Biaya Pendistribusian Barang dengan Metode <i>Saving Matrix</i> dan <i>Nearest Insertion</i> Berbasis VBA Excel	Muhayyaroh et al. (2023)				✓			✓	✓	✓	✓		✓
11	Optimasi Distribusi <i>Sales Representative</i> pada Jaringan Logistik Pedesaan Menggunakan Pendekatan <i>Cluster First Route Second</i> pada <i>Visual Basic Applications</i>	Penelitian ini	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓

BAB 3 METODOLOGI

Bab ini akan menjelaskan mengenai tahapan yang akan dilakukan dalam melakukan penelitian ini. Metodologi penelitian ini memberikan gambaran secara detail mengenai alur kerangka pengerjaan penelitian. Bagian ini akan menjelaskan mengenai diagram alir beserta penjelasan tahapan-tahapannya.

3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pelaksanaan penelitian ini digambarkan melalui diagram alir penelitian sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada gambar 3.1 terlihat diagram alir penelitian yang menunjukkan tahapan dalam melakukan penelitian untuk menjawab setiap tujuan yang ingin dicapai.

3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian

Sub bab ini akan dijelaskan mengenai tahapan penelitian secara detail berdasarkan diagram alir penelitian yang telah dirancang pada sub bab 3.1 sebagai berikut.

3.2.1 Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pengumpulan data merupakan tahapan pengumpulan data-data yang diperlukan dalam pengembangan model untuk menyelesaikan masalah dalam penelitian ini. Data-data tersebut dikumpulkan dari berbagai sumber kredibel seperti jurnal penelitian, laporan, *Google Maps*, hingga data transaksi dari platform digital sebagai objek penelitian. Dalam penelitian ini, terdapat beberapa data yang akan dikumpulkan, seperti yang dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Jenis Data yang Dikumpulkan

No	Jenis Data	Kebutuhan Data
1	Data <i>Sales representative</i>	1. Jumlah <i>sales representative</i> yang beroperasi
		2. Koordinat lokasi <i>sales representative</i>
		3. Biaya operasional pengiriman dan <i>sales representative</i>
		4. Kecepatan dan waktu pengiriman
		5. Waktu loading/unloading
2	Data Pelanggan	1. Koordinat lokasi pelanggan
		2. Permintaan pelanggan meliputi jumlah item
		3. Nilai transaksi dari setiap pelanggan

Setelah pengumpulan data, maka tahap selanjutnya adalah proses pengolahan data. Proses pengolahan data terbagi menjadi 3 bagian utama, yakni identifikasi permintaan dan kapabilitas, identifikasi lokasi, serta identifikasi biaya. Identifikasi permintaan dilakukan dengan menganalisis permintaan dari setiap titik permintaan yang tersebar di 118 titik lokasi. Permintaan di setiap titik lokasi penerima akan menjadi data masukan dalam proses optimasi. Selanjutnya identifikasi kapabilitas dilakukan dengan melakukan analisis jumlah *sales representative* yang dapat melayani seluruh permintaan. Tahap selanjutnya adalah melakukan identifikasi koordinat lokasi dan membangun matriks jarak antar titik *sales representative* maupun permintaan. Matriks jarak dibuat dengan mengukur jarak berdasarkan koordinat lokasi yang didapatkan dari data transaksi harian. Sebagai analisis tambahan, juga diikutsertakan analisis biaya untuk menentukan prioritas rute yang lebih awal dikunjungi. Selain itu, salah satu aspek biaya juga akan menjadi pertimbangan dalam menentukan model yang paling optimal dari setiap skenario yang dibuat. Proses pengolahan data dilakukan di Microsoft Excel dengan bantuan VBA. Data akan diklasifikasikan dan dihitung menggunakan algoritma *Nearest Neighbor Clustering* untuk pengelompokan wilayah, serta *solver* berbasis TSP algoritma *Nearest Neighbor* untuk optimasi rute pengiriman.

3.2.2 Tahap Pemodelan

Tahap pemodelan bertujuan untuk mengembangkan representasi sistem yang dianalisis, sebagai dasar dalam proses penyelesaian masalah secara terstruktur dan terarah. Tahap ini diawali dengan pembuatan model konseptual, yaitu representasi non-komputasional yang menggambarkan elemen-elemen penting dalam sistem serta interaksi antarvariabel yang relevan. Model konseptual disusun berdasarkan pemahaman terhadap permasalahan yang dihadapi serta batasan-batasan sistem, dan bertujuan untuk menjabarkan struktur logis dari sistem yang dianalisis. Representasi ini dapat dituangkan dalam bentuk naratif, diagram

hubungan, atau *influence diagram*, yang berfungsi untuk menjembatani antara sistem nyata dengan model matematis yang akan dikembangkan.

Setelah model konseptual terbentuk, tahap berikutnya adalah pembuatan model matematis yang bertujuan untuk merepresentasikan permasalahan secara kuantitatif dalam bentuk formula matematis yang dapat diselesaikan menggunakan pendekatan komputasional. Dalam penelitian ini, model dikembangkan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel yang didukung oleh *Visual Basic for Applications* (VBA). Pendekatan yang digunakan adalah *Cluster First Route Second*, yang mengintegrasikan metode pengklasteran menggunakan algoritma *Nearest Neighbor Clustering* serta penentuan rute optimal dalam masing-masing kluster menggunakan algoritma *Nearest Neighbor* untuk menyelesaikan masalah *Traveling Salesman Problem* (TSP). Model matematis ini disusun berdasarkan struktur sistem yang telah diidentifikasi pada model konseptual, dengan mempertimbangkan keterkaitan antar parameter serta tujuan optimasi dalam penelitian.

Model VBA yang telah dibangun, selanjutnya divalidasi dan verifikasi untuk memastikan model sesuai dengan sistem dan dapat diimplementasikan. Validasi dan verifikasi yang dilakukan meliputi kesesuaian skema dengan model konseptual, kesesuaian *logic*, hingga memastikan tidak terjadi *error* seperti pada waktu pengiriman yang *redundant*.

3.2.3 Tahap Pencarian Solusi Optimal

Terdapat beberapa tahapan dalam pencarian solusi optimal pada permasalahan ini antara lain sebagai berikut.

3.2.3.1 Perancangan Skenario Pencarian Solusi Optimal

Pencarian solusi optimal memiliki keterkaitan erat dengan konsekuensi yang timbul akibat kebijakan atau keputusan yang diambil. Oleh karena itu, untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif, ditetapkan skenario pencarian solusi optimal yang mencakup kebijakan pembagian wilayah pengiriman. Kebijakan pembagian wilayah pengiriman berkaitan dengan jumlah *sales representative* yang beroperasi serta rute pengiriman yang paling optimal. Dalam hal ini, skenario yang akan digunakan terkait penentuan jumlah *sales representative*. Berikut merupakan rencana skenario yang dikembangkan pada Tabel 3.2 dengan n adalah jumlah maksimal *sales representative* yang tersedia.

Tabel 3.2 Rencana Pengembangan Skenario

Skenario	Jenis	Perencanaan	Jumlah Sales Representative	Pembayaran Sales Representative	Penanggung Biaya Pengiriman
1	<i>Existing</i>	Manual	n	Upah Harian tanpa Intensif	Perusahaan
2	<i>Improvement</i>	VBA	n	Upah Harian tanpa Intensif	Perusahaan
3	<i>Improvement</i>	VBA	$n-1$	Upah Harian tanpa Intensif	Perusahaan
4	<i>Improvement</i>	VBA	$n-2$	Upah Harian tanpa Intensif	Perusahaan
5	<i>Improvement</i>	VBA	$n-3$	Upah Harian tanpa Intensif	Perusahaan
6	<i>Improvement</i>	VBA	$n-4$	Upah Harian tanpa Intensif	Perusahaan
7	<i>Improvement</i>	VBA	$n-5$	Upah Harian tanpa Intensif	Perusahaan

3.2.3.2 Penentuan Klasterisasi Wilayah Pengiriman Sales Representative

Langkah selanjutnya adalah penentuan klasterisasi wilayah pengiriman. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pembagian wilayah permintaan yang akan dilayani oleh setiap *sales representative* untuk memenuhi permintaan pengiriman.

3.2.3.3 Pencarian Rute Awal Berdasarkan Algoritma Traveling Salesman Problem

Selanjutnya, dilakukan pencarian rute awal menggunakan algoritma *Traveling Salesman Problem* algoritma *Nearest Neighbor* menggunakan VBA. Dalam hal ini juga dilakukan

pertimbangan terkait *revenue* yang akan diperoleh dari setiap titik lokasi untuk menentukan prioritas pengiriman ketika terdapat lebih dari satu titik dengan jarak berbeda. Hal ini bertujuan untuk mengetahui skema rute yang mungkin terbentuk berdasarkan jarak yang minimal guna keperluan estimasi lama waktu pengiriman.

3.2.3.4 Perhitungan Estimasi Waktu Pengiriman

Dengan melakukan perhitungan estimasi lama waktu pengiriman setiap *sales representative*, maka selanjutnya diketahui terkait waktu operasional yang harus dipenuhi, yaitu pukul 08.00 – 17.00. Hal ini bertujuan agar tidak terjadi *over time*.

3.2.4 Tahap Analisis Hasil Optimasi

Analisis hasil optimasi dilakukan dengan beberapa kajian berdasarkan hasil optimasi yang didapatkan pada setiap skenario. Tahap analisis hasil optimasi dilakukan dengan membandingkan skenario jumlah *sales representative* yang beroperasi. Dalam analisis ini, dilakukan evaluasi terhadap aspek biaya, jarak dan waktu pengiriman, serta utilisasi *sales representative*. Analisis aspek biaya dilakukan guna mengetahui total biaya optimal dari skenario yang telah dikembangkan. Biaya bisa dihitung berdasarkan total jarak tempuh dan jumlah *sales representative* yang digunakan. Kemudian analisis terkait jarak dan waktu pengiriman digunakan untuk membandingkan tingkat efisiensi dari masing-masing skenario. Selain itu, utilisasi *sales representative* dianalisis dengan membandingkan jumlah titik yang dikunjungi oleh masing-masing *sales representative* pada setiap skenario. Keseluruhan analisis ini bertujuan untuk mengukur dampak optimasi terhadap sistem distribusi dan memastikan bahwa solusi yang diperoleh dapat diterapkan dalam kondisi operasional nyata.

3.2.5 Penarikan Kesimpulan dan Saran

Tahapan terakhir dalam penelitian ini adalah penarikan kesimpulan dan saran berdasarkan penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan penelitian ini didasarkan pada hasil optimasi yang telah dilakukan menggunakan VBA. Pada tahap ini juga disusun berbagai rekomendasi yang ditujukan untuk pengembangan penelitian kedepannya. Kesimpulan yang diambil dari penelitian harapannya mampu menjawab tujuan penelitian untuk mengetahui bagaimana rancangan strategi logistik mengenai jumlah *sales representative*, pembagian wilayah pengiriman, serta rute pengiriman dalam meningkatkan efisiensi operasional dalam jaringan distribusi pedesaan dengan memastikan rute yang lebih optimal dan prioritas pelanggan yang lebih terstruktur melalui pengembangan model *Cluster First Route Second* dalam kombinasi *Clustering* dan *Traveling Salesman Problem* menggunakan algoritma *Nearest Neighbor* berbasis VBA.

BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini akan menjelaskan tentang pengumpulan data penelitian, pengembangan model optimasi, hingga tahapan dalam pencarian solusi optimal rute pengiriman dan alokasi *sales representative* dengan pendekatan *Cluster First Route Second* menggunakan *Nearest Neighbor Clustering* dan *Traveling Salesman Problem* menggunakan *Visual Basic Applications*.

4.1 Pengumpulan Data

Sub-bab ini akan menjelaskan mengenai data-data yang digunakan dalam penelitian dan pengembangan model optimasi rute dan alokasi *sales representative* menggunakan *Visual Basic Applications*.

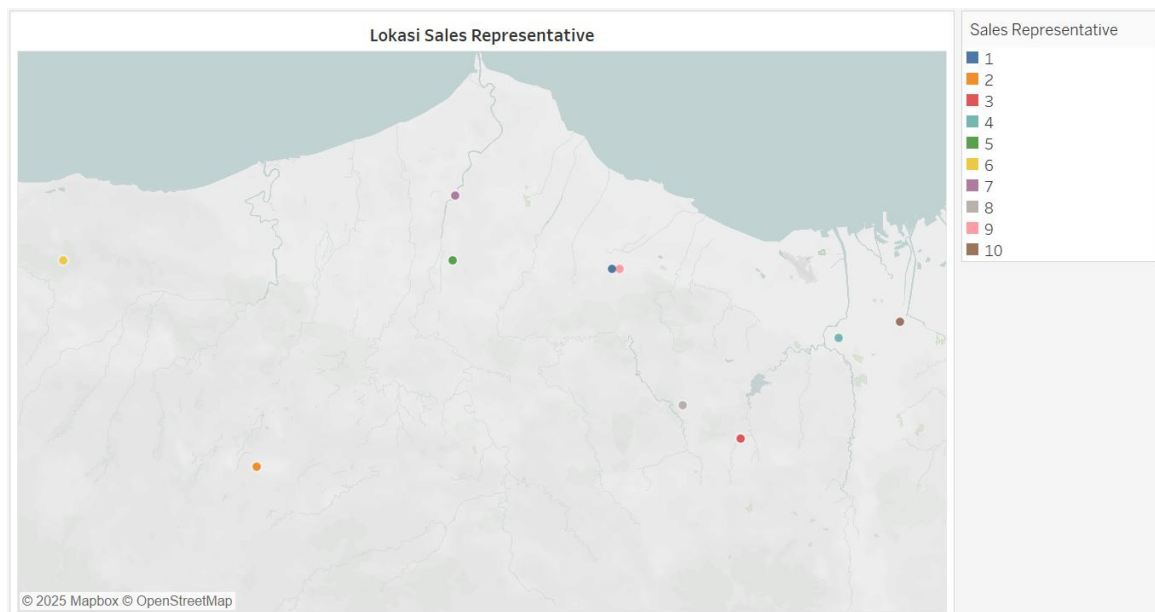
4.1.1 Data Sales Representative

Pada bagian ini akan membahas mengenai data dari *sales representative* yang dibutuhkan dalam pembuatan model optimasi. Jumlah maksimal *sales representative* yang beroperasi adalah 10 dengan koordinat lokasi asal seperti yang ada pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Koordinat *Sales Representative*

<i>Sales representative</i>	<i>SR's Latitude</i>	<i>SR's Longitude</i>
1	-6.971074	110.2566
2	-7.091522	110.0373
3	-7.074093	110.3359
4	-7.012926	110.3966
5	-6.965608	110.158
6	-6.965702	109.9187
7	-6.926428	110.1604
8	-7.054186	110.2997
9	-6.971067	110.2612
10	-7.003715	110.4339

Lokasi dari setiap *sales representative* dapat divisualisasikan seperti pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Lokasi *Sales Representative*

Setelah mendapatkan data koordinat *sales representative*, selanjutnya perlu diketahui mengenai data kendaraan yang digunakan, pemakaian bahan bakar, kecepatan, rata-rata waktu

pengiriman, estimasi waktu *loading unloading*, hingga waktu operasional harian. Pada Tabel 4.2, ditunjukkan data detail pengiriman *sales representative*.

Tabel 4.2 Detail Pengiriman *Sales representative*

Jenis Kendaraan	Yamaha NMAX Neo S
Pemakaian Bahan Bakar	40 km / liter
Kecepatan Ideal	20 km / jam
Rata-rata Waktu Pengiriman	10 menit / km
Estimasi Waktu Loading	2 – 10 menit (distribusi uniform)
Estimasi Waktu Unloading	2 – 10 menit (distribusi uniform)
Waktu Operasional	08.00 – 17.00 WIB

Berdasarkan Tabel 4.2, jenis kendaraan *sales representative* merupakan asumsi yang digunakan dengan pertimbangan kendaraan yang umum digunakan oleh seorang *sales representative* dengan pemakaian bahan bakar yang besar, sehingga model optimasi yang dihasilkan merupakan hasil perhitungan batas atas. Waktu operasional *sales representative* adalah pukul 08.00 – 17.00 WIB dengan waktu istirahat pada pukul 12.00 – 13.00 WIB. Selanjutnya, terdapat biaya yang perlu diperhitungkan untuk mendapatkan skenario terbaik. Data biaya operasional *sales representative* terdapat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data Biaya Operasional

Komponen Biaya	Biaya
Upah <i>Sales representative</i>	Rp 135.000,00 (per hari)
Biaya Bahan Bakar	Rp 12.400,00 (per liter)

Seluruh data *sales representative* tersebut dibutuhkan untuk membangun model optimasi dan menentukan skenario terbaik untuk dijalankan.

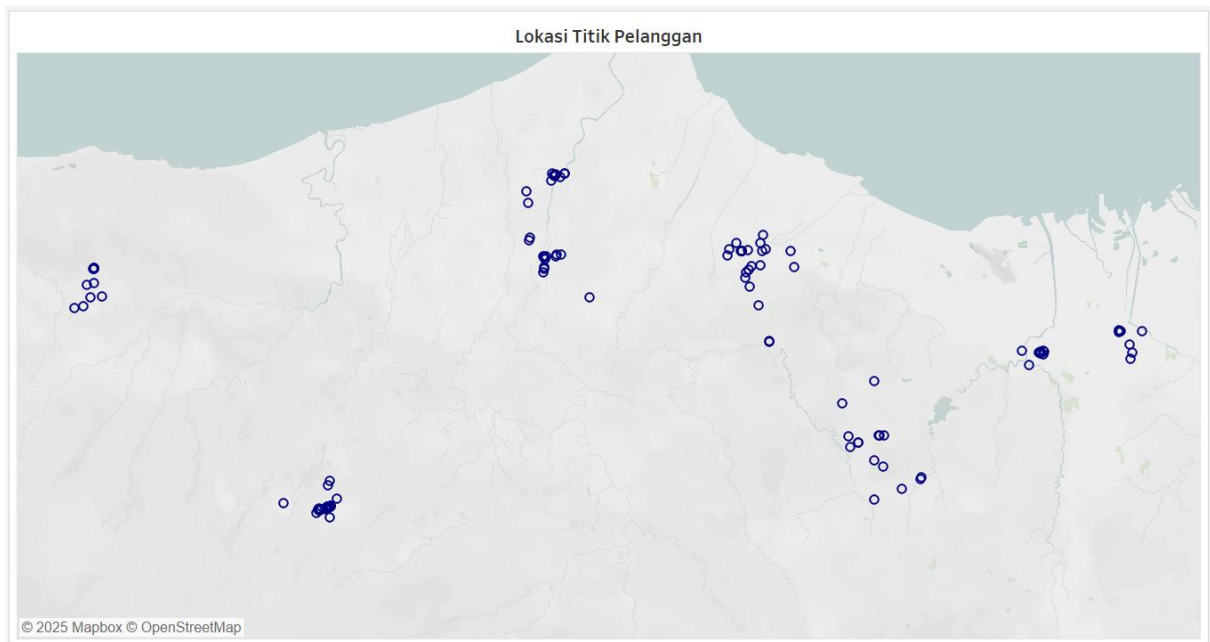
4.1.2 Data Pelanggan

Pada bagian ini akan membahas tentang data pelanggan yang nantinya akan dimasukkan ke dalam model optimasi. Data ini mencakup koordinat, jumlah pesanan, dan *revenue*. Data ini merupakan data transaksi harian yang akan diolah oleh *Delivery Planner*. Data transaksi harian dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 10 Data Transaksi Pelanggan

No	User ID	Latitude	Longitude	Revenue	Boxes
1	154573	-6.9710671	110.2568787	Rp 481,680	3
2	248305	-7.013361278	110.3964553	Rp 575,580	3
3	100405	-7.008122479	110.2612656	Rp 939,930	5
4	100354	-6.965702884	110.1584709	Rp 625,656	4
5	367268	-6.963094696	110.259548	Rp 568,905	3
6	277402	-6.964053517	110.2715616	Rp 503,520	3
7	63726	-6.9917373	109.9187082	Rp 752,493	4
8	83397	-7.003349033	110.4341083	Rp 576,690	3
9	262438	-6.974640831	110.1496575	Rp 688,776	4
10	260852	-7.091898742	110.0377836	Rp 900,274	6

Untuk data pelanggan secara keseluruhan terdapat pada Lampiran 2. Kemudian lokasi dari setiap pelanggan dapat divisualisasikan seperti pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Lokasi Pelanggan

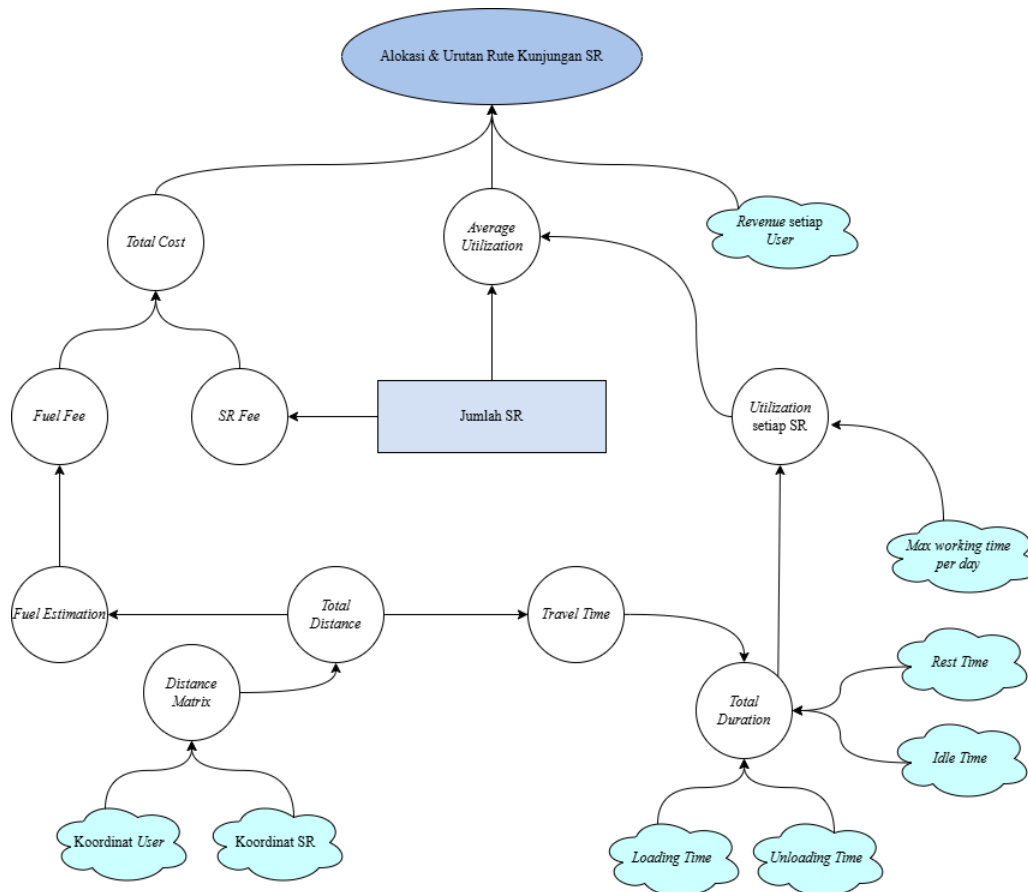
Data harian tersebut akan menjadi input dalam menentukan alokasi dan rute pengiriman *sales representative*.

4.2 Pengembangan Model

Sub-bab ini akan menjelaskan mengenai tahapan dalam pengembangan model optimasi yang dimulai dari pengembangan model konseptual hingga terbentuk model optimasi VBA.

4.2.1 Pengembangan Model Konseptual

Untuk merancang model optimasi penentuan rute dan alokasi *sales representative*, terdapat banyak faktor yang saling mempengaruhi dan perlu dipertimbangkan. Maka dari itu, diperlukan pemahaman secara holistik terhadap aspek-aspek tersebut agar mampu memahami serta menyelesaikan permasalahan dengan lebih baik. Sehingga disusunlah *influence diagram* yang dapat memodelkan dan menganalisis pengambilan keputusan di bawah ketidakpastian. *Influence diagram* dari penentuan rute dan alokasi *sales representative* dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3 Model Konseptual Influence Diagram

Adapun penjelasan untuk masing-masing simbol *influence diagram* antara lain dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Deskripsi Simbol Influence Diagram

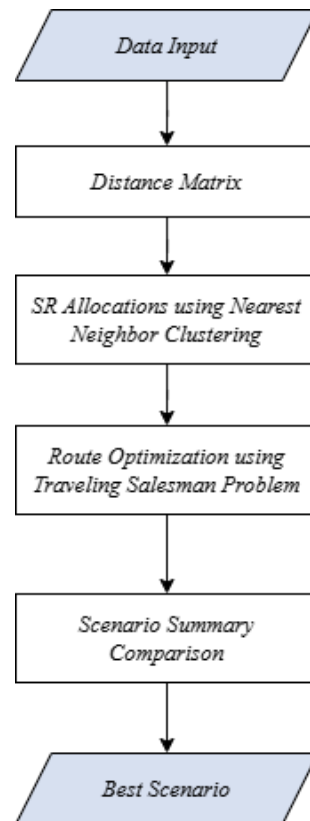
Simbol	Deskripsi
	Simbol oval merepresentasikan suatu output atau response variable.
	Simbol awan (cloud) merepresentasikan uncontrollable input data, constraints, dan lain sebagainya.
	Simbol lingkaran (circle) merepresentasikan variabel dari sistem atau state variable, yaitu nilai dari suatu variabel.
	Simbol persegi panjang (rectangle) merepresentasikan control input.

Sumber: Daellenbach & McNickle (2005)

Berdasarkan gambar 4.3, diagram tersebut menjelaskan hubungan antara keputusan, ketidakpastian, dan nilai dalam model optimasi penentuan rute dan alokasi *sales representative*. Terdapat beberapa variabel input yang akan mempengaruhi output, mulai dari koordinat user, koordinat SR, *loading unloading time*, *idle time*, *rest time*, *revenue* setiap user, dan maksimal waktu kerja per hari. Dari variable input tersebut, dihasilkan nilai-nilai seperti *distance matrix*, *total duration*, *total distance*, *fuel estimation*, dan beberapa nilai lainnya yang ditampilkan dalam symbol lingkaran. Dengan keputusan berupa penentuan jumlah *sales representative*, akan dihasilkan output berupa alokasi dan urutan rute kunjungan *sales representative* yang terbaik.

4.2.2 Pengembangan Model VBA

Pada bagian ini, dilakukan pengembangan model pada VBA dengan alur pada gambar 4.4 sebagai berikut.



Gambar 4.4 Alur Implementasi Model VBA

Berdasarkan gambar 4.4, VBA akan dikembangkan dalam sebuah file Excel yang terdiri dari beberapa bagian. Bagian pertama akan dimulai dengan data input yang akan menjadi tempat bagi *delivery planner* untuk memasukkan data transaksi. Setelah *delivery planner* memasukkan data transaksi, selanjutnya nilai koordinat pelanggan dan *sales representative* akan diolah menjadi *distance matrix*. Hasil perhitungan *distance matrix* selanjutnya akan digunakan untuk membantu pengalokasian *sales representative* dengan *nearest neighbor clustering*. Setelah mendapatkan hasil *clustering*, selanjutnya dilakukan optimasi rute dengan *traveling salesman problem*. Model *clustering* dan *traveling salesman problem* diaplikasikan pada setiap skenario dengan penyesuaian jumlah *sales representative*. Hasil alokasi dan rute kemudian dibandingkan setiap skenario oleh *Delivery Planner* untuk menentukan skenario terbaik yang akan diimplementasikan.

4.2.2.1 Data Input

Pengembangan model VBA dimulai dengan tahap data input, yang berfungsi sebagai wadah bagi *delivery planner* untuk memasukkan data transaksi harian pelanggan serta data koordinat dari masing-masing *sales representative*. Data input ini menjadi komponen utama dalam proses pembentukan model, karena seluruh proses selanjutnya mulai dari perhitungan *distance matrix*, proses *clustering*, hingga optimasi rute sangat bergantung pada kelengkapan dan ketepatan data awal yang dimasukkan. Struktur data input dapat dilihat pada Gambar 4.5, yang terdiri dari dua bagian utama. Bagian kiri tabel berisi informasi pelanggan, sedangkan bagian kanan berisi data koordinat dari *sales representative*.

 Daily Transaction Data						Date: 16-May-25		
						Max SR: 10		
No	User ID	Latitude	Longitude	Revenue	Boxes	Sales Representative	SR's Latitude	SR's Longitude
1	154573	-6.9710671	110.2568787	Rp481,680.00	3	1	-6.971074	110.2566
2	248305	-7.013361278	110.3964553	Rp575,580.00	3	2	-7.091522	110.0373
3	100405	-7.008122479	110.2612656	Rp939,930.00	5	3	-7.074093	110.3359
4	100354	-6.965702884	110.1584709	Rp625,656.00	4	4	-7.012926	110.3966
5	367268	-6.963094696	110.259548	Rp568,905.00	3	5	-6.965608	110.158
6	277402	-6.964053517	110.2715616	Rp503,520.00	3	6	-6.965702	109.9187
7	63726	-6.9917373	109.9187082	Rp752,493.00	4	7	-6.926428	110.1604
8	83397	-7.003349033	110.4341083	Rp576,690.00	3	8	-7.054186	110.2997
9	262438	-6.974640831	110.1496575	Rp688,776.00	4	9	-6.971067	110.2612
10	260852	-7.091898742	110.0377836	Rp900,274.00	6	10	-7.003715	110.4339
11	79924	-7.003147852	110.4339583	Rp513,600.00	3			
12	53603	-6.926039923	110.1602714	Rp685,272.00	4			
13	50077	-6.926145437	110.1603686	Rp811,392.00	5			
14	51077	-6.971965487	110.2732426	Rp1,397,040.00	7			
15	272569	-7.0032835	110.4336473	Rp1,348,450.00	8			
16	105911	-7.008251261	110.2610715	Rp491,520.00	3			
17	50155	-6.972823773	110.1500391	Rp1,384,800.00	7			
18	247417	-7.012831833	110.3962813	Rp768,960.00	4			
19	186252	-6.927766635	110.1582097	Rp599,601.00	4			
20	370494	-7.074505264	110.3361223	Rp511,440.00	3			
21	49580	-6.971869	110.1500921	Rp898,492.00	5			
22	370484	-7.003470646	110.4333393	Rp608,760.00	4			
23	263041	-7.087144276	110.0218419	Rp1,471,140.00	8			
24	44344	-7.075592936	110.335714	Rp261,300.00	2			
25	58683	-7.0902116	110.0386422	Rp670,575.00	4			

Gambar 4.5 Worksheet Data Input

Gambar 4.5 menunjukkan lembar kerja Data Input yang telah dirancang dalam Microsoft Excel sebagai antarmuka pengguna (*user interface*) untuk input data. Tabel sebelah kiri memuat informasi sebagai berikut:

- User ID: Identitas unik dari pelanggan.
- Latitude dan Longitude: Koordinat geografis lokasi pelanggan.
- *Revenue*: Nilai transaksi yang dilakukan oleh pelanggan (dalam satuan rupiah).
- *Boxes*: Jumlah unit barang yang dipesan pelanggan.

Sementara itu, tabel di sebelah kanan menunjukkan posisi dari *sales representative* (SR) yang terdiri dari:

- Nomor urut SR (1–10).
- Koordinat *latitude* dan *longitude* masing-masing SR sebagai titik awal keberangkatan dalam proses pengiriman.

Informasi ini akan digunakan sebagai basis dalam perhitungan jarak antar titik pada tahap *distance matrix*. Dengan data tersebut, model dapat melakukan pengalokasian pelanggan ke *sales representative* terdekat secara efisien serta menjadi dasar dalam optimasi rute.

4.2.2.2 Distance Matrix

Setelah data input dimasukkan oleh *delivery planner*, tahap selanjutnya adalah membentuk *distance matrix* yang merepresentasikan jarak antar titik, baik antara pelanggan dengan pelanggan lain maupun antara pelanggan dengan masing-masing *sales representative*. *Distance matrix* ini menjadi elemen penting dalam pengambilan keputusan alokasi dan optimasi rute karena digunakan sebagai dasar dalam perhitungan total jarak tempuh.

Pembuatan *distance matrix* dilakukan menggunakan kode VBA yang telah dikembangkan, dengan memanfaatkan metode *Haversine Formula* untuk menghitung jarak geodesik berdasarkan koordinat lintang (*latitude*) dan bujur (*longitude*). Proses ini secara otomatis mengkalkulasi jarak antar seluruh titik dalam sistem dan menyajikannya dalam bentuk matriks

di *worksheet Distance Matrix*. Penjelasan tahapan kode VBA untuk pembentukan *distance matrix* ditampilkan pada tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 Kode Pemrograman *Distance Matrix*

No	Kode Pemrograman	Penjelasan
1	Set wsIn = ThisWorkbook.Sheets("Data Input") Set wsOut = ThisWorkbook.Sheets("Distance Matrix") wsOut.Cells.Clear	Mengatur <i>worksheet input</i> dan <i>output</i> serta menghapus isi <i>sheet Distance Matrix</i> .
2	srCount = wsIn.Cells(wsIn.Rows.count, 10).End(xlUp).Row - 4 userCount = wsIn.Cells(wsIn.Rows.count, 4).End(xlUp).Row - 4 totalPoints = srCount + userCount	Menghitung jumlah <i>sales representative</i> , pelanggan, dan total titik lokasi.
3	ReDim names(1 To totalPoints) ReDim lats(1 To totalPoints) ReDim lons(1 To totalPoints)	Inisialisasi <i>array</i> untuk menyimpan nama dan koordinat semua titik.
4	For i = 1 To srCount names(i) = "SR " & i lats(i) = wsIn.Cells(i + 4, 11).Value lons(i) = wsIn.Cells(i + 4, 12).Value Next i	Mengambil data nama dan koordinat <i>sales representative</i> .
5	For i = 1 To userCount names(srCount + i) = CStr(wsIn.Cells(i + 4, 4).Value) lats(srCount + i) = wsIn.Cells(i + 4, 5).Value lons(srCount + i) = wsIn.Cells(i + 4, 6).Value Next i	Mengambil data pelanggan dan menyimpannya dalam <i>array</i> .
6	For i = 1 To totalPoints wsOut.Cells(startRow - 1, startCol + i - 1) = names(i) wsOut.Cells(startRow + i - 1, startCol - 1) = names(i) Next i	Mengisi <i>header</i> baris dan kolom pada <i>distance matrix</i> dengan nama titik.
7	wsOut.Cells(startRow - 1, startCol - 1) = "Distance (km)"	Mengisi <i>header</i> sel kiri atas tabel.
8	r = 6371 p = 3.14159265358979 toRad = p / 180	Mengatur konstanta untuk perhitungan jarak <i>Haversine</i> .
9	For i = 1 To totalPoints For j = 1 To totalPoints If i = j Then .Value = 999999 Else hitung jarak menggunakan Haversine Round(dist, 2) Next j Next i	Mengisi setiap sel matriks dengan jarak antar titik (atau 999999 jika titik sama).
10	wsOut.Range(...).Borders.LineStyle = xlContinuous	Menambahkan garis batas pada keseluruhan tabel.
11	wsOut.Range("A1:A135").Interior.Color = colorBgOuter wsOut.Range("B1:ED1").Interior.Color = colorBgOuter wsOut.Range("B2:ED2").Interior.Color = colorBgOuter	Mendesain tampilan <i>user interface</i> (format warna latar).

Distance matrix ini berfungsi sebagai *input* utama dalam proses *clustering* dan *routing*. Jarak antara masing-masing pelanggan dan *sales representative* dihitung dengan presisi menggunakan jarak *Haversine* hingga dua desimal dalam satuan kilometer. Nilai 999999 digunakan pada diagonal matriks untuk merepresentasikan bahwa titik tersebut tidak perlu dibandingkan dengan dirinya sendiri. Berikut merupakan tampilan hasil dari VBA *distance matrix*. Kode lengkap dapat dilihat pada Lampiran 3.

Distance Matrix										CALCULATE DISTANCE						
Distance (km)	SR 1	SR 2	SR 3	SR 4	SR 5	SR 6	SR 7	SR 8	SR 9	SR 10	154573	248305	100405	100354	367268	277402
SR 1	999999	27.66	14.42	16.14	10.9	37.3	11.72	10.39	0.51	19.9	0.03	16.14	4.15	10.85	0.95	1.83
SR 2	27.66	999999	33.01	40.6	19.33	19.16	22.84	29.25	28.11	44.84	27.69	40.58	26.4	19.35	28.38	29.48
SR 3	14.42	33.01	999999	9.55	23.04	47.59	25.39	4.57	14.11	13.35	14.4	9.5	11.03	22.99	14.94	14.15
SR 4	16.14	40.6	9.55	999999	26.85	53.01	27.79	11.64	15.65	4.24	16.11	0.05	14.95	26.8	16.11	14.83
SR 5	10.9	19.33	23.04	26.85	999999	26.41	4.36	18.48	11.41	30.74	10.93	26.85	12.34	0.05	11.21	12.54
SR 6	37.3	19.16	47.59	53.01	26.41	999999	27.03	43.18	37.81	57.02	37.33	52.99	38.1	26.46	37.62	38.95
SR 7	11.72	22.84	25.39	27.79	4.36	27.03	999999	20.93	12.18	31.39	11.75	27.79	14.37	4.37	11.68	12.96
SR 8	10.39	29.25	4.57	11.64	18.48	43.18	20.93	999999	10.17	15.84	10.38	11.6	6.65	18.43	11.06	10.49
SR 9	0.51	28.11	14.11	15.65	11.41	37.81	12.18	10.17	999999	19.4	0.48	15.65	4.12	11.35	0.91	1.38
SR 10	19.9	44.84	13.35	4.24	30.74	57.02	31.39	15.84	19.4	999999	19.87	4.27	19.06	30.69	19.77	18.45
154573	0.03	27.69	14.4	16.11	10.93	37.33	11.75	10.38	0.48	19.87	999999	16.11	4.15	10.88	0.93	1.8
248305	16.14	40.58	9.5	0.05	26.85	52.99	27.79	11.6	15.65	4.27	16.11	999999	14.93	26.8	16.11	14.83
100405	4.15	26.4	11.03	14.95	12.34	38.1	14.37	6.65	4.12	19.06	4.15	14.93	999999	12.29	5.01	5.03
100354	10.85	19.35	22.99	26.8	0.05	26.46	4.37	18.43	11.35	30.69	10.88	26.8	12.29	999999	11.16	12.48
367268	0.95	28.38	14.94	16.11	11.21	37.62	11.68	11.06	0.91	19.77	0.93	16.11	5.01	11.16	999999	1.33
277402	1.83	29.48	14.15	14.83	12.54	38.95	12.96	10.49	1.38	18.45	1.8	14.83	5.03	12.48	1.33	999999
83726	37.36	17.16	46.94	52.8	26.57	2.89	27.65	42.62	37.87	56.88	37.39	52.78	37.85	26.62	37.75	39.07
83397	19.92	44.87	13.39	4.27	30.76	57.04	31.4	15.87	19.42	0.05	19.89	4.3	19.08	30.71	19.78	18.46
262438	11.81	17.96	23.34	27.58	1.36	25.51	5.49	18.77	12.32	31.54	11.84	27.58	12.87	1.39	12.2	13.51
260852	27.63	0.07	32.96	40.56	19.32	19.23	22.84	29.2	28.08	44.8	27.66	40.53	26.36	19.35	28.36	29.46
79924	19.9	44.86	13.39	4.26	30.74	57.02	31.38	15.87	19.4	0.06	19.87	4.29	19.07	30.69	19.76	18.44
53803	11.75	22.86	25.43	27.82	4.41	27.03	0.05	20.97	12.21	31.41	11.78	27.82	14.41	4.41	11.71	12.99
50077	11.74	22.86	25.42	27.8	4.4	27.04	0.03	20.96	12.2	31.4	11.77	27.8	14.39	4.4	11.69	12.98
51077	1.84	29.24	13.3	14.36	12.74	39.14	13.45	9.6	1.33	18.08	1.81	14.36	4.23	12.69	1.8	0.9
272569	19.87	44.83	13.35	4.23	30.71	56.99	31.35	15.83	19.37	0.06	19.84	4.25	19.03	30.66	19.73	18.41

Gambar 4.6 User Interface VBA Distance Matrix

Berdasarkan gambar 4.6, terdapat *symbol* bertuliskan 'CALCULATE DISTANCE' yang berfungsi sebagai tombol *shortcut* untuk menjalankan VBA *distance matrix*. Tampilan *distance matrix* memungkinkan sistem untuk mengidentifikasi kombinasi alokasi dan rute dengan total jarak tempuh minimum. Tahap ini akan dilanjutkan dengan proses *clustering* dan optimasi rute yang memanfaatkan *distance matrix* sebagai referensi utama.

4.2.2.3 Clustering Alokasi Sales representative

Setelah *distance matrix* terbentuk, tahap berikutnya adalah melakukan proses *clustering* untuk mengalokasikan pelanggan kepada *sales representative* yang paling dekat. Pada penelitian ini, metode *clustering* yang digunakan adalah *Nearest Neighbor Clustering*, yaitu dengan membandingkan jarak antara setiap pelanggan dengan seluruh *sales representative* berdasarkan *distance matrix*, kemudian menetapkan pelanggan kepada *sales representative* dengan jarak terpendek.

Pengalokasian ini dilakukan dengan kode VBA yang dikembangkan dan hasilnya divisualisasikan dalam dua bagian, yaitu 'Cluster Result' dan 'Summary Result'. 'Cluster Result' berisikan daftar pelanggan beserta SR yang ditugaskan, sedangkan 'Summary Result' merangkum total pelanggan, total nilai transaksi (*revenue*), dan *total boxes* yang ditangani oleh masing-masing SR. Tabel 4.7 berikut menjelaskan langkah-langkah kode VBA yang digunakan dalam proses *clustering*.

Tabel 4.7 Kode Pemrograman *Nearest Neighbor Clustering*

No	Kode Pemrograman	Penjelasan
1	Set wsMatrix = ThisWorkbook.Sheets("Distance Matrix") Set wsIn = ThisWorkbook.Sheets("Data Input") Set wsOut = ThisWorkbook.Sheets("1st Scenario") wsOut.Cells.Clear	Mengatur <i>worksheet</i> sumber data (Distance Matrix dan Data Input) serta <i>sheet output</i> untuk hasil <i>clustering</i> skenario pertama.
2	userStartRow = 14 srCount = 10 userCount = wsMatrix.Cells(wsMatrix.Rows.count, 2).End(xlUp).Row - userStartRow + 1	Menentukan baris awal data pengguna di <i>distance matrix</i> dan menghitung jumlah pengguna serta <i>sales representative</i> .

No	Kode Pemrograman	Penjelasan
3	ReDim userID(...), lat(...), lon(...), rev(...), box(...), assignedSR(...)	Menginisialisasi <i>array</i> untuk menyimpan data pelanggan serta hasil alokasi SR.
4	ReDim srID(1 To srCount) For i = 1 To srCount: srID(i) = wsIn.Cells(5 + i - 1, 10).Value: Next i	Membaca ID SR dari kolom J pada Data Input ke dalam <i>array</i> srID.
5	For i = 1 To userCount: userID(i) = ...	Membaca data pelanggan dari <i>sheet</i> Data Input: ID, koordinat, <i>revenue</i> , dan box.
6	For i = 1 To userCount minDist = 999999 For j = 1 To srCount dist = wsMatrix.Cells(userStartRow + i - 1, j + 2).Value If dist < minDist Then ...	Menentukan jarak terpendek dari setiap pelanggan ke seluruh SR dengan metode <i>nearest neighbor</i> .
7	assignedSR(i) = srID(bestSR)	Menyimpan ID SR terdekat untuk masing-masing pelanggan ke dalam <i>array</i> assignedSR.
8	with wsOut.Range("B3:H3") ... End With	Menuliskan judul "Cluster Result" di bagian atas hasil alokasi.
9	headers = Array(...) For i = 0 To UBound(headers) ...	Menuliskan nama kolom hasil alokasi (<i>User ID, Latitude, Longitude, Revenue, Boxes, SR</i>).
10	For i = 1 To userCount wsOut.Cells(...).Value = ...	Menuliskan hasil alokasi user ke dalam tabel mulai dari baris ke-5.
11	Set summary = CreateObject("Scripting.Dictionary") If Not summary.exists(...) Then ...	Membuat <i>dictionary summary</i> untuk mencatat jumlah <i>user, total revenue</i> , dan <i>box</i> per SR.
12	With wsOut.Range(...) wsOut.Cells(summaryRow, summaryCol).Value = ...	Membuat bagian "Summary Result" dan <i>header</i> -nya (<i>Total Users, Revenue, Boxes</i>).
13	srKeys = summary.Keys For i = LBound(...)	Mengurutkan ID SR sebelum dituliskan ke dalam <i>summary</i> .
14	For Each a In srKeys: wsOut.Cells(...).Value = ...: Next	Menuliskan isi ringkasan per SR ke dalam <i>sheet output</i> .

Kode VBA ini bersifat modular dan dapat digunakan untuk skenario lainnya seperti *2nd Scenario*, *3rd Scenario*, hingga *6th Scenario*. Perbedaan utama terletak pada jumlah *sales representative* yang digunakan dalam setiap skenario. Oleh karena itu, satu-satunya bagian kode yang perlu disesuaikan adalah nilai *srCount* yang ada pada kode nomor 2 baris kedua, serta lembar kerja *output* (*wsOut*) yang menunjuk ke nama *sheet* masing-masing skenario yang terdapat pada kode nomor 1 baris ketiga. Kode lengkap dapat dilihat pada Lampiran 4. Berikut merupakan perubahan kode skenario lainnya yang dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Perubahan Kode Pemrograman *Clustering*

Skenario	Perubahan Kode Pemrograman	
	Kode no 1 baris 3	Kode no 2 baris 2
2	Set wsOut = ThisWorkbook.Sheets("2nd Scenario")	srCount = 9
3	Set wsOut = ThisWorkbook.Sheets("3rd Scenario")	srCount = 8
4	Set wsOut = ThisWorkbook.Sheets("4th Scenario")	srCount = 7
5	Set wsOut = ThisWorkbook.Sheets("5th Scenario")	srCount = 6
6	Set wsOut = ThisWorkbook.Sheets("6th Scenario")	srCount = 5

Dengan menyesuaikan kedua baris ini, algoritma *clustering* dapat langsung digunakan untuk skenario lainnya tanpa perlu perubahan logika tambahan.

Sales Representative Allocation (1st Scenario)										
Cluster Result							Summary Result			
No	User ID	Latitude	Longitude	Revenue	Boxes	Sales Representative	Sales Representative	Total Users	Total Revenue	Total Boxes
1	154573	-6.9710671	110.2568787	Rp 481,680	3	1	1	19	Rp 19,362,172	105
2	248305	-7.013361278	110.3964553	Rp 575,580	3	4	2	27	Rp 31,551,817	178
3	100405	-7.008122479	110.2612656	Rp 939,930	5	9	3	5	Rp 3,415,100	20
4	100354	-6.965702884	110.1584709	Rp 625,656	4	5	4	8	Rp 6,170,016	35
5	367268	-6.963094696	110.259548	Rp 568,905	3	9	5	13	Rp 14,754,232	82
6	277402	-6.964053517	110.2715616	Rp 503,520	3	9	6	11	Rp 10,327,087	59
7	63726	-6.9917373	109.9187082	Rp 752,493	4	6	7	11	Rp 10,289,257	57
8	83397	-7.003349033	110.4341083	Rp 576,690	3	10	8	10	Rp 8,808,148	48
9	262438	-6.974640831	110.1496575	Rp 688,776	4	5	9	5	Rp 3,900,915	21
10	260852	-7.091898742	110.0377836	Rp 900,274	6	2	10	9	Rp 6,605,554	39
11	79924	-7.003147852	110.4339583	Rp 513,600	3	10				
12	53603	-6.926039923	110.1602714	Rp 685,272	4	7				
13	50077	-6.926145437	110.1603686	Rp 811,392	5	7				
14	51077	-6.971965487	110.2732426	Rp 1,397,040	7	9				
15	272569	-7.0032835	110.4336473	Rp 1,348,450	8	10				
16	105911	-7.008251261	110.2610715	Rp 491,520	3	9				
17	50155	-6.972823773	110.1500391	Rp 1,384,800	7	5				
18	247417	-7.012831833	110.3962813	Rp 768,960	4	4				
19	186252	-6.927766635	110.1582097	Rp 599,601	4	7				
20	370494	-7.074505264	110.3361223	Rp 511,440	3	3				
21	49580	-6.971869	110.1500921	Rp 898,492	5	5				
22	370484	-7.003470646	110.433393	Rp 608,760	4	10				
23	263041	-7.087144276	110.0218419	Rp 1,471,140	8	2				
24	44344	-7.075592936	110.335714	Rp 261,300	2	3				
25	58683	-7.0902116	110.036422	Rp 670,575	4	2				
26	331887	-6.9910149	109.9230166	Rp 1,754,276	10	6				
27	46943	-7.0899168	110.039081	Rp 1,435,950	8	2				
28	43774	-6.9904622	110.2557092	Rp 2,093,280	11	1				
29	55615	-7.090422965	110.0392989	Rp 582,940	3	2				
30	56665	-6.964041853	110.2475974	Rp 511,920	3	1				

CLUSTERING

↓

ROUTE OPTIMIZATION

Gambar 4.7 User Interface VBA Clustering pada Skenario 1

Gambar 4.7 menunjukkan *user interface* hasil alokasi *Sales representative* untuk skenario pertama. Terdapat *symbol* bertuliskan 'CLUSTERING' yang berfungsi sebagai tombol *shortcut* untuk menjalankan VBA *clustering*. Tabel di sisi kiri (*Cluster Result*) memuat daftar pelanggan lengkap dengan informasi lokasi, nilai transaksi, jumlah *box*, serta SR yang dialokasikan. Tabel di sisi kanan (*Summary Result*) menyajikan total agregat pengguna, total *revenue*, dan *box* yang ditangani tiap SR. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa SR nomor 2 menangani jumlah pelanggan terbanyak, yaitu 27 *user*, dengan total *revenue* mencapai Rp31.551.817. Sementara itu, SR nomor 3 hanya menangani 5 pelanggan dengan *revenue* Rp3.415.100. Hasil ini akan menjadi dasar bagi proses berikutnya yaitu optimasi rute untuk setiap *sales representative* agar total jarak tempuh dapat diminimalkan dalam operasional harian. Di bawah *symbol* bertuliskan 'CLUSTERING', juga terdapat anak panah yang menunjuk ke *symbol* di bawahnya, yaitu, 'ROUTE OPTIMIZATION' untuk menjalankan VBA optimasi rute menggunakan *Traveling Salesman Problem* yang akan dibahas pada bagian 4.2.2.4.

4.2.2.4 Optimasi Rute *Sales representative*

Setelah proses *clustering* selesai dan setiap pelanggan telah dialokasikan ke *sales representative* terdekat, langkah selanjutnya adalah melakukan optimasi rute kunjungan agar urutan perjalanan yang ditempuh oleh masing-masing *sales representative* menjadi lebih efisien. Proses ini menggunakan pendekatan *Traveling Salesman Problem* (TSP) dengan metode *Nearest Neighbor Heuristic* yang diprioritaskan berdasarkan jarak dan nilai transaksi (*revenue*). Optimasi dilakukan secara independen untuk setiap SR sesuai dengan pelanggan yang telah dialokasikan sebelumnya.

Optimasi rute diimplementasikan dalam VBA dengan menghasilkan dua bagian *output*, yaitu Optimized Route per SR dan Utilization Summary. Optimized Route per SR menampilkan urutan kunjungan, estimasi jarak tempuh, waktu tempuh, durasi *loading* dan *unloading*, serta estimasi waktu *check-in* dan *check-out*, sedangkan Utilization Summary merangkum beban kerja tiap SR berdasarkan total pelanggan, jarak, waktu, dan tingkat utilisasi terhadap waktu kerja standar (9 jam termasuk 1 jam istirahat). Kode lengkap untuk proses optimasi rute ditampilkan dan dijelaskan dalam Tabel 4.9 berikut.

Tabel 4.9 Kode Pemrograman Optimasi Route

No	Kode Pemrograman	Penjelasan
1	Set wsDist = Sheets("Distance Matrix") Set wsScenario = Sheets("1st Scenario") Set wsOut = wsScenario	Menghubungkan <i>sheet distance matrix</i> , skenario hasil <i>clustering</i> , dan <i>output</i> hasil rute.
2	srCount = WorksheetFunction.Max(...)	Menentukan jumlah total SR berdasarkan kolom alokasi (H) dari <i>sheet</i> skenario.
3	For sr = 1 To srCount userList.Add ...	Mengelompokkan pelanggan milik masing-masing SR dan menyimpannya ke dalam koleksi.
4	For stepIndex = 1 To userList.count ...	Menentukan urutan kunjungan dengan mencari pelanggan terdekat yang belum dikunjungi, dengan prioritas tambahan berdasarkan <i>revenue</i> .
5	Dim checkinTime As Date: checkinTime = 08:15:00 If checkinTime >= lunchStart Then checkinTime = lunchEnd	Menetapkan waktu kunjungan dimulai pukul 08:15 dan memperhitungkan jeda makan siang.
6	travelMin = distance * 10 loadingMin = RandBetween(...)	Menghitung estimasi waktu tempuh, loading, dan unloading berdasarkan jarak dan nilai acak wajar.
7	wsOut.Cells(...).Value = ...	Menulis data ke dalam tabel output yang mencakup order kunjungan, ID <i>user</i> , koordinat, <i>revenue</i> , estimasi waktu, dan waktu aktual kunjungan.
8	summary(sr, ...) = ...	Menyimpan ringkasan total pengguna, <i>revenue</i> , <i>boxes</i> , jarak, dan waktu untuk per SR.
9	With wsOut.Range("AD3") ...	Menulis tabel <i>summary</i> utilisasi di kolom sebelah kanan hasil optimasi per SR.
10	Utilization = (totalDuration - TimeSerial(1, 0, 0)) / TimeSerial(8,0,0)	Mengukur tingkat utilisasi waktu kerja masing-masing SR terhadap waktu kerja standar (8 jam).

Berdasarkan kode pada Tabel 4.9, Kode VBA yang digunakan untuk optimasi rute ini bersifat generik dan fleksibel, sehingga dapat digunakan kembali untuk skenario lainnya dan berikut merupakan tampilan yang dihasilkan ketika kode dijalankan menggunakan *symbol* 'ROUTE OPTIMIZATION'. Kode lengkap dapat dilihat pada Lampiran 5.

Sales Representative Route Optimization (1st Scenario)												
Sales Representative Allocation												Sales Representative Utilization
Optimized Route for SR 1												
Order	User ID	Latitude	Longitude	Revenue	Boxes	Distance (km)	Travel Time	Loading	Unloading	Check-in	Check-out	
1	154573	-6.971067	110.256879	Rp 481,680	3	0.03	00:00:18	00:02:06	00:09:30	08:15:18	08:26:54	
2	185571	-6.971322	110.252225	Rp 1,132,708	6	0.51	00:05:06	00:07:30	00:04:18	08:32:00	08:43:48	
3	116078	-6.973317	110.250922	Rp 2,516,760	13	0.26	00:02:36	00:04:06	00:05:54	08:46:24	08:56:24	
4	46213	-6.974315	110.249511	Rp 595,200	3	0.19	00:01:54	00:03:18	00:08:06	08:58:18	09:09:42	
5	51200	-6.977243	110.249398	Rp 612,720	4	0.33	00:03:18	00:04:30	00:06:54	09:13:00	09:24:24	
6	47036	-6.981214	110.251535	Rp 925,420	5	0.5	00:05:00	00:05:00	00:03:30	09:29:24	09:37:54	
7	43774	-6.990462	110.255709	Rp 2,093,280	11	1.13	00:11:18	00:02:06	00:08:06	09:49:12	09:59:24	
8	287510	-6.963866	110.257728	Rp 738,000	4	2.97	00:29:42	00:04:48	00:02:36	10:29:06	10:36:30	
9	157212	-6.960095	110.256696	Rp 681,600	4	0.43	00:04:18	00:06:54	00:09:06	10:40:48	10:56:48	
10	264647	-6.95609	110.258209	Rp 961,160	5	0.48	00:04:48	00:06:06	00:02:36	11:01:36	11:10:18	
11	368233	-6.963446	110.250661	Rp 1,242,600	7	1.17	00:11:42	00:04:24	00:03:48	11:22:00	11:30:12	
12	334917	-6.963986	110.247727	Rp 1,773,600	9	0.33	00:03:18	00:06:06	00:04:12	11:33:30	11:43:48	
13	56653	-6.964068	110.24763	Rp 798,000	4	0.01	00:00:06	00:08:06	00:05:30	11:43:54	11:57:30	
14	56665	-6.964042	110.247597	Rp 511,920	3	0	00:00:00	00:03:42	00:06:24	11:57:30	12:07:36	
15	56648	-6.963826	110.247723	Rp 930,624	5	0.03	00:00:18	00:04:18	00:03:00	13:00:00	13:07:18	
16	82943	-6.964104	110.247228	Rp 1,107,420	6	0.06	00:00:36	00:08:24	00:09:36	13:07:54	13:25:54	
17	46289	-6.959936	110.244813	Rp 847,360	5	0.53	00:05:18	00:06:12	00:09:36	13:31:12	13:47:00	
18	47063	-6.96329	110.241427	Rp 781,880	4	0.53	00:05:18	00:08:54	00:02:18	13:52:18	14:03:30	
19	305307	-6.966351	110.240577	Rp 630,240	4	0.35	00:03:30	00:08:54	00:06:30	14:07:00	14:22:24	
SR	Total Users	Total Revenue	Total Boxes	Total Distance	Total Duration	Utilization						
1	19	Rp 19,362,172	105	9.84	06:22:24	67.17%						
2	27	Rp 31,551,817	178	7.33	07:50:00	85.42%						
3	5	Rp 3,415,100	20	4.75	02:01:42	12.85%						
4	8	Rp 6,170,016	35	2.39	02:24:18	17.56%						
5	13	Rp 14,754,232	82	8.67	05:09:42	52.02%						
6	11	Rp 10,327,087	59	5.42	03:24:06	30.02%						
7	11	Rp 10,289,257	57	3.47	02:55:30	24.06%						
8	10	Rp 8,808,148	48	9.82	03:48:00	35.00%						
9	5	Rp 3,900,915	21	7.4	02:24:00	17.50%						
10	9	Rp 6,605,554	39	3.6	02:36:00	20.00%						

Gambar 4.8 User Interface VBA Optimasi Route pada Skenario 1

Gambar 4.8 menunjukkan hasil optimasi rute kunjungan untuk skenario pertama. Di bagian kiri, ditampilkan rute kunjungan terurut berdasarkan efisiensi jarak. Tabel ini mencakup estimasi jarak tempuh antar titik, waktu tempuh, serta aktivitas *loading* dan *unloading*. Di bagian kanan, terlihat utilisasi waktu kerja dari masing-masing *sales representative*. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa SR 2 memiliki 27 pelanggan dan total *revenue* tertinggi (Rp 31.551.817), menempuh jarak 7.26 km dengan total durasi kerja 8 jam 16 menit, menghasilkan utilisasi sebesar 91.93%. Sebaliknya, SR 3 hanya menangani 5 pelanggan dengan utilisasi waktu sebesar 21.80%, menunjukkan ketidakseimbangan beban kerja yang dapat dianalisis lebih lanjut dalam evaluasi skenario. Kode VBA yang digunakan untuk optimasi rute ini bersifat generik dan fleksibel, sehingga dapat digunakan kembali untuk skenario lainnya

4.2.2.5 Pemilihan Skenario Terbaik

Setelah seluruh skenario dieksekusi dan hasil optimasi rute beserta rekap kinerja masing-masing *sales representative* diperoleh, tahap terakhir dalam pengembangan model VBA ini adalah melakukan pemilihan skenario terbaik. Pemilihan ini bertujuan untuk menentukan konfigurasi jumlah *sales representative* yang memberikan hasil optimal secara operasional dan *financial*, dengan mempertimbangkan efisiensi waktu, jarak tempuh, dan total biaya.

Scenario Decision					
Scenario Summary					
Scenario	Number of SRs	Total Revenue	Total Distance	Total Duration	Avg Utilization
1st Scenario	10	Rp 115,184,298	62.69	39:15:24	35.83%
2nd Scenario	9	Rp 115,184,298	68.04	40:20:12	42.23%
3rd Scenario	8	Rp 115,184,298	66.46	40:09:36	50.79%
4th Scenario	7	Rp 115,184,298	71.17	41:39:36	58.99%
5th Scenario	6	Rp 115,184,298	75.3	42:50:18	74.32%
6th Scenario	5	Rp 115,184,298	89.23	44:43:06	Not Feasible
Cost Calculation					
Scenario	SR Fee	Fuel Estimation (L)	Fuel Fee	Fuel Fee For all SR	Total Cost
1st Scenario	Rp1,350,000.00	0.25	Rp12,400.00	Rp124,000.00	Rp1,474,000.00
2nd Scenario	Rp1,215,000.00	0.29	Rp12,400.00	Rp111,600.00	Rp1,326,600.00
3rd Scenario	Rp1,080,000.00	0.40	Rp12,400.00	Rp99,200.00	Rp1,179,200.00
4th Scenario	Rp945,000.00	0.49	Rp12,400.00	Rp86,800.00	Rp1,031,800.00
5th Scenario	Rp810,000.00	0.49	Rp12,400.00	Rp74,400.00	Rp884,400.00
6th Scenario	Rp675,000.00	0.68	Rp12,400.00	Rp62,000.00	Not Feasible
Decision					
BEST RESULT			5th Scenario		

Gambar 4.9 User Interface Rekapitulasi Seluruh Skenario

Gambar 4.9 menyajikan ringkasan hasil enam skenario, masing-masing dengan jumlah SR yang berbeda-beda. Tabel pertama, Scenario Summary merangkum total pendapatan yang tetap sama karena semua skenario melayani transaksi yang identik, total jarak tempuh dan durasi kerja, dan rata-rata utilisasi waktu kerja harian dari tiap SR. Sementara itu, tabel kedua, Cost Calculation menampilkan estimasi biaya dari tiap skenario, yang terdiri dari Biaya tetap per SR (*SR Fee*), Estimasi konsumsi bahan bakar dan biaya bahan bakar (*Fuel Fee*), Biaya total (*Total Cost*) sebagai akumulasi dari seluruh biaya untuk tiap SR.

Pada model ini, apabila nilai rata-rata utilisasi (*Avg Utilization*) dari suatu skenario melebihi 100%, maka skenario tersebut dianggap tidak layak (*Not Feasible*). Hal ini menandakan bahwa total beban kerja melebihi kapasitas kerja harian yang direncanakan, yaitu 8 jam per hari per SR. Oleh karena itu, nilai pada kolom Total Cost juga otomatis diset sebagai *Not Feasible* sehingga skenario yang tidak sesuai tidak akan dianalisis atau dipertimbangkan lebih lanjut dalam pemilihan akhir. Sebagai contoh, skenario ke-6 dengan hanya 5 SR menghasilkan utilisasi rata-rata melebihi 100%, sehingga statusnya ditetapkan sebagai tidak layak secara operasional dan dieliminasi dari analisis pemilihan skenario terbaik.

Pemilihan skenario terbaik dilakukan secara otomatis menggunakan VBA dengan beberapa fungsi utama yang dijelaskan dalam tabel 4.10 berikut dan kode lengkap dapat dilihat pada Lampiran 6.

Tabel 4.10 Kode Pemrograman Pemilihan Skenario Terbaik

No	Kode Pemrograman	Penjelasan
1	For i = 14 To 19 If InStr(..., \"Not Feasible\") = 0 Then ...	Melakukan iterasi pada tabel biaya untuk mencari skenario dengan biaya minimum yang layak.
2	rawCost = Replace(...)	Membersihkan format rupiah dan mengubah <i>string</i> menjadi angka numerik agar bisa dibandingkan.
3	If CDBl(rawCost) < minCost Then ...	Menyimpan nilai biaya minimum yang valid.
4	bestScenario = ws.Cells(i, 2).Value	Setelah ditemukan, nama skenario dengan biaya terendah disimpan sebagai skenario terbaik.
5	ws.Range(\"D22\").Value = bestScenario	Menuliskan nama skenario terbaik ke <i>cell</i> D22 di sheet Summary.
6	wsSource.Range(\"P1:AK160\").Copy Destination:=ws.Range(\"J1\")	Menyalin hasil optimasi rute dari <i>sheet</i> skenario terpilih ke <i>sheet</i> Summary.
7	MsgBox \"Best scenario is: ...\"	Menampilkan notifikasi akhir bahwa pemilihan skenario terbaik telah selesai.

Berdasarkan hasil perhitungan, skenario ke-5 dengan 6 SR dipilih sebagai skenario terbaik. Skenario ini memiliki utilisasi rata-rata sebesar 79.45%, nilai yang optimal dibandingkan dengan efisiensi rute, durasi kerja, dan biaya total operasional sebesar Rp884.400,00. Hasil pemilihan ini dapat dijalankan dengan *symbol* 'BEST RESULT' pada bagian bawah, yang membantu *delivery planner* mengambil keputusan implementasi berdasarkan analisis kuantitatif yang objektif. Berikut merupakan hasil visualisasi secara lengkap.

Scenario Decision					
Scenario Summary					
Scenario	Number of SRs	Total Revenue	Total Distance	Total Duration	Avg Utilization
1st Scenario	10	Rp 115,184,298	62.69	38:55:42	36.16%
2nd Scenario	9	Rp 115,184,298	66.04	39:28:24	42.32%
3rd Scenario	8	Rp 115,184,298	66.46	39:23:42	49.05%
4th Scenario	7	Rp 115,184,298	71.17	41:17:54	61.25%
5th Scenario	6	Rp 115,184,298	75.3	41:25:24	73.80%
6th Scenario	5	Rp 115,184,298	89.23	43:16:48	Not Feasible
Cost Calculation					
Scenario	SR Fee	Post Estimation (2)	Post Fee	Post Fee Per all SR	Total Cost
1st Scenario	Rp1,350,000	0.25	Rp12,400	Rp124,000	Rp1,474,000
2nd Scenario	Rp1,215,000	0.29	Rp12,400	Rp111,600	Rp1,326,600
3rd Scenario	Rp1,080,000	0.40	Rp12,400	Rp99,200	Rp1,179,200
4th Scenario	Rp945,000	0.49	Rp12,400	Rp86,800	Rp1,031,800
5th Scenario	Rp810,000	0.49	Rp12,400	Rp74,400	Rp884,400
6th Scenario	Rp675,000	0.68	Rp12,400	Rp82,000	Not Feasible
Decision					
BEST RESULT		5th Scenario			

Sales Representative Route Optimization (5th Scenario)														
Sales Representative Allocation														
Optimized Route for SR 1														
Order	Visit	Latitude	Longitude	Revenue	Route	Distance (km)	Travel Time (h)	Loading	Unloading	Check-in	Check-out			
1	154573	-6.9710671	110.25688	Rp481,680	3	0.03	00:00:18	00:08:24	00:07:48	08:15:18	08:31:30			
2	185571	-6.9713222	110.25222	Rp1,132,708	6	0.51	00:05:06	00:05:12	00:02:24	08:36:36	08:44:12			
3	116078	-6.973317	110.25092	Rp2,516,760	13	0.26	00:02:36	00:05:48	00:05:06	08:46:48	08:57:42			
4	46213	-6.974315	110.24851	Rp595,200	3	0.19	00:01:54	00:04:54	00:03:06	08:59:36	09:07:36			
5	51200	-6.9772429	110.24938	Rp612,720	4	0.33	00:03:18	00:04:30	00:07:36	09:10:54	09:23:00			
6	47036	-6.9812136	110.25154	Rp925,420	5	0.5	00:05:00	00:08:00	00:04:18	09:28:00	09:40:18			
7	43774	-6.9904622	110.25571	Rp2,093,280	11	1.13	00:11:18	00:06:36	00:09:06	09:51:36	10:07:18			
8	100405	-7.0081225	110.26127	Rp939,930	5	2.06	00:20:36	00:05:48	00:07:00	10:27:54	10:40:42			
9	105911	-7.0082513	110.26107	Rp491,520	3	0.03	00:00:18	00:02:54	00:07:24	10:41:00	10:51:18			
10	51077	-6.9719655	110.27524	Rp1,397,040	7	4.25	00:42:30	00:09:18	00:09:12	11:33:48	11:52:18			
11	277402	-6.9640535	110.27156	Rp503,520	3	0.9	00:09:00	00:07:18	00:04:54	13:00:00	13:12:12			
12	367268	-6.9630947	110.25955	Rp568,905	3	1.33	00:13:18	00:02:12	00:08:30	13:25:30	13:36:12			
13	287510	-6.9638658	110.25773	Rp738,000	4	0.22	00:02:12	00:09:00	00:02:06	13:38:24	13:49:30			
14	157212	-6.9600948	110.25957	Rp681,600	4	0.43	00:04:18	00:07:36	00:06:36	13:52:48	14:10:00			
15	254647	-6.9566896	110.25921	Rp951,160	5	0.48	00:04:48	00:07:12	00:07:18	14:14:48	14:29:18			
16	368233	-6.9634458	110.25968	Rp1,242,800	7	1.17	00:11:42	00:04:06	00:06:54	14:41:00	14:52:00			
17	334917	-6.9638862	110.24773	Rp1,773,600	9	0.23	00:03:18	00:09:48	00:05:30	14:55:18	15:10:36			
18	56653	-6.9640885	110.24763	Rp798,000	4	0.01	00:00:06	00:07:00	00:05:30	15:10:42	15:23:12			
19	56665	-6.9640419	110.2476	Rp511,820	3	0	00:00:00	00:06:06	00:07:12	15:23:12	15:36:30			
20	56648	-6.9638259	110.24772	Rp930,624	5	0.03	00:00:18	00:06:24	00:04:54	15:36:48	15:48:06			
21	82943	-6.9641044	110.24723	Rp1,107,420	6	0.06	00:00:36	00:04:30	00:06:24	15:48:42	15:59:36			
22	46289	-6.9599361	110.24481	Rp847,360	5	0.53	00:05:18	00:06:24	00:08:30	16:04:54	16:19:48			
23	47063	-6.9632996	110.24143	Rp781,680	4	0.53	00:05:18	00:05:54	00:05:42	16:25:06	16:36:42			
24	305307	-6.9663005	110.24058	Rp630,240	4	0.36	00:03:30	00:04:54	00:03:42	16:40:12	16:48:48			

Gambar 4.10 User Interface VBA Best Result

Gambar 4.10, merupakan output yang dihasilkan oleh VBA. Hasil skenario terbaik secara otomatis akan ditampilkan pada sebelah kanan untuk mempermudah *delivery planner* dalam mendelegasikan tugas kepada *sales representative*. Bagian ini juga merupakan *output* akhir dari model optimasi alokasi dan rute kunjungan yang dibangun. Berdasarkan gambar tersebut, skenario 5 merupakan skenario terbaik untuk dijalankan dengan nilai *cost* terkecil dan *average utilization* tertinggi yang *feasible* untuk dijalankan.

4.2.2.6 Shortcut Seluruh Modul VBA

Bagian akhir dari pengembangan sistem VBA ini ditandai dengan adanya tombol 'OPTIMIZE' pada *sheet* Daily Transaction Data, yang berfungsi untuk menjalankan seluruh proses secara otomatis, mulai dari perhitungan *distance matrix* hingga pemilihan skenario terbaik. Tombol ini terhubung dengan prosedur Run_All_Scenarios, yang merupakan pusat eksekusi *pipeline* alokasi dan optimasi rute kunjungan *sales representative*. Ketika tombol tersebut ditekan, seluruh proses dalam model akan dijalankan secara berurutan tanpa intervensi manual tambahan, sehingga mendukung keputusan cepat dan berbasis data oleh *delivery planner*.

Fungsi dan urutan kode VBA Run_All_Scenarios dijelaskan dalam Tabel 4.11 berikut:

Tabel 4.11 Kode Pemrograman Run All VBA

No	Kode Pemrograman	Penjelasan
1	Call Distance_Matrix_Calculation	Menghitung matriks jarak antar titik menggunakan metode Haversine.
2	Call Clustering_Users_1stScenario hingga Call Clustering_Users_6thScenario	Menjalankan proses alokasi pelanggan ke SR berdasarkan <i>nearest neighbor clustering</i> untuk setiap skenario dengan jumlah SR berbeda.
3	Call TSP_1stScenario hingga Call TSP_6thScenario	Mengoptimasi urutan kunjungan pelanggan untuk setiap SR pada masing-masing skenario menggunakan algoritma <i>nearest neighbor TSP</i> .
4	Call FindBestScenario_And_CopyLayout	Menentukan skenario terbaik berdasarkan total biaya minimum dan menampilkan hasilnya pada <i>sheet Summary</i> .
5	With Sheets("Summary"): .Activate : .Range("A1").Select	Menentukan skenario terbaik berdasarkan total biaya minimum dan menampilkan hasilnya pada <i>sheet Summary</i> .
6	MsgBox "SR Allocation & Route Optimization is Done!"	Memberikan notifikasi bahwa seluruh proses telah selesai dijalankan.

Kode lengkap dapat dilihat pada Lampiran 7 dan berikut merupakan tampilan dari *sheet* Data Input dengan shortcut VBA.

Daily Transaction Data						Date: 16-May-25 Max SR: 10		
No	User ID	Latitude	Longitude	Revenue	Boxes	Sales Representative	SR's Latitude	SR's Longitude
1	154573	-6.9710671	110.2568787	Rp481,680.00	3	1	-6.971074	110.2566
2	248305	-7.013361278	110.3964553	Rp575,580.00	3	2	-7.091522	110.0373
3	100405	-7.008122479	110.2612656	Rp939,930.00	5	3	-7.074093	110.3359
4	100354	-6.965702884	110.1584709	Rp625,656.00	4	4	-7.012926	110.3966
5	367268	-6.963094696	110.259548	Rp568,905.00	3	5	-6.965608	110.158
6	277402	-6.964053517	110.2715616	Rp503,520.00	3	6	-6.965702	109.9187
7	63726	-6.9917373	109.9187082	Rp752,493.00	4	7	-6.926428	110.1604
8	83397	-7.003349033	110.4341083	Rp576,690.00	3	8	-7.054186	110.2997
9	262438	-6.974640831	110.1496575	Rp688,776.00	4	9	-6.971067	110.2612
10	260852	-7.091898742	110.0377836	Rp900,274.00	6	10	-7.003715	110.4339
11	79924	-7.003147852	110.4339583	Rp513,600.00	3			
12	53603	-6.926039923	110.1602714	Rp685,272.00	4			
13	50077	-6.926145437	110.1603686	Rp811,392.00	5			
14	51077	-6.971965487	110.2732426	Rp1,397,040.00	7			
15	272569	-7.0032835	110.4336473	Rp1,348,450.00	8			
16	105911	-7.008251261	110.2610715	Rp491,520.00	3			
17	50155	-6.972823773	110.1500391	Rp1,384,800.00	7			
18	247417	-7.012831833	110.3962813	Rp768,960.00	4			
19	186252	-6.927766635	110.1582097	Rp599,601.00	4			
20	370494	-7.074505264	110.3361223	Rp511,440.00	3			
21	49580	-6.971869	110.1500921	Rp898,492.00	5			
22	370484	-7.003470646	110.4333393	Rp608,760.00	4			
23	263041	-7.087144276	110.0218419	Rp1,471,140.00	8			
24	44344	-7.075592936	110.335714	Rp261,300.00	2			
25	58683	-7.0902116	110.0386422	Rp670,575.00	4			

OPTIMIZE

Gambar 4.11 User Interface Run All VBA pada sheet Data Input

Gambar 4.11 menunjukkan antarmuka akhir dari sheet Daily Transaction Data, di mana tombol ‘OPTIMIZE’ diletakkan sebagai pemicu utama proses otomatisasi. Tombol ini dirancang agar mudah digunakan oleh pengguna non-teknis dan berfungsi sebagai sistem satu-klik untuk menjalankan seluruh simulasi dan analisis. Setelah tombol diklik, pengguna akan langsung diarahkan ke tampilan hasil akhir berupa ringkasan skenario, tabel biaya, dan keputusan terbaik yang telah ditentukan secara otomatis. Dengan keberadaan tombol ini, model tidak hanya mendukung pengambilan keputusan strategis berbasis data, tetapi juga menjamin efisiensi waktu dan kemudahan penggunaan dalam operasional harian.

4.2.3 Verifikasi dan Validasi Model

Subbab ini bertujuan untuk memastikan bahwa model yang dikembangkan telah dibangun dan dijalankan dengan benar serta dapat merepresentasikan sistem riil secara akurat. Proses ini dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu verifikasi model dan validasi model. Verifikasi memastikan bahwa model bebas dari kesalahan implementasi, sedangkan validasi mengevaluasi apakah model mencerminkan perilaku nyata dari sistem distribusi yang dimodelkan.

4.2.3.1 Verifikasi Model

Proses verifikasi dilakukan dengan memeriksa kesesuaian sintaksis dan logika dari model yang telah dibangun pada perangkat lunak pemrograman. Dalam penelitian ini, model optimasi rute kunjungan *sales representative* diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman VBA untuk proses alokasi dan optimasi rute, serta diverifikasi melalui hasil keluaran yang menunjukkan Tidak adanya kesalahan sintaks selama proses eksekusi, struktur data yang terbentuk sesuai dengan format *distance matrix*, alokasi SR, dan urutan rute kunjungan yang logis, serta *output summary* dan visualisasi yang dapat digunakan untuk evaluasi keputusan manajerial. Proses verifikasi dilakukan pada lima modul utama, yaitu:

1. Perhitungan Distance Matrix

Modul *Distance_Matrix_Calculation* menghasilkan matriks jarak antar pelanggan dan *sales representative* berdasarkan rumus Haversine. Berikut merupakan hasil perhitungan distance matrix pada Gambar 4.12.

Distance (km)	SR 1	SR 2	SR 3	SR 4	SR 5	SR 6	SR 7	SR 8	SR 9	SR 10	154573	248305	100405	100354	367266	277402
SR 1	999999	27.66	14.42	16.14	10.9	37.3	11.72	10.39	0.51	19.9	0.03	16.14	4.15	10.85	0.95	1.83
SR 2	27.66	999999	33.01	40.6	19.33	19.16	22.84	29.25	28.11	44.84	27.69	40.58	26.4	19.35	28.38	29.48
SR 3	14.42	33.01	999999	9.55	23.04	47.59	25.39	4.57	14.11	13.35	14.4	9.5	11.03	22.99	14.94	14.15
SR 4	16.14	40.6	9.55	999999	26.85	53.01	27.79	11.64	15.65	4.24	16.11	0.05	14.95	26.8	16.11	14.83
SR 5	10.9	19.33	23.04	26.85	999999	26.41	4.36	18.48	11.41	30.74	10.93	26.85	12.34	0.05	11.21	12.54
SR 6	37.3	19.16	47.59	53.01	26.41	999999	27.03	43.18	37.81	57.02	37.33	52.99	38.1	26.46	37.62	38.95
SR 7	11.72	22.84	25.39	27.79	4.36	27.03	999999	20.93	12.18	31.39	11.75	27.79	14.37	4.37	11.68	12.96
SR 8	10.39	29.25	4.57	11.64	18.48	43.18	20.93	999999	10.17	15.84	10.38	11.6	6.65	18.43	11.06	10.49
SR 9	0.51	28.11	14.11	15.65	11.41	37.81	12.18	10.17	999999	19.4	0.48	15.65	4.12	11.35	0.91	1.38
SR 10	19.9	44.84	13.35	4.24	30.74	57.02	31.39	15.84	19.4	999999	19.87	4.27	19.06	30.69	19.77	18.45
154573	0.03	27.69	14.4	16.11	10.93	37.33	11.75	10.38	0.48	19.87	999999	16.11	4.15	10.88	0.93	1.8
248305	16.14	40.58	9.5	0.05	26.85	52.99	27.79	11.6	15.65	4.27	16.11	999999	14.93	26.8	16.11	14.83
100405	4.15	26.4	11.03	14.95	12.34	38.1	14.37	6.65	4.12	19.06	4.15	14.93	999999	12.29	5.01	5.03
100354	10.85	19.35	22.99	26.8	0.05	26.46	4.37	18.43	11.35	30.69	10.88	26.8	12.29	999999	11.16	12.48
367266	0.95	28.38	14.94	16.11	11.21	37.62	11.68	11.06	0.91	19.77	0.93	16.11	5.01	11.16	999999	1.33
277402	1.83	29.48	14.15	14.83	12.54	38.95	12.96	10.49	1.38	18.45	1.8	14.83	5.03	12.48	1.33	999999

Gambar 4.12 Verifikasi Perhitungan Distance Matrix

Modul ini dapat diverifikasi dengan memastikan bahwa seluruh pasangan titik memiliki nilai jarak positif dan realistis, diagonal matriks (titik ke dirinya sendiri) diberi nilai besar sebagai penalti (misalnya 999999), dan matriks simetris ($d(i,j) \approx d(j,i)$).

2. Alokasi Pelanggan ke SR (Clustering)

Modul *Clustering_Users_XScenario* memetakan setiap pelanggan ke SR terdekat berdasarkan nilai minimum dari distance matrix. Hasil *clustering* ditampilkan dalam bentuk tabel detail alokasi per pelanggan (cluster result) dan rekap *summary* per SR (jumlah *user*, *revenue*, dan *box*). Berikut merupakan hasil alokasi pelanggan ke SR pada Gambar 4.13.

Cluster Result							Summary Result			
No	User ID	Latitude	Longitude	Revenue	Boxes	Sales Representative	Sales Representative	Total Users	Total Revenue	Total Boxes
1	154573	-6.9710671	110.256879	Rp 481,680	3	1	1	24	Rp 23,263,087	126
2	248305	-7.0133613	110.396455	Rp 575,580	3	4	2	27	Rp 31,551,817	178
3	100405	-7.0081225	110.261266	Rp 939,930	5	1	3	15	Rp 12,223,248	68
4	100354	-6.9657029	110.158471	Rp 625,656	4	5	4	17	Rp 12,775,570	74
5	367268	-6.9630947	110.259548	Rp 568,905	3	1	5	24	Rp 25,043,489	139
6	277402	-6.9640535	110.271562	Rp 503,520	3	1	6	11	Rp 10,327,087	59
7	63726	-6.9917373	109.918708	Rp 752,493	4	6				
8	83397	-7.003349	110.434108	Rp 576,690	3	4				
9	262438	-6.9746408	110.149658	Rp 688,776	4	5				
10	260852	-7.0918987	110.037784	Rp 900,274	6	2				
11	79924	-7.0031479	110.433958	Rp 513,600	3	4				
12	53603	-6.9260399	110.160271	Rp 685,272	4	5				
13	50077	-6.9261454	110.160369	Rp 811,392	5	5				
14	51077	-6.9719655	110.273243	Rp 1,397,040	7	1				
15	272569	-7.0032835	110.433647	Rp 1,348,450	8	4				
16	105911	-7.0082513	110.261071	Rp 491,520	3	1				
17	50155	-6.9728238	110.150039	Rp 1,384,800	7	5				
18	247417	-7.0128318	110.396281	Rp 768,960	4	4				
19	186252	-6.9277666	110.15821	Rp 599,601	4	5				
20	370494	-7.0745053	110.336122	Rp 511,440	3	3				

Gambar 4.13 Verifikasi Alokasi Pelanggan Skenario 5

Modul ini dapat diverifikasi dengan memastikan bahwa seluruh pelanggan teralokasi ke tepat satu SR tanpa duplikasi.

3. Optimasi Rute Kunjungan SR (TSP)

Modul TSP_XScenario menyusun rute kunjungan berdasarkan metode *Nearest Neighbor*, disesuaikan dengan jarak terpendek dan nilai transaksi (*revenue*) sebagai *tie-breaker*. Berikut merupakan hasil optimasi rute kunjungan SR pada Gambar 4.14.

Sales Representative Allocation												Sales Representative Utilization						
Optimized Route for SR 1												SR	Total Users	Total Revenue	Total Boxes	Total Distance	Total Duration	Utilization
Order	User ID	Latitude	Longitude	Revenue	Boxes	Distance (km)	Travel Time	Loading	Unloading	Check-in	Check-out	1	24	Rp23,263,087	126	15.66	08:48:48	97.67%
1	154573	-6.9710671	110.25688	Rp481,680	3	0.03	00:00:18	00:08:24	00:07:48	08:15:18	08:31:30	2	27	Rp31,551,817	178	7.33	07:40:24	83.42%
2	185571	-6.9713222	110.25222	Rp1,132,708	6	0.51	00:05:06	00:05:12	00:02:24	08:36:36	08:44:12	3	15	Rp12,223,248	68	19.28	06:54:48	73.92%
3	116078	-6.973317	110.25092	Rp2,516,760	13	0.26	00:02:36	00:05:48	00:05:06	08:46:48	08:57:42	4	17	Rp12,775,570	74	11.34	06:06:24	63.83%
4	46213	-6.974315	110.24951	Rp595,200	3	0.19	00:01:54	00:04:54	00:03:06	08:59:36	09:07:36	5	24	Rp25,043,489	139	16.27	08:23:30	92.40%
5	51200	-6.9772429	110.24938	Rp612,720	4	0.33	00:03:18	00:04:30	00:07:36	09:10:54	09:23:00	6	11	Rp10,327,087	59	5.42	03:31:30	31.56%
6	47036	-6.9812136	110.25154	Rp925,420	5	0.5	00:05:00	00:08:00	00:04:18	09:28:00	09:40:18							
7	43774	-6.9904622	110.25571	Rp2,093,280	11	1.13	00:11:18	00:06:36	00:09:06	09:51:36	10:07:18							
8	100405	-7.0081225	110.26127	Rp939,930	5	2.06	00:20:36	00:05:48	00:07:00	10:27:54	10:40:42							
9	105911	-7.0082513	110.26107	Rp491,520	3	0.03	00:00:18	00:02:54	00:07:24	10:41:00	10:51:18							
10	51077	-6.9719655	110.27324	Rp1,397,040	7	4.25	00:42:30	00:09:18	00:09:12	11:33:48	11:52:18							
11	277402	-6.9640535	110.27156	Rp503,520	3	0.9	00:09:00	00:07:18	00:04:54	13:00:00	13:12:12							
12	367268	-6.9630947	110.25955	Rp568,905	3	1.33	00:13:18	00:02:12	00:08:30	13:25:30	13:36:12							
13	287510	-6.9638658	110.25773	Rp738,000	4	0.22	00:02:12	00:09:00	00:02:06	13:38:24	13:49:30							
14	157212	-6.9600948	110.2567	Rp681,600	4	0.43	00:04:18	00:07:36	00:08:36	13:53:48	14:10:00							
15	264647	-6.9560896	110.25821	Rp961,160	5	0.48	00:04:48	00:07:12	00:07:18	14:14:48	14:29:18							
16	368233	-6.9634458	110.25066	Rp1,242,600	7	1.17	00:11:42	00:04:06	00:06:54	14:14:00	14:52:00							
17	334917	-6.9639862	110.24773	Rp1,773,600	9	0.33	00:03:18	00:09:48	00:05:30	14:55:18	15:10:36							
18	56653	-6.9640685	110.24763	Rp798,000	4	0.01	00:00:06	00:07:00	00:05:30	15:10:42	15:23:12							
19	56665	-6.9640419	110.2476	Rp511,920	3	0	00:00:00	00:06:06	00:07:12	15:23:12	15:36:30							
20	56648	-6.9638259	110.24772	Rp930,624	5	0.03	00:00:18	00:06:24	00:04:54	15:36:48	15:48:06							
21	82943	-6.9641044	110.24723	Rp1,107,420	6	0.06	00:00:36	00:04:30	00:06:24	15:48:42	15:59:36							
22	46289	-6.9599361	110.24481	Rp847,360	5	0.53	00:05:18	00:06:24	00:08:30	16:04:54	16:19:48							
23	47063	-6.9632896	110.24143	Rp781,880	4	0.53	00:05:18	00:05:54	00:05:42	16:25:06	16:36:42							
24	305307	-6.9663505	110.24058	Rp630,240	4	0.35	00:03:30	00:04:54	00:03:42	16:40:12	16:48:48							

Gambar 4.14 Verifikasi Optimasi Rute Kunjungan SR Skenario 5

Modul ini dapat diverifikasi dengan memastikan tidak ada pelanggan yang dikunjungi lebih dari satu kali, dan estimasi waktu kunjungan (*check-in* dan *check-out*) berurutan secara logis.

4. Pemilihan Skenario Terbaik Otomatis

Modul FindBestScenario_And_CopyLayout menyeleksi skenario terbaik berdasarkan nilai *total cost* terendah, selama utilisasi $\leq 100\%$. Jika nilai utilisasi melebihi 100% , sistem akan menandai skenario sebagai *Not Feasible* dan tidak akan dipilih. Layout hasil skenario terbaik akan otomatis dicopy ke *sheet* Summary. Berikut merupakan hasil pemilihan skenario terbaik secara otomatis pada gambar 4.15.

Scenario Decision					Sales Representative Route Optimization (5th Scenario)																		
Scenario Summary					Sales Representative Allocation																		
Scenario	Number of SR	Total Revenue	Total Distance	Total Duration	Avg Utilization	Sales Representative Utilization																	
1st Scenario	10	Rp 115,184,298	62.69	38:55:42	36.16%																		
2nd Scenario	9	Rp 115,184,298	66.04	39:23:42	42.32%																		
3rd Scenario	8	Rp 115,184,298	66.46	39:23:42	49.05%																		
4th Scenario	7	Rp 115,184,298	71.17	41:27:54	61.25%																		
5th Scenario	6	Rp 115,184,298	75.3	41:25:24	73.80%																		
6th Scenario	5	Rp 115,184,298	85.23	43:16:48	Not Feasible																		
Cost Calculation					Optimized Route for SR 1																		
Scenario	SR Fee	Fuel Price (Rp)	Food Fee (Rp)	Total Cost	Order	Time	Latitude	Longitude	Revenue	Time (Jam)	Travel Time	Loading	Unloading	Check-In	Check-Out	SR	Total Cost	Total Revenue	Total Distance	Total Duration	Utilization		
1st Scenario	Rp1,350,000	0.25	Rp12,400	Rp1,474,000	1	15:45:31	6.9710671	110.25688	Rp481,680	3	0:03	00:00:18	00:08:24	00:07:48	08:15:18	08:31:30	1	24	Rp23,263,087	126	15.66	08:48:48	97.67%
2nd Scenario	Rp1,215,000	0.29	Rp12,400	Rp1,336,600	2	18:55:71	6.9713222	110.25222	Rp1,132,708	6	0:51	00:05:08	00:05:12	00:02:24	08:36:36	08:44:12	3	15	Rp12,223,248	68	19.38	08:54:48	73.92%
3rd Scenario	Rp1,080,000	0.40	Rp12,400	Rp1,178,200	3	18:07:19	6.9733177	110.26092	Rp2,516,760	13	0:26	00:02:36	00:05:48	00:05:06	08:48:48	08:57:42	4	17	Rp12,776,570	74	11.34	08:06:24	63.63%
4th Scenario	Rp945,000	0.49	Rp12,400	Rp968,800	4	40:21:31	6.9743151	110.24851	Rp986,200	3	0:19	00:01:54	00:04:54	00:03:06	08:58:36	09:07:36	5	24	Rp25,364,488	139	18.27	08:23:30	92.40%
5th Scenario	Rp810,000	0.49	Rp12,400	Rp834,800	5	51:20:00	6.9772429	110.24838	Rp612,720	4	0:33	00:03:18	00:04:30	00:07:36	09:10:54	09:23:00	6	11	Rp10,327,087	59	5.42	03:31:30	31.56%
6th Scenario	Rp675,000	0.68	Rp12,400	Rp698,200	6	47:03:36	6.9812136	110.25154	Rp925,420	5	0:5	00:05:00	00:08:00	00:04:18	09:28:00	09:40:18							
					7	43:77:44	6.9904622	110.25571	Rp2,093,280	11	1:13	00:11:18	00:06:36	00:09:06	09:51:36	10:07:18							
					8	100:40:05	7.0081225	110.28127	Rp939,830	5	2:06	00:20:36	00:05:48	00:07:00	10:27:54	10:40:42							
					9	30:91:11	7.0082513	110.26107	Rp491,520	3	0:03	00:00:18	00:02:54	00:07:24	10:41:00	10:51:18							
					10	51:07:07	6.9719655	110.27324	Rp1,387,940	7	4:25	00:42:30	00:09:18	00:09:12	11:23:48	11:52:18							
					11	27:40:22	6.9640535	110.27156	Rp503,520	3	0:9	00:09:00	00:07:18	00:04:54	13:00:00	13:12:12							
					12	36:72:88	6.9630947	110.25995	Rp568,905	3	1:33	00:13:18	00:02:12	00:08:30	13:25:30	13:36:12							
					13	20:71:00	6.9638659	110.25773	Rp738,000	4	0:22	00:02:12	00:09:00	00:02:00	13:38:24	13:49:30							
					14	15:72:12	6.9600948	110.25667	Rp681,600	4	0:43	00:04:18	00:07:36	00:08:36	13:53:48	14:10:00							
					15	26:46:77	6.9605866	110.25821	Rp681,160	5	0:48	00:04:48	00:07:12	00:07:18	14:14:48	14:28:18							
					16	36:82:33	6.9634458	110.25066	Rp1,242,600	7	1:17	00:11:42	00:04:06	00:06:54	14:41:00	14:52:00							
					17	33:49:17	6.9639802	110.24773	Rp1,773,000	9	0:33	00:03:18	00:09:48	00:05:30	14:55:18	15:10:36							
					18	56:65:33	6.9640680	110.24763	Rp798,000	4	0:61	00:06:06	00:07:00	00:05:30	15:10:42	15:23:12							
					19	56:69:55	6.9640419	110.2476	Rp511,920	3	0	00:00:00	00:06:06	00:07:12	15:23:12	15:36:30							
					20	56:64:88	6.9635820	110.24772	Rp930,624	5	0:03	00:00:18	00:06:24	00:04:54	15:36:48	15:48:00							
					21	82:94:33	6.9641044	110.24723	Rp1,107,420	6	0:06	00:00:36	00:04:30	00:06:24	15:48:42	15:59:36							
					22	46:28:88	6.9599361	110.24481	Rp847,360	5	0:53	00:05:18	00:06:24	00:08:30	16:04:54	16:19:48							
					23	47:86:33	6.9632899	110.24143	Rp781,860	4	0:53	00:05:18	00:05:54	00:05:42	16:20:06	16:38:42							
					24	30:50:07	6.9603505	110.24058	Rp630,240	4	0:35	00:03:30	00:04:54	00:03:42	16:40:12	16:48:48							
Decision																							
BEST RESULT					5th Scenario																		

Gambar 4.15 Verifikasi Pemilihan Skenario Terbaik Otomatis

Modul ini dapat diverifikasi dengan memastikan skenario yang tidak *feasible* tidak terpilih sebagai *best result*.

5. Eksekusi Otomatis Seluruh Modul (Run All)

Seluruh modul dijalankan secara terintegrasi melalui Run_All_Scenarios, yang memastikan bahwa semua tahap (*distance*, *clustering*, *routing*, pemilihan skenario) dilakukan secara otomatis. Tidak ditemukan error selama proses berlangsung, dan semua sheet hasil terisi dengan benar.

4.2.3.2 Validasi Model

Validasi model dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh perilaku *real system* yang menjadi fokus penelitian telah terwakili dengan baik dalam model yang dikembangkan. Validasi dalam penelitian ini dilakukan terhadap dua aspek utama, yaitu validasi logika batasan sistem distribusi, dan validasi hasil numerik dari implementasi model yang mencerminkan perilaku nyata. Model yang dikembangkan dalam penelitian ini mencakup serangkaian proses, seperti alokasi pelanggan ke *sales representative*, optimasi rute kunjungan harian, dan evaluasi beban kerja serta biaya operasional dari berbagai konfigurasi jumlah tenaga kerja. Untuk memastikan bahwa model bekerja sesuai dengan tujuan, dilakukan validasi terhadap batasan waktu kerja harian (utilisasi), kelayakan skenario dari sisi waktu dan jarak, ketepatan hasil alokasi dan urutan kunjungan, dan biaya total operasional yang logis dan menurun sesuai efisiensi.

Validasi pertama bertujuan untuk memastikan bahwa semua SR dalam skenario yang layak tidak melebihi batas waktu kerja maksimal 8 jam/hari. Rata-rata utilisasi waktu kerja dihitung berdasarkan durasi kunjungan, mulai dari waktu *check-in* hingga *check-out*. Skenario yang melebihi batas waktu kerja secara otomatis ditandai sebagai *Not Feasible* dan tidak disertakan dalam proses seleksi skenario terbaik. Tabel 4.12 menunjukkan rekap waktu kerja dan utilisasi tiap skenario.

Tabel 4.12 Rekap Waktu Kerja dan Utilisasi Tiap Skenario

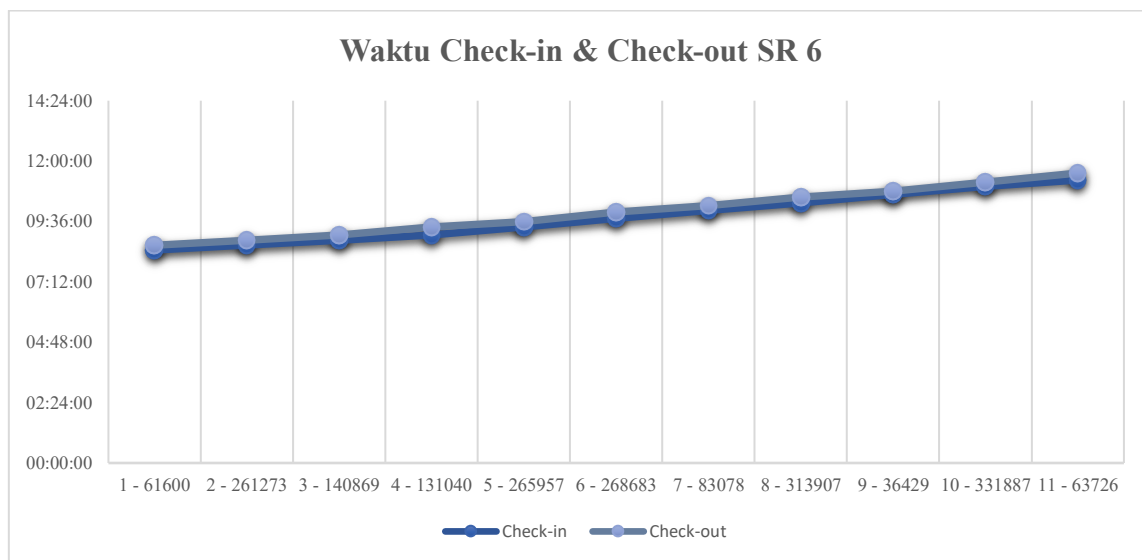
Skenario	Jumlah SR	Maksimal Durasi	Rata-rata Utilisasi	Status
1	10	06:50:00	35,16%	<i>Feasible</i>
2	9	06:48:54	42,32%	<i>Feasible</i>
3	8	07:09:06	49,05%	<i>Feasible</i>
4	7	07:25:42	61,25%	<i>Feasible</i>
5	6	07:48:48	73,80%	<i>Best</i>
6	5	11:38:48	95,70%	<i>Not Feasible</i>

Validasi kedua dilakukan dengan memeriksa hasil optimasi rute kunjungan untuk setiap SR dalam skenario terpilih. Validasi ini mencakup urutan kunjungan yang tidak tumpang tindih, estimasi waktu yang realistis, tidak terjadi subtour atau siklus ulang kunjungan, rute membentuk jalur kontinu dari titik awal hingga akhir. Tabel 4.13 menunjukkan hasil dari 5th scenario untuk SR nomor 6.

Tabel 4.13 Urutan Kunjungan SR 6 Skenario 5

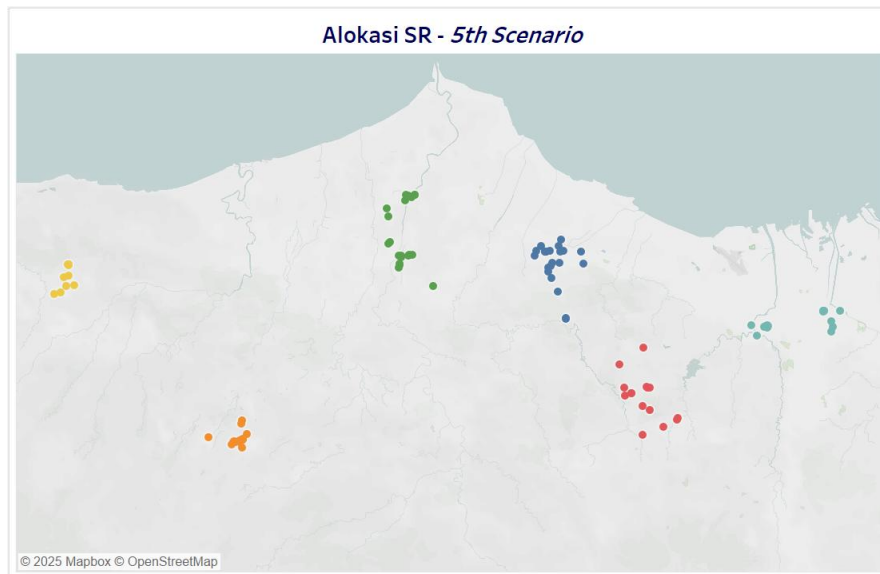
Order	User ID	Latitude	Longitude	Distance (km)	Check-in	Check-out
1	61600	-6.9725393	109.9280674	1.28	08:27:48	08:39:18
2	261273	-6.9725138	109.928213	0.02	08:39:30	08:51:12
3	140869	-6.972607782	109.9283998	0.02	08:51:24	09:03:18
4	131040	-6.97243739	109.9285359	0.02	09:03:30	09:23:00
5	265957	-6.972356853	109.9284889	0.01	09:23:06	09:35:06
6	268683	-6.979550531	109.9281386	0.8	09:43:06	09:58:36
7	83078	-6.980633439	109.9249571	0.37	10:02:18	10:13:42
8	313907	-6.9865915	109.9268153	0.69	10:20:36	10:34:30
9	36429	-6.986093168	109.9320942	0.59	10:40:24	10:48:06
10	331887	-6.9910149	109.9230166	1.14	10:59:30	11:09:54
11	63726	-6.9917373	109.9187082	0.48	11:14:42	11:31:30

Validasi ketiga dilakukan dengan memastikan bahwa hasil estimasi waktu *check-in* dan *check-out* pada tiap pelanggan tidak saling bertabrakan, dan masih berada dalam jangka waktu kerja yang ditentukan. Waktu *check-in* hingga *check-out* pada satu user id merupakan total durasi ketika *sales representative* tiba pada lokasi *user* ditambah dengan loading dan unloading. Selanjutnya waktu dari *check-out* hingga *check-in* ke *user id* berikutnya merupakan waktu perjalanan yang ditempuh oleh *sales representative* dengan asumsi 10 menit/km dengan toleransi pertimbangan adanya hambatan seperti *delay* perjalanan dan kondisi geografis di pedesaan. Berikut merupakan grafik *check-in* dan *check-out time* digunakan untuk memverifikasi urutan waktu yang meningkat yang divisualisasikan pada gambar 4.16 berikut.



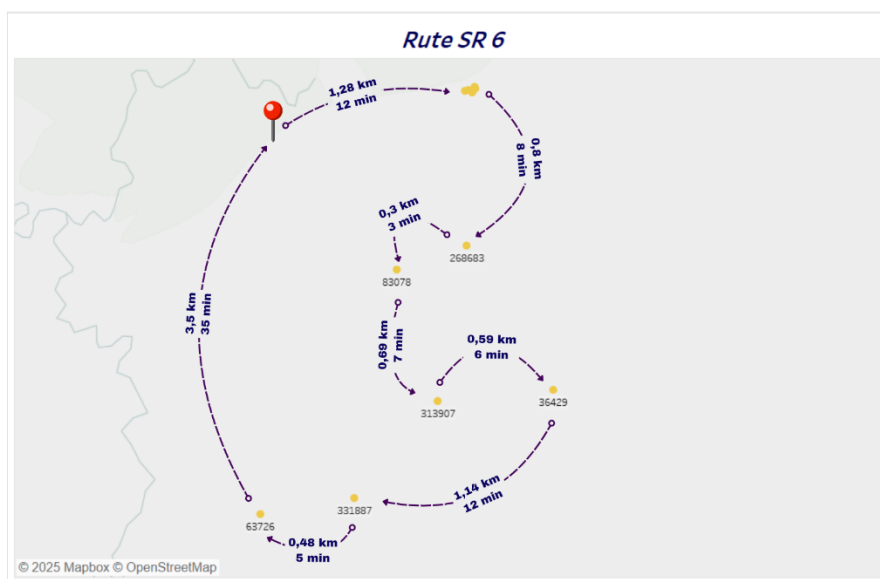
Gambar 4.16 Grafik Check-In & Check-Out SR 6 Skenario 5

Selanjutnya, model juga divalidasi melalui visualisasi *layout* rute dari 5th scenario untuk memastikan rute yang dipilih merupakan rute terdekat.



Gambar 4.17 Hasil Alokasi SR Skenario 5

Hasil visualisasi pada gambar 4.17 menunjukkan bahwa rute kunjungan yang dihasilkan valid dalam mengalokasikan pelanggan untuk setiap SR. Selanjutnya juga dibuat visualisasi urutan rute kunjungan untuk SR nomor 6 sebagai berikut.



Gambar 4.18 Urutan Rute SR nomor 6 Skenario 5

Berdasarkan hasil visualisasi pada gambar 4.18, urutan rute kunjungan yang dihasilkan valid dalam menentukan rute terdekat.

4.3 Perbandingan Hasil Antar Skenario

Subbab ini menyajikan perbandingan antara berbagai skenario perencanaan kunjungan *sales representative* yang telah dikembangkan, baik dari sisi hasil operasional maupun efisiensi biaya. Tujuan dari perbandingan ini adalah untuk mengevaluasi performa setiap alternatif skenario berdasarkan aspek-aspek kuantitatif utama yang menjadi dasar dalam pengambilan keputusan. Perbandingan dilakukan terhadap total enam skenario hasil pengembangan menggunakan model VBA serta satu skenario eksisting yang dilakukan secara manual. Masing-masing skenario menggunakan jumlah *sales representative* yang berbeda-beda, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Aspek-aspek yang digunakan sebagai dasar evaluasi antar skenario meliputi efisiensi waktu pengiriman, utilisasi tenaga kerja, total biaya operasional, dan kelayakan operasional. Efisiensi waktu pengiriman dinilai melalui total durasi kunjungan harian seluruh *sales representative* serta jarak tempuh keseluruhan yang harus dilalui. Utilisasi tenaga kerja dihitung berdasarkan proporsi waktu kerja efektif dibandingkan dengan batas maksimum kerja harian, yaitu 9 jam per hari. Selanjutnya, total biaya operasional mencakup komponen biaya gaji harian *sales representative* serta estimasi biaya bahan bakar yang dikeluarkan selama proses pengiriman. Terakhir, aspek kelayakan operasional (*feasibility*) digunakan untuk memastikan bahwa skenario yang dihasilkan tidak melampaui batas waktu kerja yang telah ditentukan dan tetap realistis untuk diterapkan dalam sistem distribusi yang ada. Aspek-aspek tersebut digunakan untuk memastikan bahwa skenario yang terpilih tidak hanya efisien secara biaya, namun juga realistis untuk diimplementasikan di lapangan dan adil dalam distribusi beban kerja.

Tabel 4.14 menyajikan perbandingan hasil antar skenario dari sisi jumlah tenaga kerja yang digunakan, total pendapatan pelanggan, total jarak tempuh seluruh SR, total waktu yang dibutuhkan, rata-rata utilisasi tenaga kerja, serta total biaya operasional. Kelayakan skenario juga ditampilkan untuk menandai skenario yang dianggap tidak dapat diimplementasikan secara operasional. Hasil running VBA seluruh skenario juga terdapat pada Lampiran 10.

Tabel 4.14 Perbandingan Hasil Antar Skenario

Skenario	Jumlah SR	Total Distance (km)	Total Duration	Max Duration	Average Utilization	Total Cost	Status
<i>Existing</i>	9	80,79	63:38:46	07:29:51	48,52%	Rp1,326,600.00	<i>Feasible</i>
1	10	62.69	38:55:42	06:50:00	35,16%	Rp1,474,000.00	<i>Feasible</i>
2	9	68.04	39:28:24	06:48:54	42,32%	Rp1,326,600.00	<i>Feasible</i>
3	8	66.46	39:23:42	07:09:06	49,05%	Rp1,179,200.00	<i>Feasible</i>
4	7	71.17	41:17:54	07:25:42	61,25%	Rp1,031,800.00	<i>Feasible</i>
5	6	75.3	41:25:24	07:48:48	73,80%	Rp884,400.00	<i>Best</i>
6	5	89.23	43:16:48	11:38:48	95,70%	Rp737,000.00	<i>Not Feasible</i>

Berdasarkan tabel 4.14, terdapat pola bahwa semakin sedikit jumlah *sales representative* yang digunakan, maka biaya operasional yang dikeluarkan cenderung menurun. Namun, hal ini juga berdampak pada meningkatnya durasi dan utilisasi tenaga kerja. Skenario ke-6, yang hanya menggunakan lima orang *sales representative*, menghasilkan tingkat utilisasi rata-rata sebesar 95,70% dengan maksimal durasi sebesar 11 jam 38 menit, yang berarti melebihi batas maksimum waktu kerja harian. Oleh karena itu, skenario ini dinilai tidak layak untuk diimplementasikan secara operasional dan dapat dieliminasi. Sebaliknya, skenario ke-5 yang melibatkan enam orang SR merupakan skenario paling efisien dari sisi biaya dengan rata-rata utilisasi sebesar 73,80%, masih berada dalam batas toleransi waktu kerja. Dengan mempertimbangkan efisiensi biaya dan kelayakan operasional, skenario ke-5 diidentifikasi sebagai skenario terbaik. Sementara itu, skenario ke-1 menunjukkan total biaya operasional tertinggi, meskipun tingkat utilitasnya tergolong rendah. Hal ini disebabkan oleh jumlah tenaga kerja yang lebih banyak, sehingga meningkatkan beban biaya perusahaan. Tabel 4.15 menunjukkan hasil skenario terbaik.

Tabel 4.15 Rekapitulasi Skenario Terbaik

<i>Sales representative</i>	Total Users	Total Revenue	Total Boxes	Total Distance (km)	Total Duration	Utilization
1	24	Rp 23,263,087	126	15.66	08:48:48	97.67%
2	27	Rp 31,551,817	178	7.33	07:40:24	83.42%
3	15	Rp 12,223,248	68	19.28	06:54:48	73.92%
4	17	Rp 12,775,570	74	11.34	06:06:24	63.83%
5	24	Rp 25,043,489	139	16.27	08:23:30	92.40%
6	11	Rp 10,327,087	59	5.42	03:31:30	31.56%

Berdasarkan tabel 4.15, beban kerja *sales representative* lebih merata dan lebih memaksimalkan utilitas masing-masing *sales representative*.

4.4 Analisis dan Interpretasi

Pada bagian ini dilakukan analisis terhadap hasil implementasi model optimasi rute kunjungan *sales representative* berdasarkan masing-masing skenario feasible yang telah disimulasikan. Analisis dilakukan untuk mengevaluasi performa dari tiap skenario terhadap indikator-indikator kunci yang telah ditetapkan, serta memberikan interpretasi atas hasil tersebut secara kuantitatif dan kualitatif. Solusi ideal dalam konteks perencanaan rute distribusi merupakan solusi yang mampu memberikan efisiensi maksimal dalam penggunaan sumber daya yang tersedia, serta efektivitas tinggi dalam pemenuhan target pelayanan kunjungan. Dengan kata lain, solusi ideal adalah solusi yang mampu menghasilkan kombinasi rute dan alokasi *sales representative* yang paling seimbang antara minimasi durasi dan biaya perjalanan dengan maksimasi utilisasi waktu kerja.

Adapun kriteria optimal yang digunakan dalam penelitian ini mencakup empat indikator utama. Pertama, aspek durasi pengiriman, yang menunjukkan seberapa cepat seluruh titik kunjungan dapat diselesaikan dalam satu siklus kerja; semakin rendah total waktu tempuh, maka semakin baik efisiensi yang dicapai. Kedua, aspek utilisasi waktu kerja, yang menggambarkan seberapa besar porsi waktu kerja *sales representative* yang benar-benar digunakan untuk kegiatan kunjungan dan perjalanan dibandingkan waktu kerja total yang tersedia. Ketiga aspek jarak, yang menggambarkan seberapa jauh perjalanan yang dilakukan oleh masing-masing *sales representative*. Keempat, aspek biaya operasional, yang dikalkulasi berdasarkan estimasi total jarak tempuh dan jumlah *sales representative* aktif, dimana semakin rendah total biaya, maka semakin optimal solusi yang diperoleh. Kemudian dilakukan analisis sensitivitas solusi untuk mengukur ketahanan atau robust-nya solusi terhadap perubahan input data seperti penambahan jumlah titik kunjungan, variasi waktu pelayanan, atau perubahan parameter lainnya.

Suatu solusi dinyatakan optimal apabila mampu memberikan nilai terbaik secara konsisten pada seluruh indikator tersebut, atau setidaknya menunjukkan *trade-off* yang rasional dan dapat diterima antara satu indikator dengan indikator lainnya. Oleh karena itu, pemilihan solusi terbaik dilakukan dengan pendekatan multi-kriteria, yaitu mempertimbangkan performa agregat dari semua aspek evaluasi, bukan hanya berdasarkan satu parameter tunggal.

4.4.1 Analisis Aspek Waktu Pengiriman

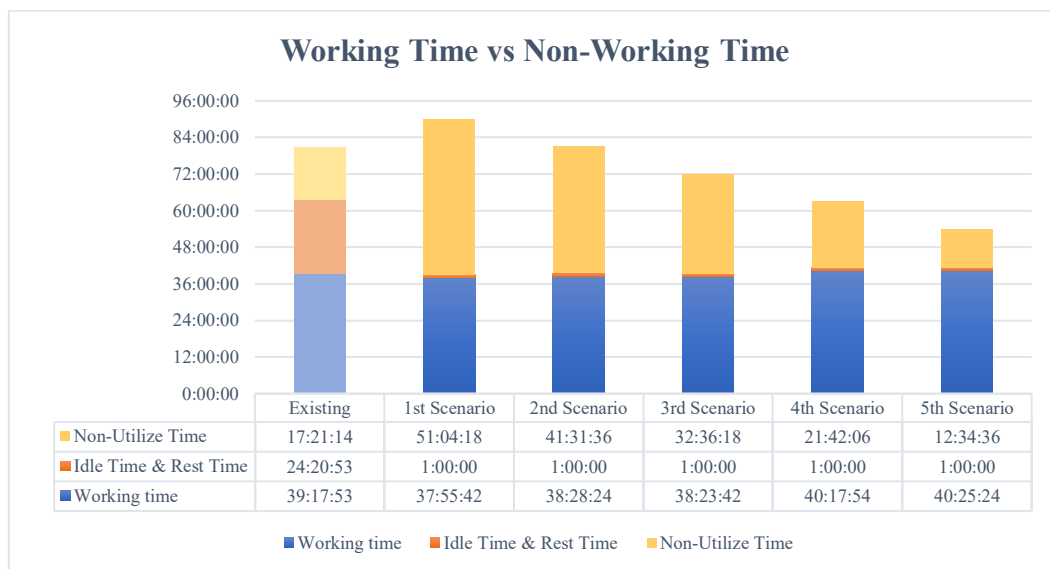
Aspek waktu pengiriman merupakan salah satu indikator utama dalam mengevaluasi efisiensi sistem distribusi. Total durasi yang tercatat pada tiap skenario mencerminkan akumulasi waktu aktif seluruh *sales representative* (SR) dalam menyelesaikan rute kunjungan, termasuk waktu tempuh antar titik distribusi dan waktu pelayanan (*loading* dan *unloading*). Namun, untuk memperoleh gambaran yang lebih menyeluruh mengenai efektivitas penggunaan waktu kerja, analisis ini juga mempertimbangkan dua parameter tambahan, yaitu *idle time* dan *non-utilize time*. Berikut merupakan perhitungan waktu operasional setiap skenario yang terdapat pada tabel 4.16.

Tabel 4.16 Analisis Waktu Seluruh Skenario

<i>Sales representative</i>	<i>Working Time</i>	<i>Idle Time</i>	<i>Rest Time</i>	<i>Non-Utilize Time</i>	<i>Non-Working Time</i>	<i>Total Duration</i>
<i>Existing</i>	39:17:53	23:20:53	1:00:00	17:21:14	41:42:07	81:00:00
1	37:40:00	0:00:00	1:00:00	51:20:00	52:20:00	90:00:00
2	38:24:12	0:00:00	1:00:00	41:35:48	42:35:48	81:00:00
3	39:30:30	0:00:00	1:00:00	31:29:30	32:29:30	72:00:00

<i>Sales representative</i>	<i>Working Time</i>	<i>Idle Time</i>	<i>Rest Time</i>	<i>Non-Utilize Time</i>	<i>Non-Working Time</i>	<i>Total Duration</i>
4	39:02:00	0:00:00	1:00:00	22:58:00	23:58:00	63:00:00
5	40:40:24	0:00:00	1:00:00	12:19:36	13:19:36	54:00:00

Non-utilize time menggambarkan selisih antara total kapasitas waktu kerja harian yang tersedia dengan waktu kerja aktual yang digunakan oleh SR. Sebagai ilustrasi, dalam satu hari kerja (08.00–17.00) setiap SR memiliki kapasitas waktu kerja sebesar 8 jam dengan 1 jam istirahat. Dengan demikian, pada Skenario 1 yang melibatkan 10 SR, total kapasitas waktu kerja adalah 90 jam. Namun, waktu kerja aktual yang tercatat hanya 37 jam 40 menit dan 1 jam istirahat, sehingga terdapat selisih sekitar 51 jam 20 menit yang menunjukkan bahwa sebagian besar kapasitas waktu kerja tidak terpakai secara optimal. Oleh karena itu, nilai *non-utilize time* sebesar 51 jam 20 menit mencerminkan potensi waktu kerja yang hilang akibat beban rute yang tidak merata atau jumlah SR yang terlalu banyak dibanding kebutuhan sebenarnya. Sementara itu, *idle time* mengacu pada waktu di mana SR sedang berada dalam siklus distribusi (terhitung dalam total durasi), namun tidak digunakan secara efektif untuk aktivitas kunjungan atau pelayanan. Dengan kata lain, *idle time* terjadi ketika SR aktif secara operasional, tetapi tidak menjalankan aktivitas produktif karena menunggu, tidak memiliki titik kunjungan, atau sedang tidak dialokasikan dalam rute yang efisien. Sebagai contoh, pada Skenario *Existing*, tercatat *idle time* sebesar 23 jam 20 menit 53 detik, yang menunjukkan bahwa selama waktu tersebut SR berada dalam sistem tetapi tidak menjalankan fungsi distribusi secara aktif. Adapun *non-working time* merupakan gabungan dari *idle time*, *rest time*, dan *non-utilize time*. Berikut merupakan grafik visualisasi dari waktu operasional seluruh skenario.



Gambar 4.19 Grafik Analisis Waktu Seluruh Skenario

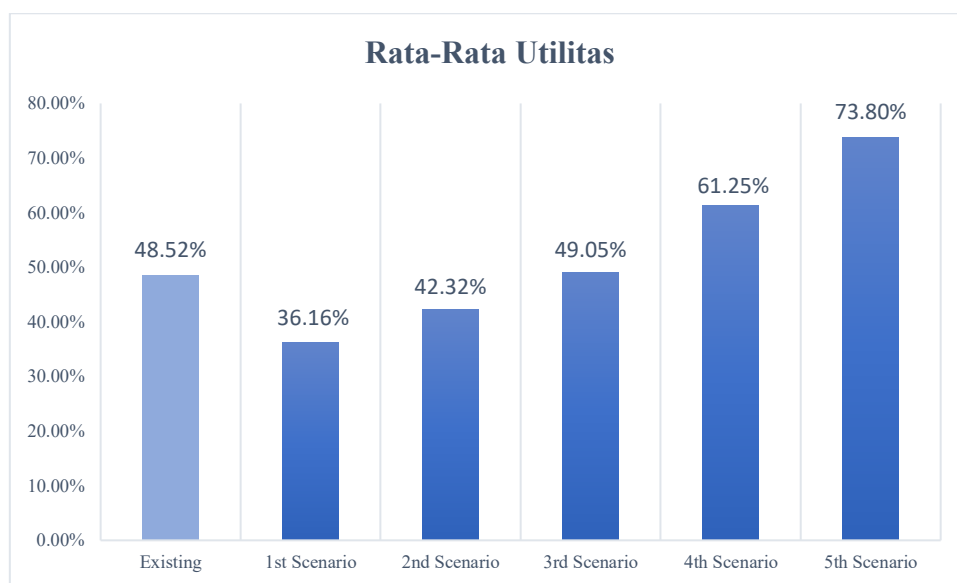
Dari gambar 4.19, terlihat bahwa Skenario 5 menunjukkan efisiensi terbaik dalam aspek utilisasi waktu, dengan nilai *non-utilize time* yang paling rendah (12:19:36) dan tanpa *idle time*, serta total durasi kerja yang masih berada dalam batas wajar (40:40:24). Sebaliknya, Skenario 1 dan Skenario *Existing* memiliki durasi yang relatif lebih lama dan proporsi waktu kerja tidak terpakai yang signifikan, menandakan bahwa penambahan jumlah SR tidak secara langsung berbanding lurus dengan peningkatan efisiensi waktu.

4.4.2 Analisis Utilitas

Utilisasi merupakan indikator yang menggambarkan tingkat pemanfaatan waktu kerja *sales representative* (SR) selama menjalankan rute kunjungan. Dalam penelitian ini, utilisasi dihitung

dengan membandingkan total waktu yang digunakan untuk aktivitas pengiriman terhadap waktu kerja maksimal yang tersedia, yaitu 8 jam per hari atau 480 menit per SR. Waktu kerja maksimal sudah mempertimbangkan *delay* kunjungan dan kondisi geografis pedesaan yang dimodelkan pada waktu pengiriman sebesar 10 menit/km. Batas ambang *feasibility* utilitas ada pada 100% karena sistem pembayaran *sales representative* menggunakan upah harian tanpa skema insentif. Semakin tinggi tingkat utilisasi, maka semakin optimal pemanfaatan waktu kerja yang tersedia. Namun, utilisasi yang terlalu tinggi juga dapat menandakan beban kerja yang berlebihan dan berpotensi menurunkan kualitas layanan atau mengakibatkan keterlambatan.

Dalam penelitian ini, analisis yang dilakukan adalah terhadap rata-rata utilitas seluruh *sales representative* untuk masing-masing skenario. Rata-rata dipilih untuk mengetahui efektivitas skenario terhadap pemerataan beban kerja untuk setiap *sales representative*. Berdasarkan simulasi yang dilakukan, berikut merupakan rata-rata utilitas setiap skenario.



Gambar 4.20 Grafik Rata-Rata Utilitas Seluruh Skenario

Berdasarkan gambar 4.20, didapatkan bahwa peningkatan utilisasi terjadi seiring dengan pengurangan jumlah SR yang digunakan. Pada Skenario 1, dengan jumlah 10 SR, rata-rata utilisasi tercatat sebesar 35,83%, yang menunjukkan bahwa terdapat banyak waktu kerja yang tidak terpakai secara efektif. Angka ini meningkat secara bertahap pada skenario-skenario berikutnya, hingga mencapai utilisasi tertinggi sebesar 74,32% pada Skenario 5 dengan hanya 6 SR. Hal ini menunjukkan bahwa pengurangan jumlah SR dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan waktu kerja, asalkan beban kerja masih berada dalam batas yang dapat ditoleransi. Dengan demikian, dari aspek pemerataan beban kerja, skenario 5 merupakan skenario yang terbaik.

4.4.3 Analisis Aspek Jarak Tempuh

Jarak tempuh merupakan salah satu indikator utama dalam mengevaluasi efisiensi sistem distribusi. Semakin pendek total jarak yang harus ditempuh oleh seluruh *sales representative* (SR), maka semakin efisien pula sistem dari segi konsumsi bahan bakar, waktu perjalanan, dan biaya operasional. Oleh karena itu, analisis terhadap jarak tempuh menjadi penting untuk mengidentifikasi seberapa optimal perencanaan rute yang dihasilkan oleh masing-masing skenario. Berikut merupakan perbandingan total jarak tempuh yang didapatkan oleh masing-masing skenario.



Gambar 4.21 Grafik Total Jarak Tempuh Seluruh Skenario

Berdasarkan data simulasi, diketahui bahwa Skenario 1 menghasilkan total jarak tempuh terpendek, yaitu 62,69 km, diikuti oleh Skenario 3 sebesar 66,46 km, dan Skenario 2 sebesar 68,04 km. Ketiga skenario ini menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan Skenario Existing, yang memiliki total jarak tempuh paling tinggi yaitu 80,79 km. Penurunan jarak tempuh sebesar 18 km pada Skenario 1 jika dibandingkan dengan skenario eksisting mencerminkan adanya perbaikan rute yang signifikan akibat penerapan metode optimasi. Penerapan pendekatan *Cluster First Route Second* (CFRS) dan algoritma *Traveling Salesman Problem* (TSP) dalam penyusunan rute terbukti mampu mereduksi redundansi rute dan menghindari pergerakan yang tidak efisien. Hal ini menghasilkan rute kunjungan yang lebih pendek dan terfokus pada wilayah tertentu, yang selanjutnya menurunkan akumulasi jarak tempuh secara keseluruhan.

Sementara itu, Skenario 4 dan 5 menunjukkan peningkatan jarak tempuh menjadi masing-masing 71,17 km dan 75,3 km. Meskipun masih lebih baik daripada skenario eksisting, peningkatan jarak ini menunjukkan adanya *trade-off* akibat pengurangan jumlah SR yang menyebabkan beberapa rute harus diperluas cakupannya untuk mencakup lebih banyak titik. Hal ini mengindikasikan bahwa penurunan jumlah SR yang terlalu drastis dapat berdampak terhadap efisiensi rute, khususnya dalam konteks geografis yang tersebar. Dengan demikian, dari sudut pandang jarak tempuh, Skenario 1 merupakan solusi paling optimal.

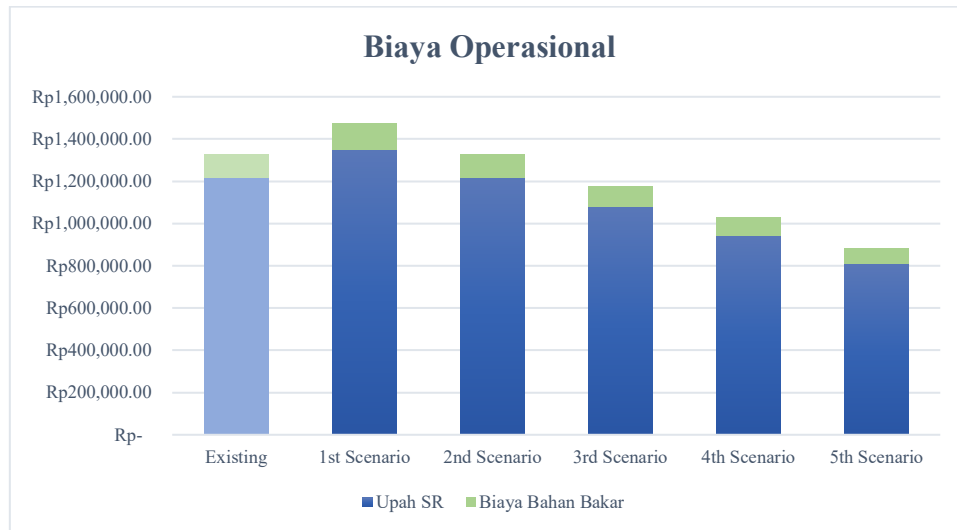
4.4.4 Analisis Aspek Biaya

Biaya operasional merupakan salah satu faktor krusial dalam menilai efisiensi sistem distribusi karena berpengaruh langsung terhadap keberlanjutan implementasi solusi di lapangan. Dalam penelitian ini, biaya operasional terdiri atas dua komponen utama, yaitu biaya tenaga kerja (upah harian *sales representative*) dan biaya bahan bakar, sebagaimana dirangkum pada Tabel 4.3. Upah harian ditetapkan sebesar Rp135.000,00 per SR, sementara harga bahan bakar adalah Rp12.400,00 per liter. Pada tabel 4.17 terdapat rekapitulasi perhitungan biaya operasional untuk setiap skenario yang selanjutnya divisualisasikan pada gambar 2.2.

Tabel 4.17 Rekapitulasi Perhitungan Biaya Operasional Seluruh Skenario

Skenario	Jumlah SR	Upah Harian (/SR)	Total Upah Harian	Estimasi Bahan Bakar (l/SR)	Biaya Bahan Bakar (/SR)	Total Biaya Bahan Bakar	Total Biaya Operasional
Existing	9	Rp135,000	Rp1,215,000	0.59	Rp12,400	Rp111,600	Rp1,326,600
1	10	Rp135,000	Rp1,350,000	0.25	Rp12,400	Rp124,000	Rp1,474,000
2	9	Rp135,000	Rp1,215,000	0.29	Rp12,400	Rp111,600	Rp1,326,600
3	8	Rp135,000	Rp1,080,000	0.40	Rp12,400	Rp99,200	Rp1,179,200

Skenario	Jumlah SR	Upah Harian (/SR)	Total Upah Harian	Estimasi Bahan Bakar (l/SR)	Biaya Bahan Bakar (/SR)	Total Biaya Bahan Bakar	Total Biaya Operasional
4	7	Rp135,000	Rp945,000	0.49	Rp12,400	Rp86,800	Rp1,031,800
5	6	Rp135,000	Rp810,000	0.49	Rp12,400	Rp74,400	Rp884,400



Gambar 4.22 Grafik Biaya Operasional Seluruh Skenario

Jika dilihat dari skenario eksisting yang saat ini dijalankan perusahaan, total biaya operasional per hari mencapai Rp1.326.600,00, dengan melibatkan 9 SR, estimasi konsumsi bahan bakar sebesar 0,29 liter per SR, dan total biaya bahan bakar harian sebesar Rp111.600,00. Meskipun biaya ini belum menyentuh level tertinggi, namun skenario *existing* tidak memberikan efisiensi maksimal dari sisi waktu pengiriman maupun jarak tempuh, seperti yang telah dianalisis sebelumnya.

Sebagaimana dibahas pada subbab sebelumnya, meskipun Skenario 1 berhasil menurunkan jarak tempuh menjadi yang terendah (62,69 km), total biaya operasional justru menjadi yang paling tinggi, yaitu Rp1.474.000,00. Hal ini disebabkan oleh jumlah SR yang paling banyak (10 orang), sehingga total upah harian dan bahan bakar meningkat signifikan. Selain itu, meskipun estimasi konsumsi aktual bahan bakar per SR hanya 0,25 liter, setiap SR tetap dialokasikan minimal 1 liter per hari sebagai antisipasi kebutuhan lapangan, sehingga tetap muncul komponen biaya tetap yang tidak dapat dihindari.

Sementara itu, Skenario 5 merupakan skenario dengan total biaya terendah yaitu Rp884.400,00, meskipun jaraknya bukan yang paling pendek. Efisiensi ini dicapai karena jumlah SR hanya 6 orang, sehingga total upah dan biaya bahan bakar dapat ditekan secara signifikan. Skenario ini juga tetap mempertahankan kinerja waktu dan utilisasi dalam batas yang dapat diterima. Adapun Skenario 3 dan 4 menunjukkan keseimbangan yang baik antara jumlah SR, waktu pengiriman, dan biaya operasional. Dengan masing-masing total biaya Rp1.179.200,00 dan Rp1.031.800,00, kedua skenario ini layak dipertimbangkan sebagai solusi moderat antara efisiensi dan performa. Dengan demikian, bila dibandingkan dengan skenario eksisting, seluruh skenario optimasi memberikan opsi biaya yang lebih terkendali, dengan tambahan manfaat berupa penurunan waktu pengiriman, peningkatan utilisasi, dan pengurangan jarak tempuh. Skenario 5 merupakan skenario terbaik yang menawarkan kombinasi efisiensi biaya dan operasional yang paling seimbang, menjadikannya alternatif yang layak untuk diimplementasikan dalam sistem distribusi aktual.

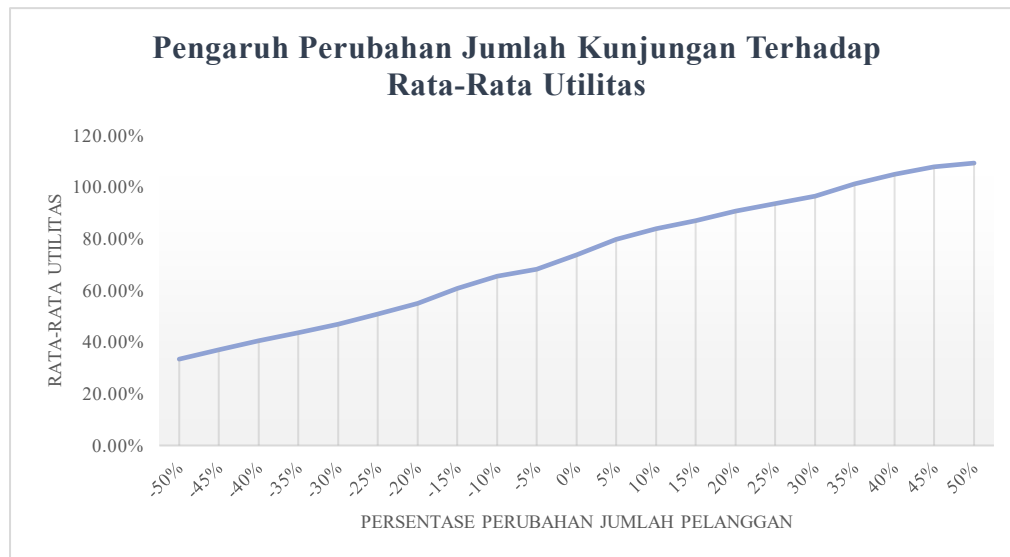
4.4.5 Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengevaluasi tingkat ketahanan (*robustness*) dari solusi optimasi terhadap perubahan parameter input yang bersifat dinamis di lapangan. Dalam konteks penelitian ini, dua parameter utama yang diuji sensitivitasnya adalah jumlah pelanggan yang dilayani dan waktu pelayanan (*loading* dan *unloading*) di setiap titik kunjungan. Kedua parameter ini dipilih karena mencerminkan realitas distribusi yang sangat dipengaruhi oleh fluktuasi permintaan serta dinamika operasional di lapangan. Pengujian dilakukan untuk mengamati dampak perubahan parameter tersebut terhadap performa sistem, seperti total durasi, jarak tempuh, dan rata-rata utilisasi, sekaligus mengevaluasi kelayakan implementasi berdasarkan utilisasi maksimum dan durasi maksimum tiap *sales representative* (SR).

Parameter pertama yang diuji adalah jumlah pelanggan. Simulasi dilakukan dengan mengubah jumlah titik kunjungan dari -50% hingga +50% dari kondisi dasar (118 titik), sehingga cakupan analisis meliputi kondisi ekstrem pengurangan menjadi 59 titik hingga penambahan menjadi 177 titik. Penentuan *range* ini dilakukan sampai batas ketika model mengalami perubahan kondisi dari *feasible* menjadi tidak *feasible*. Rekapitulasi pengujian perubahan jumlah titik kunjungan dapat dilihat pada tabel 4.18 dan divisualisasikan pada gambar 4.23.

Tabel 4.18 Uji Sensitivitas Parameter Jumlah Titik Pelanggan

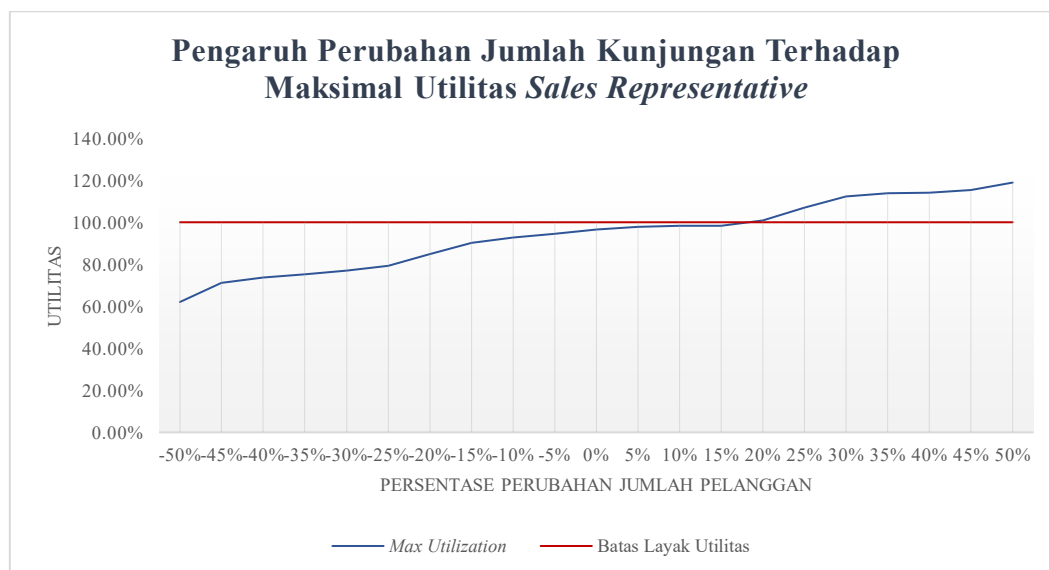
Jumlah Titik	Persentase Perubahan	Total Jarak (km)	Total Durasi	Rata-Rata Utilitas	Persentase Peningkatan/Penurunan Utilitas
59	-50%	47.31	22:01:24	33.38%	54.77%
65	-45%	50.33	23:45:54	37.01%	49.85%
71	-40%	50.63	25:25:54	40.48%	45.14%
77	-35%	51.15	26:57:36	43.67%	40.83%
83	-30%	52.88	28:32:36	46.97%	36.36%
89	-25%	54.04	30:22:00	50.76%	31.21%
94	-20%	54.44	32:20:06	54.86%	25.66%
100	-15%	62.85	35:09:00	60.73%	17.71%
106	-10%	67.67	37:27:30	65.54%	11.19%
112	-5%	73.09	38:43:06	68.16%	7.64%
118	0%	75.30	41:25:24	73.80%	0.00%
124	5%	80.63	44:17:12	79.76%	8.08%
130	10%	84.23	46:16:18	83.90%	13.69%
136	15%	86.52	47:44:30	86.96%	17.84%
142	20%	92.01	49:31:48	90.69%	22.89%
148	25%	93.75	50:50:48	93.43%	26.60%
153	30%	93.26	52:17:30	96.44%	30.68%
159	35%	94.19	54:33:42	101.17%	37.09%
165	40%	96.95	56:21:30	104.91%	42.16%
171	45%	98.91	57:42:36	107.73%	45.98%
177	50%	102.65	58:24:24	109.18%	47.94%



Gambar 4.23 Analisis Sensitivitas Jumlah Kunjungan Terhadap Utilitas

Hasil menunjukkan bahwa penurunan jumlah pelanggan menyebabkan penurunan total durasi distribusi, rata-rata utilisasi, dan jarak tempuh. Ketika jumlah pelanggan berkurang 50% menjadi 59 titik, total durasi menurun hingga 22:01:24, rata-rata utilisasi hanya 33,38%, dan total jarak menjadi 47,31 km. Sebaliknya, ketika titik ditambah hingga 50% (177 titik), total durasi meningkat menjadi 56:24:24, *average utilization* naik menjadi 118,93%, dan total jarak mencapai 102,65 km. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa beban kerja meningkat tajam seiring bertambahnya pelanggan, dan pada kondisi tertentu dapat menyebabkan *overload* kerja.

Evaluasi terhadap kelayakan sistem dilakukan dengan mengamati nilai maksimum utilisasi dan maksimum durasi yang dicapai oleh masing-masing SR. Batas kelayakan ditetapkan pada nilai utilisasi maksimum sebesar 100%, sesuai dengan kapasitas kerja harian 8 jam per orang dengan 1 jam istirahat. Grafik evaluasi kelayakan utilitas maksimum dari setiap skenario dapat dilihat pada gambar 4.24 berikut.



Gambar 4.24 Analisis Kelayakan Uji Sensitivitas Jumlah Kunjungan Terhadap Utilitas

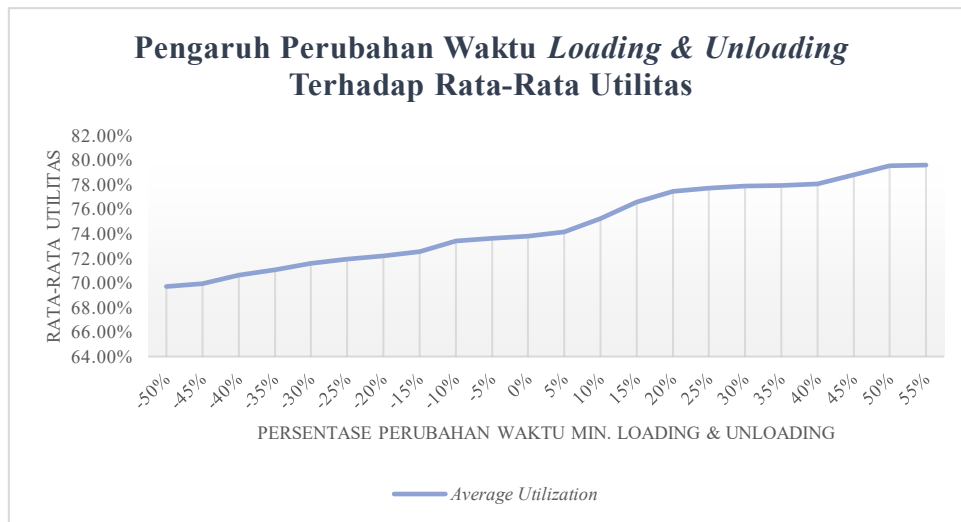
Berdasarkan hasil simulasi, skenario masih *feasible* pada penambahan jumlah kunjungan 15% dengan jumlah titik mencapai sekitar 136 pelanggan. Ketika jumlah titik melebihi batas

tersebut, seperti pada 142 titik dan seterusnya, beberapa SR mencatat utilisasi di atas 100%, dengan puncaknya sebesar 118,93% pada 177 titik. Hal ini menandakan bahwa sistem sudah tidak lagi *feasible*, karena waktu kerja melebihi batas harian. Jumlah kunjungan juga merepresentasikan jarak kunjungan. Ketika skenario menjadi tidak *feasible* dalam uji ini, maka kemungkinan skenario akan *feasible* ketika dilakukan penambahan jumlah *sales representative*, seperti pada skenario 1 hingga 4. Untuk memastikan batas *feasible* dari model yang dikembangkan, perlu dilakukan simulasi untuk memastikan skenario yang terbaik di masa mendatang dan batas dari jumlah titik yang mampu di-cover oleh 10 *sales representative* seperti pada skenario 1.

Parameter kedua yang diuji adalah waktu pelayanan minimum pada titik kunjungan, yang merepresentasikan durasi loading dan unloading. Simulasi dilakukan dengan menurunkan dan menaikkan nilai minimum dari asumsi dasar 2 menit, mulai dari -50% (1 menit) hingga +55% (3,1 menit). Rekapitulasi pengujian perubahan waktu minimum loading dan unloading dapat dilihat pada tabel 4.19 dan divisualisasikan pada gambar 4.25.

Tabel 4.19 Uji Sensitivitas Parameter Waktu Loading & Unloading

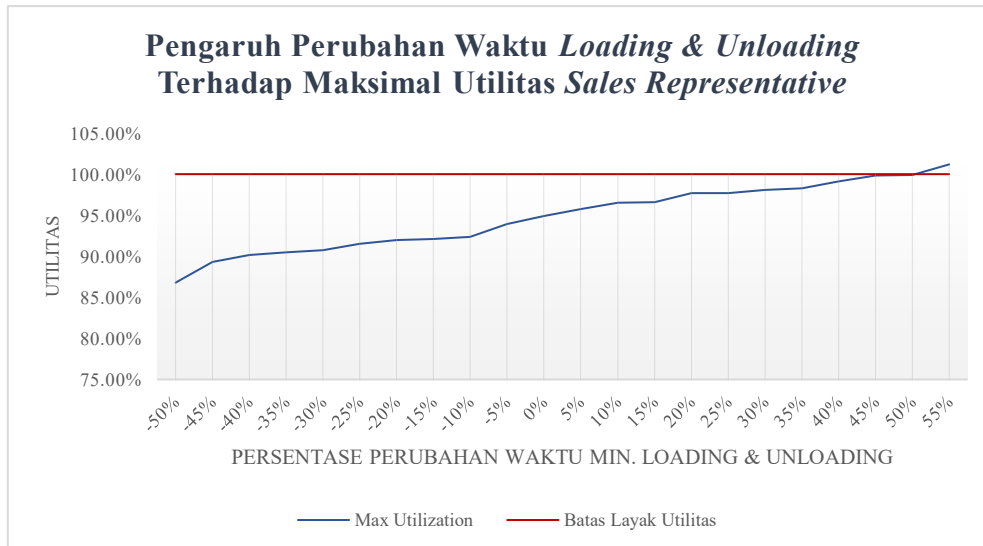
Waktu Minimal Loading & Unloading (menit)	Persentase Perubahan	Total Durasi	Rata-Rata Utilitas	Persentase Peningkatan/Penurunan Utilitas
1	-50%	39:27:12	69.69%	5.56%
1.1	-45%	39:34:06	69.93%	5.24%
1.2	-40%	39:53:18	70.60%	4.33%
1.3	-35%	40:06:00	71.04%	3.74%
1.4	-30%	40:21:54	71.59%	2.99%
1.5	-25%	40:31:54	71.94%	2.52%
1.6	-20%	40:39:24	72.20%	2.16%
1.7	-15%	40:48:24	72.51%	1.74%
1.8	-10%	41:14:06	73.41%	0.53%
1.9	-5%	41:19:36	73.60%	0.27%
2	0%	41:25:24	73.80%	0.00%
2.1	5%	41:35:24	74.15%	0.47%
2.2	10%	42:06:12	75.22%	1.92%
2.3	15%	42:45:24	76.58%	3.76%
2.4	20%	43:09:54	77.43%	4.92%
2.5	25%	43:17:48	77.70%	5.29%
2.6	30%	43:22:06	77.85%	5.49%
2.7	35%	43:24:06	77.92%	5.58%
2.8	40%	43:27:36	78.04%	5.75%
2.9	45%	43:48:30	78.77%	6.73%
3	50%	44:09:30	79.50%	7.72%
3.1	55%	44:11:24	79.56%	7.81%



Gambar 4.25 Analisis Sensitivitas Waktu *Loading & Unloading* Terhadap Utilitas

Hasil analisis menunjukkan bahwa semakin lama waktu pelayanan, maka *average utilization* dan total durasi meningkat. Ketika waktu minimum dinaikkan menjadi 3,1 menit, *average utilization* naik menjadi 79,56% dan durasi mencapai 44:11:24. Sebaliknya, saat waktu pelayanan diturunkan menjadi 1 menit, *average utilization* turun menjadi 69,69% dan durasi menjadi 39:27:12. Perubahan ini menunjukkan bahwa waktu pelayanan memengaruhi beban kerja secara proporsional terhadap durasi kegiatan distribusi.

Untuk menilai kelayakan, kembali dilakukan pengamatan terhadap nilai maksimum utilisasi per SR dengan visualisasi pada gambar 4.26 berikut.



Gambar 4.26 Analisis Kelayakan Uji Sensitivitas Waktu *Loading & Unloading* Terhadap Utilitas

Simulasi menunjukkan bahwa pada kenaikan waktu pelayanan lebih dari 50%, beberapa SR menunjukkan utilisasi di atas 100%. Ketika waktu pelayanan dinaikkan menjadi 3,1 menit, maksimum utilisasi tercatat mencapai 101,19%, menandakan bahwa kapasitas kerja per hari telah terlampaui. Artinya, meskipun rata-rata utilisasi sistem masih wajar, terdapat individu dalam sistem yang mengalami *overload*, sehingga skenario tersebut tidak layak diimplementasikan. Sama halnya dengan parameter jumlah kunjungan, ketika skenario menjadi tidak *feasible* dalam uji ini, maka kemungkinan skenario akan *feasible* ketika dilakukan penambahan jumlah *sales representative*, seperti pada skenario 1 hingga 4. Untuk memastikan

batas *feasible* dari model yang dikembangkan, perlu dilakukan simulasi untuk memastikan skenario yang terbaik di masa mendatang dan batas dari jumlah titik yang mampu di-cover oleh 10 *sales representative* seperti pada skenario 1.

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, dapat diketahui sensitivitas dari parameter jumlah kunjungan dan waktu *loading & unloading* terhadap utilitas. Parameter yang memiliki sensitivitas tinggi adalah jumlah kunjungan. Ketika terjadi perubahan jumlah kunjungan sebesar 20% saja, maka solusi skenario menggunakan 6 *sales representative* menjadi tidak layak untuk diimplementasikan. Selanjutnya adalah waktu *loading* dan *unloading*. Apabila terdapat kenaikan waktu *loading & unloading* hingga 55%, maka solusi menjadi tidak layak. Oleh karena itu, jika terjadi perubahan signifikan dalam operasional aktual, maka perlu dilakukan penyesuaian jumlah SR atau perencanaan ulang rute agar sistem tetap berjalan dalam batas layak dan efisien.

4.4.6 Analisis Skenario Terbaik

Berdasarkan hasil analisis kuantitatif terhadap enam skenario yang disimulasikan dengan model optimasi rute kunjungan *sales representative*, serta mempertimbangkan aspek durasi pengiriman, utilisasi waktu kerja, jarak tempuh, total biaya operasional, dan kelayakan implementasi, maka Skenario 5 dengan alokasi 6 *sales representative* teridentifikasi sebagai skenario terbaik. Skenario ini memberikan hasil paling optimal dalam hal efisiensi biaya dan utilisasi tenaga kerja, tanpa melampaui batas waktu kerja harian yang telah ditentukan.

Dari sisi utilisasi, Skenario 5 menghasilkan rata-rata utilisasi sebesar 73,80%, tertinggi di antara seluruh skenario yang masih *feasible*. Nilai ini menunjukkan bahwa waktu kerja SR dimanfaatkan secara efektif tanpa menyebabkan *overload*. Durasi total pengiriman tercatat sebesar 41:25:24, masih berada dalam batas operasional, dan jarak tempuh mencapai 75,30 km, yang merupakan kompromi rasional mengingat jumlah SR yang lebih sedikit. Adapun total biaya operasional hanya sebesar Rp884.400,00, menjadikannya skenario paling ekonomis dibanding skenario lain yang masih layak. Skenario ini juga dibandingkan secara langsung dengan kondisi eksisting perusahaan, yaitu perencanaan rute yang masih dilakukan secara manual tanpa pendekatan optimasi berbasis algoritma dengan hasil pada tabel 4.20 berikut.

Tabel 4.20 Analisis Peningkatan Efisiensi Model Optimasi terhadap Model Eksisting

Aspek	Existing	5th Scenario	Perubahan	Persentase	Keterangan
Waktu Kerja Efektif	39:17:53	40:25:24	+1:07:31	+2.86%	Peningkatan waktu kerja
Rata-Rata Utilitas	48.52%	73.80%	+25.28%	+52.11%	Pemanfaatan waktu kerja lebih baik
Total Jarak Tempuh	80,79 km	75,3 km	-5.49 km	-6.80%	Rute lebih efisien
Biaya Operasional	Rp 1.326.600	Rp 884.400	-Rp 442.200	-33.33%	Penghematan biaya
Waktu Kerja Non-efektif	49:47:31	21:40:00	-28:07:31	-56.57%	Penurunan waktu tidak terpakai

Perbandingan antara skenario terbaik dan kondisi eksisting menunjukkan adanya peningkatan efisiensi secara menyeluruh. Rata-rata waktu kerja *sales representative* mengalami peningkatan sebesar 1 jam 7 menit 31 detik, atau naik 2,86%. Hal ini menunjukkan bahwa waktu kerja yang tersedia digunakan secara lebih produktif dalam skenario optimasi. Selain itu, utilisasi waktu kerja meningkat signifikan sebesar 25,28% (naik 52,11%), yang mengindikasikan distribusi beban kerja yang lebih merata dan efektif. Dari sisi efisiensi rute, skenario 5 mampu menurunkan total jarak tempuh sebesar 5,49 km (turun 6,80%). Meskipun angka ini terlihat kecil, dalam konteks distribusi harian yang dilakukan secara berulang, pengurangan jarak ini berdampak terhadap efisiensi bahan bakar dan keausan kendaraan. Hal ini juga berkontribusi terhadap penurunan biaya operasional distribusi, di mana skenario terbaik menunjukkan penghematan biaya sebesar Rp442.200,00 atau menurun sebesar 33,33%

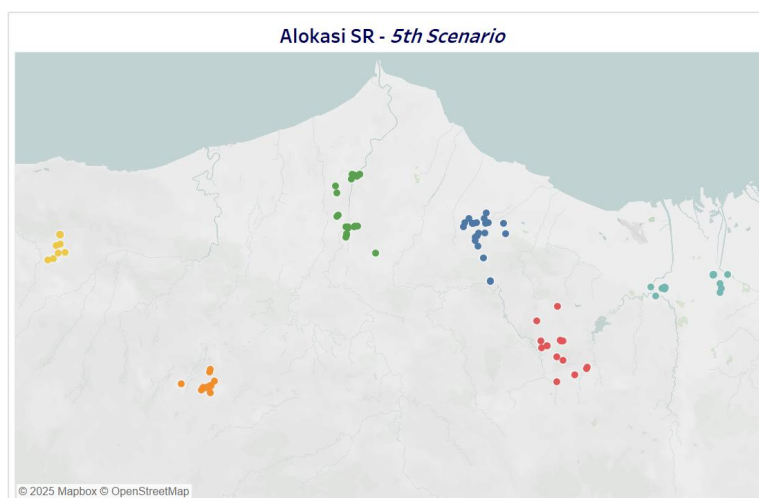
dibandingkan kondisi eksisting. Selain itu, waktu tidak efektif mengalami penurunan drastis sebesar 28 jam 7 menit 31 detik (turun 56,57%), yang mengindikasikan bahwa waktu kerja *sales representative* yang sebelumnya tidak dimanfaatkan secara optimal kini dapat dialokasikan secara lebih efisien untuk aktivitas produktif. Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa penerapan skenario kelima sebagai solusi distribusi terbaik mampu meningkatkan performa operasional secara signifikan dibandingkan dengan kondisi awal.

Pemilihan Skenario 5 sebagai skenario terbaik diperoleh secara otomatis melalui simulasi pada sistem VBA yang dibangun. Sistem ini dirancang untuk memilih skenario dengan total biaya terendah dari alternatif yang masih *feasible* (utilisasi $\leq 100\%$). Proses ini direkap pada *summary sheet* dengan ditandai *symbol* 'BEST RESULT' pada skenario terpilih. Tampilan hasil pemilihan skenario terbaik ini dapat dilihat pada Gambar 4.27.

Scenario Decision					
Scenario Summary					
Scenario	Number of SRs	Total Revenue	Total Distance	Total Duration	Avg Utilization
1st Scenario	10	Rp 115,184,298	62.69	38:55:42	36.16%
2nd Scenario	9	Rp 115,184,298	68.04	39:28:24	42.32%
3rd Scenario	8	Rp 115,184,298	66.46	39:23:42	49.05%
4th Scenario	7	Rp 115,184,298	71.17	41:17:54	61.25%
5th Scenario	6	Rp 115,184,298	75.3	41:25:24	73.80%
6th Scenario	5	Rp 115,184,298	89.23	43:16:48	Not Feasible
Cost Calculation					
ario	SR Fee	Fuel Estimation (L)	Fuel Fee	Fuel Fee For all SR	Total Cost
1st Scenario	Rp1,350,000.00	0.25	Rp12,400.00	Rp124,000.00	Rp1,474,000.00
2nd Scenario	Rp1,215,000.00	0.29	Rp12,400.00	Rp111,600.00	Rp1,326,600.00
3rd Scenario	Rp1,080,000.00	0.40	Rp12,400.00	Rp99,200.00	Rp1,179,200.00
4th Scenario	Rp945,000.00	0.49	Rp12,400.00	Rp86,800.00	Rp1,031,800.00
5th Scenario	Rp810,000.00	0.49	Rp12,400.00	Rp74,400.00	Rp884,400.00
6th Scenario	Rp675,000.00	0.68	Rp12,400.00	Rp62,000.00	Not Feasible
Decision					
BEST RESULT			5th Scenario		

Gambar 4.27 Hasil Pemilihan Skenario Terbaik

Lebih lanjut, alokasi pelanggan ke masing-masing *sales representative* serta rute kunjungan harian divisualisasikan dalam bentuk peta. Pada visualisasi ini, setiap warna mewakili satu *sales representative* yang bertugas melayani pelanggan dalam wilayah tertentu. Distribusi wilayah yang dihasilkan bersifat terpusat dan tidak tumpang tindih, menandakan hasil *clustering* dan *routing* yang efisien dan logis. Visualisasi ini memudahkan *delivery planner* untuk memahami pembagian area kerja dan perencanaan rute harian secara intuitif. Peta hasil alokasi ini ditunjukkan pada Gambar 4.28.



Gambar 4.28 Visualisasi Alokasi Pelanggan pada Setiap SR

Selanjutnya, hasil rute kunjungan dan alokasi detail pelanggan per *sales representative* yang ditampilkan dalam sheet VBA output, memperlihatkan bahwa model yang dibangun mampu memberikan estimasi waktu kedatangan (*check-in*) dan keberangkatan (*check-out*) yang realistis, serta urutan kunjungan yang efisien tanpa *overlap* atau *subtour*. Detail ini dapat dilihat pada Gambar 4.29, yang menunjukkan tampilan lengkap hasil optimasi rute harian. Hasil alokasi dan rute kunjungan untuk seluruh SR dapat dilihat pada Lampiran 8 dan 9.

Sales Representative Route Optimization (5th Scenario)											
Sales Representative Allocation											
Optimized Route for SR 1											
Order	User ID	Latitude	Longitude	Revenue	Boxes	Distance (km)	Travel Time	Loading	Unloading	Check-in	Check-out
1	154573	-6.9710671	110.25688	Rp481,680	3	0.03	00:00:18	00:08:24	00:07:48	08:15:18	08:31:30
2	185571	-6.9713222	110.25222	Rp1,132,708	6	0.51	00:05:06	00:05:12	00:02:24	08:36:36	08:44:12
3	116078	-6.973317	110.25092	Rp2,516,760	13	0.26	00:02:36	00:05:48	00:05:06	08:46:48	08:57:42
4	46213	-6.974315	110.24951	Rp595,200	3	0.19	00:01:54	00:04:54	00:03:06	08:59:36	09:07:36
5	51200	-6.9772429	110.24938	Rp612,720	4	0.33	00:03:18	00:04:30	00:07:36	09:10:54	09:23:00
6	47036	-6.9812136	110.25154	Rp925,420	5	0.5	00:05:00	00:08:00	00:04:18	09:28:00	09:40:18
7	43774	-6.9904622	110.25571	Rp2,093,280	11	1.13	00:11:18	00:06:36	00:09:06	09:51:36	10:07:18
8	100405	-7.0081225	110.26127	Rp939,930	5	2.06	00:20:36	00:05:48	00:07:00	10:27:54	10:40:42
9	105911	-7.0082513	110.26107	Rp491,520	3	0.03	00:00:18	00:02:54	00:07:24	10:41:00	10:51:18
10	51077	-6.9719655	110.27324	Rp1,397,040	7	4.25	00:42:30	00:09:18	00:09:12	11:33:48	11:52:18
11	277402	-6.9640535	110.27156	Rp503,520	3	0.9	00:09:00	00:07:18	00:04:54	13:00:00	13:12:12
12	367268	-6.9630947	110.25955	Rp568,905	3	1.33	00:13:18	00:02:12	00:08:30	13:25:30	13:36:12
13	287510	-6.9638658	110.25773	Rp738,000	4	0.22	00:02:12	00:09:00	00:02:06	13:38:24	13:49:30
14	157212	-6.9600948	110.2567	Rp681,600	4	0.43	00:04:18	00:07:36	00:08:36	13:53:48	14:10:00
15	264647	-6.9560896	110.25821	Rp961,160	5	0.48	00:04:48	00:07:12	00:07:18	14:14:48	14:29:18
16	368233	-6.9634458	110.25066	Rp1,242,600	7	1.17	00:11:42	00:04:06	00:06:54	14:41:00	14:52:00
17	334917	-6.9639862	110.24773	Rp1,773,600	9	0.33	00:03:18	00:09:48	00:05:30	14:55:18	15:10:36
18	56653	-6.9640685	110.24763	Rp798,000	4	0.01	00:00:06	00:07:00	00:05:30	15:10:42	15:23:12
19	56665	-6.9640419	110.2476	Rp511,920	3	0	00:00:00	00:06:06	00:07:12	15:23:12	15:36:30
20	56648	-6.9638259	110.24772	Rp930,624	5	0.03	00:00:18	00:06:24	00:04:54	15:36:48	15:48:06
21	82943	-6.9641044	110.24723	Rp1,107,420	6	0.06	00:00:36	00:04:30	00:06:24	15:48:42	15:59:36
22	46289	-6.9599361	110.24481	Rp847,360	5	0.53	00:05:18	00:06:24	00:08:30	16:04:54	16:19:48
23	47063	-6.9632896	110.24143	Rp781,880	4	0.53	00:05:18	00:05:54	00:05:42	16:25:06	16:36:42
24	305307	-6.9663505	110.24058	Rp630,240	4	0.35	00:03:30	00:04:54	00:03:42	16:40:12	16:48:48

Sales Representative Utilization						
SR	Total Users	Total Revenue	Total Boxes	Total Distance	Total Duration	Utilization
1	24	Rp23,263,087	126	15.66	08:48:48	97.67%
2	27	Rp31,551,817	178	7.33	07:40:24	83.42%
3	15	Rp12,223,248	68	19.28	06:54:48	73.92%
4	17	Rp12,775,570	74	11.34	06:06:24	63.83%
5	24	Rp25,043,489	139	16.27	08:23:30	92.40%
6	11	Rp10,327,087	59	5.42	03:31:30	31.56%

Gambar 4.29 Detail Rute Kunjungan Skenario Terbaik

Dengan mempertimbangkan seluruh aspek kuantitatif dan visual tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa Skenario 5 tidak hanya unggul secara numerik, tetapi juga secara logis dan implementatif, menjadikannya skenario yang paling layak dan efektif untuk diterapkan dalam sistem distribusi aktual.

Perlu diketahui, bahwa skenario 5 merupakan skenario terbaik untuk data transaksi harian yang menjadi input dalam pengembangan model. Ketika terjadi perubahan parameter waktu pengiriman dan skema pembayaran, saat ini skenario 5 tidak dapat dipastikan menjadi skenario terbaik, atau bahkan *feasible* untuk diterapkan. Sehingga, ketika terdapat perubahan waktu atau biaya, perlu dilakukan simulasi untuk merubah parameter dan data input untuk memastikan skenario yang terbaik di masa mendatang.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Kemudian, akan dijelaskan juga mengenai saran yang dapat dipertimbangkan bagi perusahaan maupun pengembangan penelitian kedepannya.

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari hasil penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Penentuan jumlah *sales representative* (SR) yang optimal dalam sistem distribusi diperoleh melalui analisis simulasi VBA metode CFRS pada enam skenario alternatif. Hasil menunjukkan bahwa skenario 5 dengan 6 SR memberikan kinerja terbaik dalam hal efisiensi waktu tempuh, jarak, serta tingkat pemerataan beban kerja. Pada skenario ini, distribusi pelanggan antar SR lebih seimbang dan utilisasi waktu kerja lebih merata, sehingga dapat dikatakan bahwa alokasi jumlah SR pada skenario ini paling optimal dalam menjawab kebutuhan distribusi.
2. Batasan area distribusi berhasil ditentukan melalui proses clustering menggunakan pendekatan *Nearest Neighbor Clustering*, dengan nilai k ditentukan berdasarkan jumlah SR. Pengelompokan ini mampu membentuk klaster pelanggan yang saling berdekatan secara geografis, sehingga memperjelas batas area kerja masing-masing SR dan memudahkan proses perencanaan rute yang lebih terstruktur dan efisien.
3. Model optimasi rute dalam penelitian ini dikembangkan menggunakan algoritma *Traveling Salesman Problem* (TSP) berbasis *Nearest Neighbor* dalam VBA Excel. Model ini secara efektif menghasilkan urutan kunjungan yang meminimalkan total jarak tempuh, serta mempertimbangkan urutan prioritas berdasarkan koordinat lokasi, waktu layanan, dan nilai transaksi. Hasil rute yang dihasilkan untuk setiap SR menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan pendekatan manual.
4. Evaluasi terhadap efisiensi distribusi menunjukkan bahwa metode optimasi berbasis VBA memberikan peningkatan signifikan dibandingkan metode manual yang diterapkan perusahaan. Efisiensi yang dihasilkan meliputi peningkatan waktu kerja rata-rata sebesar 1 jam 7 menit (naik 2,86%), peningkatan utilisasi waktu kerja sebesar 25,28% (naik 52,11%), penurunan total jarak tempuh sebesar 5,49 km (turun 6,80%), serta penghematan biaya distribusi sebesar Rp442.200,00 (turun 33,33%). Selain itu, waktu tidak terpakai (*non-utilize*) juga mengalami penurunan sebesar 28 jam 7 menit (turun 56,57%). Temuan ini menunjukkan bahwa model yang dikembangkan tidak hanya meningkatkan efisiensi jarak dan waktu, tetapi juga berdampak langsung terhadap pengurangan biaya operasional dan peningkatan pemanfaatan waktu kerja secara signifikan.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian ini, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan acuan dalam pengembangan penelitian di waktu yang akan datang sebagai berikut.

1. Model dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mempertimbangkan faktor dinamis, seperti fluktuasi permintaan harian, prioritas layanan, dan kemungkinan gangguan operasional. Hal ini dapat dilakukan melalui penerapan *time windows* dan penyesuaian parameter waktu layanan yang lebih realistis.
2. Visualisasi rute dan hasil *clustering* dapat ditingkatkan dengan integrasi teknologi *Geographic Information System* (GIS), sehingga memberikan tampilan spasial yang lebih informatif dan mendukung pengambilan keputusan berbasis lokasi.

3. Perlu dilakukan validasi lapangan untuk menguji performa model dalam kondisi operasional nyata. Validasi ini penting untuk memastikan bahwa model mampu beradaptasi dengan kondisi jalan, keterbatasan waktu layanan, serta variasi permintaan pelanggan secara langsung.
4. Model bisa dikembangkan dengan kondisi ketika *sales representative* melakukan pengiriman di luar jadwal atau keesokan harinya dengan mempertimbangkan *overtime* dan *penalty*, serta perubahan skema pembayaran berdasarkan beban kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- Applegate, D. L., Bixby, R., Chvátal, V., & Cook, W. (2007). *The Traveling Salesman Problem: A Computational Study*. New Jersey: Princeton University Press.
- Asian Development Bank. (2017). *Meeting Asia's Infrastructure Needs*. Manila: Asian Development Bank. Retrieved March 30, 2025, from <https://www.adb.org/publications/asia-infrastructure-needs>
- Asmara, E., & Ichtiarto, B. P. (2021). Penerapan p-Median terhadap optimasi alokasi dan lokasi distribution center pada Sistem Logistik Pedesaan di Indonesia: Studi kasus. *Operations Excellence Journal of Applied Industrial Engineering*, 215-222. doi:<http://dx.doi.org/10.22441/oe.2021.v13.i2.020>
- Badan Pusat Statistik Provinsi Di Yogyakarta. (2024). *Statistik Potensi Desa Provinsi D.I. Yogyakarta 2024*. D. I. Yogyakarta: Badan Pusat Statistik. Retrieved Februari 20, 2025, from <https://yogyakarta.bps.go.id/id/publication/2024/12/11/fb81523dbe9308b10ae1ab31/statistik-potensi-desa-provinsi-d-i--yogyakarta-2024.html>
- Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Barat. (2024). *Statistik Potensi Desa Provinsi Jawa Barat 2024*. Jawa Barat: Badan Pusat Statistik . Retrieved Februari 20, 2025, from <https://jabar.bps.go.id/id/publication/2024/12/27/1f6b4fbd4df3649dad58ac22/statistik-potensi-desa-provinsi-jawa-barat-2024.html>
- Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah. (2024). *Statistik Potensi Desa Provinsi Jawa Tengah 2024*. Jawa Tengah: Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah. Retrieved Februari 20, 2025, from <https://jateng.bps.go.id/id/publication/2025/02/03/6b167fa005f88e6ca347e7cc/statistik-potensi-desa-provinsi-jawa-tengah-2024.html>
- Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur. (2024). *Statistik Potensi Desa Provinsi Jawa Timur 2024*. Jawa Timur: Badan Pusat Statistik. Retrieved Februari 20, 2025, from <https://jatim.bps.go.id/id/publication/2024/12/18/91c431a34437ec9ae06c4c70/statistik-potensi-desa-provinsi-jawa-timur-2024.html>
- Ballou, R. H. (2004). *Business logistics/supply chain management: Planning, organizing, and controlling the supply chain* (5th ed.). New Jersey: Pearson Education.
- Bubeck, S., & Luxburg, U. v. (2009). Nearest Neighbor Clustering: A Baseline Method for Consistent Clustering with Arbitrary Objective Functions. *Journal of Machine Learning Research*, 657-698.
- Cao, Y., Chen, X., & Xu, W. (n.d.). Optimization of rural logistics distribution route based on improved genetic algorithm. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 392(6), 62-107. doi:10.1088/1757-899X/392/6/062107
- Chandra, A., & Setiawan, B. (2019). Minimasi Jalur Distribusi di PT.XYZ dengan Metode Improved Cluster First Route Second. *Jurnal Metris*, 11-16. doi:10.25170/metris.v20i1.2377
- Chandra, Andi, Saraswati, & Rini. (2020). Pemanfaatan Excel-VBA dalam Sistem Distribusi Produk Bahan Pokok Pedesaan. *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, 8(2), 60-68.

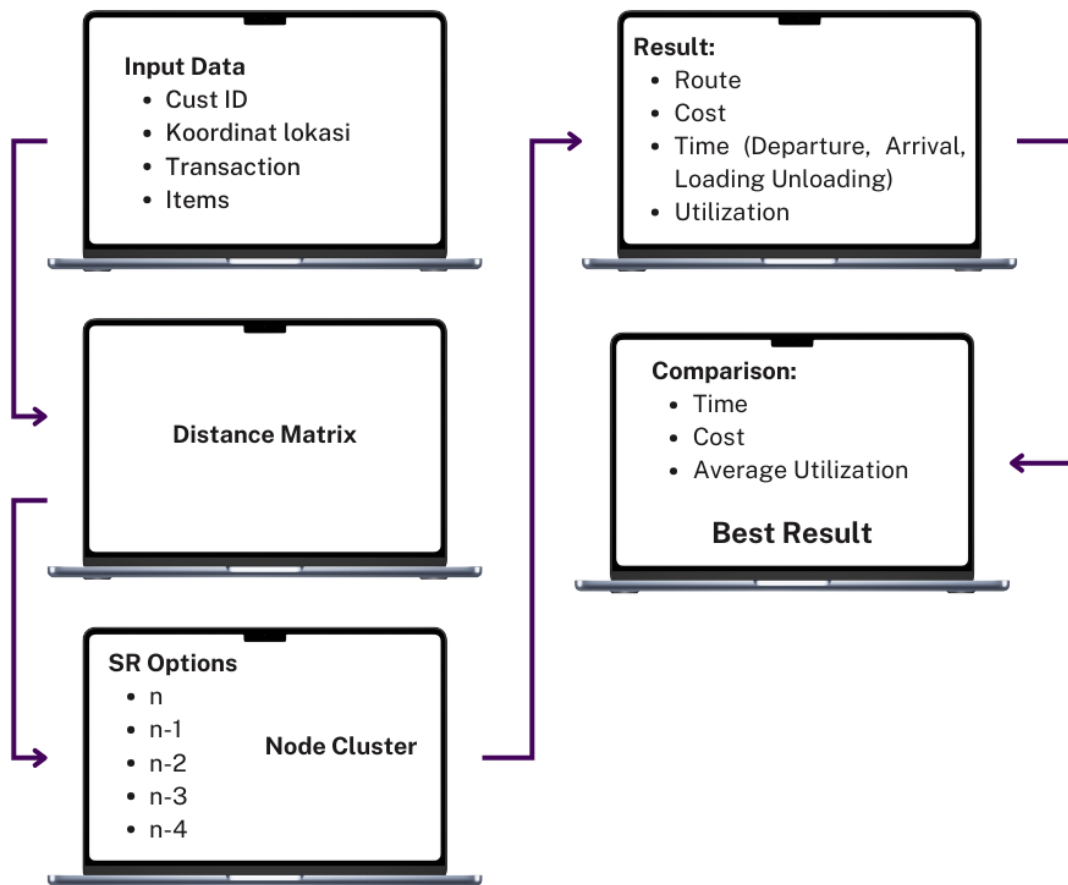
- Chopra, S., & Meindl, P. (2016). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation (6th ed.)*. Boston: Pearson Education.
- Dondo, R., & Cerdá, J. (2007). A cluster-based optimization approach for the multi-depot heterogeneous fleet vehicle routing problem with time windows. *European Journal of Operational Research*, 176(3), 1478–1507. doi:10.1016/j.ejor.2005.10.067
- Feng, J., Zhang, B., Ran, R., Zang, W., & Yang, D. (2021). An Effective Clustering Algorithm Using Adaptive Neighborhood and Border Peeling Method. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 201-211.
- Forsberg, E., & Nordqvist, G. (2023). *Heuristic Clustering Methods for Solving Vehicle Routing Problems A Study on Integer Programming and Real-World Applications*. Stockholm: Royal Institute of Technology. Retrieved from urn:nbn:se:kth:diva-331116
- Gendreau, M., Hertz, A., & Laporte, G. (1994). A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem. *Management Science*, 40(10), 1276–1290. doi:10.1287/mnsc.40.10.1276
- Gendreau, M., Laporte, G., & Potvin, J.-Y. (2002). Classical and Modern Heuristics for the Vehicle Routing Problem. In *Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem*. In G. Laporte & F. V. Louveaux (Eds.) (pp. 129-154). Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM). doi:10.1007/978-1-4615-0737-4_6
- Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2013). *Introduction to Logistics Systems Management (2nd ed.)*. Chichester: Wiley. doi:10.1002/9781118628120
- Golden, B. L., Raghavan, S., & Wasil, E. (2008). *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*. New York: Springer Science & Business Media. doi:10.1007/978-0-387-77778-8
- Heeks, R., & Renken, J. (2018). Data justice for development: What would it mean? *Information Development*, 34(1), 90–102. doi:10.1177/0266666916678282
- hidayat, A. (2023). *Create dashboard using visual basic application excel*. Retrieved April 2, 2025, from fiverr: <https://www.fiverr.com/adanghidayat97/create-dashboard-using-visual-basic-application-excel>
- Hirata, E., Matsuo, H., & Mizuno, T. (2022). Logistics network design for rural areas using mixed transportation modes. *Sustainability*, 14(12), 74-79. doi:10.3390/su14127479
- Ivanov, Dmitry, Tsipoulanidis, Alexander, Schönberger, & Jörn. (2019). *Global Supply Chain and Operations Management (2nd ed.)*. Switzerland: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-94313-8
- Jelen, B., & Syrstad, T. (2004). *VBA and Macros for Microsoft Excel*. Indianapolis: Sams Publishing.
- Judijanto, L., Asniar, N., Kushariyadi, Utami, E. Y., & Telaumbanua, E. (2024). Application of Integrated Logistics Networks in Improving the Efficiency of Distribution and Delivery of Goods in Indonesia a Literature Review. *Sciences du Nord Economics and Business*, 01-10. doi:http://dx.doi.org/10.22441/oe.2021.v13.i2.020
- Kementerian Keuangan. (2023). *Terapkan NLE, Tekan Biaya Logistik*. Jakarta: Media Keuangan. Retrieved Februari 21, 2025, from <https://mediakeuangan.kemenkeu.go.id/article/show/terapkan-nle-tekan-biaya-logistik>

- Khan, M. U., Ali, R., Irfan, M., & Lee, M. (2022). Route Optimization and Distribution Planning Using K-Means Clustering and Genetic Algorithm. *IEEE Access*, 10, 57701–57716. doi:10.1109/ACCESS.2022.3177991
- Kizilates, G., & Nuriyeva, F. (2013). On the Nearest Neighbor Algorithms for the Traveling Salesman Problem. *Advances in Intelligent Systems and Computing* (pp. 111–118). German: 225. doi:10.1007/978-3-319-00846-2_15
- Laporte, G., & Semet, F. (2002). Classical Heuristics for the Capacitated VRP. In *Paolo Toth & Daniele Vigo (Eds.)* (pp. 109–128). Philadelphia: SIAM. doi:10.1137/1.9780898718515.ch5
- Lawler, E. L., Lenstra, J., Kan, A., & Shmoys, D. (1985). *The Traveling Salesman Problem: A Guided Tour of Combinatorial Optimization*. UK: John Wiley & Sons.
- Marchi, T. M., De Marchi, L., & Silvestri, A. (2022). Digital Transformation in Rural Logistics: Evidence from East Africa. *Journal of Operations and Supply Chain Management*, 15(1), 22-35. doi:10.12660/joscm.v15n1p22-35
- Muhayyaroh, I., Handayanto, R., & Nurulita, A. (2023). erancangan Sistem Penentuan Rute dan Optimasi Biaya Pendistribusian Barang dengan Metode Saving Matrix dan Nearest Insertion Berbasis VBA Excel. *Jurnal Teknik Industri*, 15(1), 45-53.
- Mulrooney, D. M., & Segerson, K. (2006). Infrastructure Development and the Distribution of Economic Activity. *Journal of Economic Geography*, 6(2), 231–252. doi:10.1093/jeg/lbi010
- Putra, D. A., & Solikah, E. (2022). Penerapan VBA Excel untuk Optimasi Rute Pengiriman Produk UMKM. *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, 10(2), 74–83.
- Reinelt, M. (1994). *The Traveling Salesman: Computational Solutions for TSP Applications*. Berlin: Springer-Verlag. doi:10.1007/978-3-642-80293-0
- Saghafian, S., & Oyen, M. (2019). Operations management of integrated delivery systems in rural areas. *Health Care Management Science*, 1-17. doi:10.1007/s10729-017-9408-2
- Sanggala, E. (2020). Penyelesaian CVRP dengan Menggunakan Savings Algorithm & VBA Excel. *Jurnal Media Teknik dan Sistem Industri*, 4(1), 39-46.
- Sarkar, S., & Bandyopadhyay, S. (2020). Designing supply chains for rural areas: A literature review and research agenda. *ournal of Rural Studies*, 117–132. doi:10.1016/j.jrurstud.2020.06.027
- Sheffi, Y. (2015). *The Power of Resilience: How the Best Companies Manage the Unexpected*. Cambridge: MIT Press.
- Soleha, R. N., & Khotimah, H. (2021). Penerapan Algoritma K-Means Clustering dan Nearest Neighbor pada Penyelesaian Permasalahan Travelling Salesman Problem. *Jurnal Teknologi Informasi dan Pendidikan*, 14(2), 123-130.
- Sullivan, C. K., Habib, M., & Mia, S. (2021). A Framework for Rural Logistics Strategy: A Case Study in South Asia. *Asian Journal of Shipping and Logistics*, 37(1), 1-13. doi:10.1016/j.ajsl.2020.06.003
- Taniguchi, E., Thompson, R., & Yamada, T. (2020). *City Logistics: Mapping The Future*. Boca Raton: CRC Press.

- Toth, P., & Vigo, D. (2014). *Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications* (2nd ed.). Philadelphia: SIAM. doi:10.1137/1.9781611973594
- Walkenbach, J. (2010). *Excel 2010 Power Programming with VBA*. Indianapolis: Wiley Publishing.
- Waters, D. (2003). *Logistics: An Introduction to Supply Chain Management*. New York: PALGRAVE MACMILLAN.
- Wicaksono, N., & Kusniawati, E. (2023). Optimasi Rute Pengiriman Bahan Baku CKD Part dengan Pendekatan CVRP di PT XYZ. *Jurnal Teknik Industri*, 15(2), 61–69.
- Wilding, R., & Khan, O. (2013). The impact of technology on supply chain resilience. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 43(10), 887–900. doi:10.1108/IJPDLM-01-2012-0011
- Wong, M. A., & Lane, T. (1983). A kth Nearest Neighbour Clustering Procedure. *J. R. Statist. Soc. B*, 362-368.
- Xiaojing, Z. (2023). The Exploration of the Optimization of Rural Logistics Distribution Mode in Big Data Environment. *The Frontiers of Society, Science and Technology*, 93-97. doi:10.25236/FSST.2023.051014
- Zhang, Z., Yang, J., & Wang, F. (2021). Rural logistics service network design considering demand uncertainty. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 102-236. doi:10.1016/j.tre.2021.102236
- Zhao, M., & Lu, Y. (2019). A Heuristic Approach for a Real-World Electric Vehicle Routing Problem. *Journal Science and Technology*, 1-19. doi: doi.org/10.3390/a12020045

LAMPIRAN

Lampiran 1: Konsep Implementasi VBA



Lampiran 2: Data Transaksi Pelanggan

No	User ID	Lattitude	Longitude	Revenue	Boxes
1	154573	-6.9710671	110.2568787	Rp 481,680	3
2	248305	-7.013361278	110.3964553	Rp 575,580	3
3	100405	-7.008122479	110.2612656	Rp 939,930	5
4	100354	-6.965702884	110.1584709	Rp 625,656	4
5	367268	-6.963094696	110.259548	Rp 568,905	3
6	277402	-6.964053517	110.2715616	Rp 503,520	3
7	63726	-6.9917373	109.9187082	Rp 752,493	4
8	83397	-7.003349033	110.4341083	Rp 576,690	3
9	262438	-6.974640831	110.1496575	Rp 688,776	4
10	260852	-7.091898742	110.0377836	Rp 900,274	6
11	79924	-7.003147852	110.4339583	Rp 513,600	3
12	53603	-6.926039923	110.1602714	Rp 685,272	4
13	50077	-6.926145437	110.1603686	Rp 811,392	5
14	51077	-6.971965487	110.2732426	Rp 1,397,040	7
15	272569	-7.0032835	110.4336473	Rp 1,348,450	8
16	105911	-7.008251261	110.2610715	Rp 491,520	3
17	50155	-6.972823773	110.1500391	Rp 1,384,800	7
18	247417	-7.012831833	110.3962813	Rp 768,960	4
19	186252	-6.927766635	110.1582097	Rp 599,601	4
20	370494	-7.074505264	110.3361223	Rp 511,440	3
21	49580	-6.971869	110.1500921	Rp 898,492	5
22	370484	-7.003470646	110.4333393	Rp 608,760	4
23	263041	-7.087144276	110.0218419	Rp 1,471,140	8
24	44344	-7.075592936	110.335714	Rp 261,300	2
25	58683	-7.0902116	110.0386422	Rp 670,575	4
26	331887	-6.9910149	109.9230166	Rp 1,754,276	10
27	46943	-7.0899168	110.039081	Rp 1,435,950	8
28	43774	-6.9904622	110.2557092	Rp 2,093,280	11
29	55615	-7.090422965	110.0392989	Rp 582,940	3
30	56665	-6.964041853	110.2475974	Rp 511,920	3
31	345323	-7.013716662	110.4397686	Rp 656,754	4
32	61031	-7.090167295	110.0395585	Rp 794,088	5
33	52813	-7.090390548	110.0397657	Rp 960,000	5
34	45154	-7.0905052	110.0390835	Rp 1,306,067	7
35	157212	-6.960094798	110.2566964	Rp 681,600	4
36	56653	-6.964068477	110.2476296	Rp 798,000	4
37	313907	-6.9865915	109.9268153	Rp 1,406,400	8
38	56648	-6.963825864	110.2477234	Rp 930,624	5
39	335808	-7.002882966	110.4335137	Rp 800,700	5
40	51897	-7.0800013	110.3263556	Rp 1,022,400	6
41	36429	-6.986093168	109.9320942	Rp 988,324	6
42	55354	-7.090283747	110.0399676	Rp 2,612,880	14
43	45094	-7.0890011	110.0434497	Rp 854,808	5
44	334917	-6.9639862	110.2477266	Rp 1,773,600	9
45	345769	-7.016706567	110.4390129	Rp 780,000	4
46	51638	-7.078296635	110.0438279	Rp 505,320	3
47	82943	-6.964104425	110.2472276	Rp 1,107,420	6
48	211218	-6.92703638	110.1552191	Rp 504,600	3
49	47124	-6.967712	110.1508151	Rp 1,001,136	6
50	264647	-6.9560896	110.2582088	Rp 961,160	5
51	76870	-7.089769371	110.0432677	Rp 606,280	4
52	45763	-6.92722768	110.1553965	Rp 736,392	4
53	57625	-7.0274646	110.3129069	Rp 557,940	3
54	83078	-6.980633439	109.9249571	Rp 799,128	5

No	User ID	Latitude	Longitude	Revenue	Boxes
55	47063	-6.9632896	110.241427	Rp 781,880	4
56	45776	-6.92720728	110.1552124	Rp 2,925,136	15
57	47857	-7.03858271	110.2969007	Rp 558,792	3
58	370619	-7.003331546	110.4448004	Rp 499,080	3
59	242188	-7.089895818	110.0428835	Rp 478,508	4
60	305307	-6.966350503	110.2405774	Rp 630,240	4
61	55276	-7.053847988	110.3150915	Rp 2,396,400	12
62	45783	-6.9264867	110.1557949	Rp 755,544	4
63	46289	-6.9599361	110.2448126	Rp 847,360	5
64	268683	-6.979550531	109.9281386	Rp 566,220	3
65	188786	-6.966415396	110.1496277	Rp 593,136	4
66	239055	-7.054142462	110.317663	Rp 1,214,520	7
67	55527	-7.0896837	110.0430664	Rp 698,216	5
68	287510	-6.963865801	110.2577281	Rp 738,000	4
69	75533	-6.967042059	110.1502255	Rp 2,062,566	11
70	46908	-7.089874176	110.0426478	Rp 2,512,050	13
71	56338	-7.090027903	110.04268	Rp 2,022,000	11
72	244789	-6.966698276	110.1511062	Rp 2,020,800	11
73	45806	-6.9259834	110.1540633	Rp 1,596,000	8
74	46902	-7.0890292	110.0432716	Rp 548,774	3
75	88438	-6.929728984	110.1537375	Rp 614,040	4
76	46936	-7.089865525	110.0424433	Rp 654,000	4
77	52796	-7.089262985	110.0426679	Rp 590,160	4
78	148111	-7.059529131	110.3008466	Rp 461,910	3
79	140869	-6.972607782	109.9283998	Rp 912,600	5
80	43905	-7.0576529	110.3050587	Rp 798,690	4
81	261273	-6.9725138	109.928213	Rp 791,846	4
82	55279	-7.089127903	110.0438256	Rp 1,981,868	11
83	131040	-6.97243739	109.9285359	Rp 536,328	3
84	192261	-6.9587415	110.1426265	Rp 1,395,000	7
85	116078	-6.973316986	110.250922	Rp 2,516,760	13
86	262301	-7.0197712	110.3889476	Rp 715,656	4
87	297348	-6.957446329	110.1433265	Rp 1,131,060	6
88	185571	-6.971322187	110.2522249	Rp 1,132,708	6
89	265957	-6.972356853	109.9284889	Rp 607,200	4
90	189195	-6.965861	110.1563521	Rp 1,058,610	6
91	318167	-6.940658909	110.142266	Rp 574,440	3
92	61600	-6.9725393	109.9280674	Rp 1,212,272	7
93	256299	-7.057702749	110.305062	Rp 789,840	4
94	254271	-6.966668328	110.1558762	Rp 620,160	4
95	242054	-6.983109	110.1731	Rp 1,274,040	7
96	232401	-7.054279232	110.3001077	Rp 587,400	3
97	46213	-6.974315	110.2495109	Rp 595,200	3
98	331589	-6.9349137	110.1416145	Rp 486,840	3
99	51200	-6.977242949	110.2493797	Rp 612,720	4
100	47036	-6.9812136	110.2515353	Rp 925,420	5
101	51773	-7.0139925	110.3947171	Rp 513,480	3
102	49787	-7.0853578	110.3127647	Rp 695,480	4
103	119630	-7.094222043	110.0444603	Rp 1,704,600	9
104	46882	-7.0883289	110.0449046	Rp 666,000	4
105	208665	-7.0886366	110.0448217	Rp 899,069	6
106	45053	-7.0887626	110.0447479	Rp 748,800	4
107	368233	-6.963445804	110.2506611	Rp 1,242,600	7
108	55337	-7.08886506	110.0447868	Rp 588,600	3
109	211859	-7.069187312	110.3172808	Rp 924,480	5
110	75861	-7.084774665	110.0479683	Rp 3,057,200	16

No	User ID	Lattitude	Longitude	Revenue	Boxes
111	271212	-7.0144312	110.3962022	Rp 495,300	3
112	340043	-7.066339172	110.3127392	Rp 529,920	3
113	79254	-7.012735331	110.3854448	Rp 609,000	4
114	79369	-7.054243283	110.3156527	Rp 912,736	6
115	51648	-7.076171209	110.0446648	Rp 1,701,650	9
116	360685	-7.009822936	110.4388674	Rp 821,520	5
117	370740	-7.0130471	110.3949928	Rp 1,855,920	10
118	248277	-7.01355395	110.3937546	Rp 636,120	4

Lampiran 3: Kode Program Distance Matrix

Kode Pemrograman
<pre> Sub Distance_Matrix_Calculation() Dim wsIn As Worksheet, wsOut As Worksheet Dim srCount As Long, userCount As Long, totalPoints As Long Dim i As Long, j As Long Dim lat1 As Double, lon1 As Double, lat2 As Double, lon2 As Double Dim dist As Double Set wsIn = ThisWorkbook.Sheets("Data Input") Set wsOut = ThisWorkbook.Sheets("Distance Matrix") wsOut.Cells.Clear srCount = wsIn.Cells(wsIn.Rows.count, 10).End(xlUp).Row - 4 userCount = wsIn.Cells(wsIn.Rows.count, 4).End(xlUp).Row - 4 totalPoints = srCount + userCount Dim names() As String Dim lats() As Double Dim lons() As Double ReDim names(1 To totalPoints) ReDim lats(1 To totalPoints) ReDim lons(1 To totalPoints) ' === Collect SR For i = 1 To srCount names(i) = "SR " & i lats(i) = wsIn.Cells(i + 4, 11).Value lons(i) = wsIn.Cells(i + 4, 12).Value Next i ' === Collect Users For i = 1 To userCount names(srCount + i) = CStr(wsIn.Cells(i + 4, 4).Value) lats(srCount + i) = wsIn.Cells(i + 4, 5).Value lons(srCount + i) = wsIn.Cells(i + 4, 6).Value Next i ' === Setup display === Dim startRow As Long: startRow = 4 Dim startCol As Long: startCol = 3 ' === Colors === Dim colorHeader As Long: colorHeader = RGB(41, 117, 193) ' #2975C1 Dim colorB3 As Long: colorB3 = RGB(28, 79, 130) ' #1C4F82 Dim colorBgOuter As Long: colorBgOuter = RGB(14, 40, 65) ' #0E2841 ' === Header titles === For i = 1 To totalPoints With wsOut.Cells(startRow - 1, startCol + i - 1) .Value = names(i) .Font.Bold = True .Font.name = "Amasis MT Pro Black" .Interior.Color = colorHeader .Font.Color = vbWhite .HorizontalAlignment = xlCenter .VerticalAlignment = xlCenter End With </pre>

Kode Pemrograman

```

.WrapText = True
End With
With wsOut.Cells(startRow + i - 1, startCol - 1)
.Value = names(i)
.Font.Bold = True
.Font.name = "Amasis MT Pro Black"
.Interior.Color = colorHeader
.Font.Color = vbWhite
.HorizontalAlignment = xlCenter
.VerticalAlignment = xlCenter
.WrapText = True
End With
Next i

' === B3 cell title ===
With wsOut.Cells(startRow - 1, startCol - 1)
.Value = "Distance (km)"
.Font.Bold = True
.Font.name = "Amasis MT Pro Black"
.Interior.Color = colorB3
.Font.Color = vbWhite
.HorizontalAlignment = xlCenter
.VerticalAlignment = xlCenter
.WrapText = True
End With

' === Haversine constants ===
Dim r As Double: r = 6371 ' Earth radius in km
Dim p As Double: p = 3.14159265358979
Dim toRad As Double: toRad = p / 180
Dim dLat As Double, dLon As Double, a As Double, c As Double

' === Fill distance values ===
For i = 1 To totalPoints
    For j = 1 To totalPoints
        With wsOut.Cells(startRow + i - 1, startCol + j - 1)
            If i = j Then
                .Value = 999999
                .Font.Color = vbRed
            Else
                lat1 = lats(i): lon1 = lons(i)
                lat2 = lats(j): lon2 = lons(j)

                dLat = (lat2 - lat1) * toRad
                dLon = (lon2 - lon1) * toRad

                a = Sin(dLat / 2) ^ 2 + Cos(lat1 * toRad) * Cos(lat2 * toRad) * Sin(dLon / 2) ^ 2
                c = 2 * Atn(Sqr(a) / Sqr(1 - a))
                dist = r * c

                .Value = Round(dist, 2)
                .Font.Color = vbBlack
            End If
            .HorizontalAlignment = xlCenter
            .VerticalAlignment = xlCenter
            .WrapText = True
        End With
    Next j
Next i

```

Kode Pemrograman

```
Next i

' === Borders
With wsOut.Range(wsOut.Cells(startRow - 1, startCol - 1), _
    wsOut.Cells(startRow + totalPoints - 1, startCol + totalPoints - 1))
    .Borders.LineStyle = xlContinuous
End With

' === Background fill
wsOut.Range("A1:A135").Interior.Color = colorBgOuter
wsOut.Range("B1:ED1").Interior.Color = colorBgOuter
wsOut.Range("B2:ED2").Interior.Color = colorBgOuter

End Sub
```


Lampiran 4: Kode Program Alokasi SR

Kode Pemrograman Skenario 1

```
Sub Clustering_Users_1stScenario()

    Dim wsMatrix As Worksheet, wsIn As Worksheet, wsOut As Worksheet
    Set wsMatrix = ThisWorkbook.Sheets("Distance Matrix")
    Set wsIn = ThisWorkbook.Sheets("Data Input")
    Set wsOut = ThisWorkbook.Sheets("1st Scenario")
    wsOut.Cells.Clear

    Dim i As Long, j As Long
    Dim userStartRow As Long: userStartRow = 14
    Dim srCount As Long: srCount = 10
    Dim userCount As Long
    userCount = wsMatrix.Cells(wsMatrix.Rows.count, 2).End(xlUp).Row - userStartRow + 1

    Dim userID() As Variant, lat() As Variant, lon() As Variant, rev() As Variant, box() As Variant
    ReDim userID(1 To userCount)
    ReDim lat(1 To userCount)
    ReDim lon(1 To userCount)
    ReDim rev(1 To userCount)
    ReDim box(1 To userCount)
    Dim assignedSR() As Long: ReDim assignedSR(1 To userCount)

    ' === Read actual SR IDs from column J
    Dim srID() As Variant
    ReDim srID(1 To srCount)
    For i = 1 To srCount
        srID(i) = wsIn.Cells(5 + i - 1, 10).Value
    Next i

    ' === Read user data
    For i = 1 To userCount
        userID(i) = wsIn.Cells(i + 4, 4).Value
        lat(i) = wsIn.Cells(i + 4, 5).Value
        lon(i) = wsIn.Cells(i + 4, 6).Value
        rev(i) = wsIn.Cells(i + 4, 7).Value
        box(i) = wsIn.Cells(i + 4, 8).Value
    Next i

    ' === Assign users to nearest SR
    For i = 1 To userCount
        Dim minDist As Double: minDist = 999999
        Dim bestSR As Long: bestSR = -1
        For j = 1 To srCount
            Dim dist As Variant
            dist = wsMatrix.Cells(userStartRow + i - 1, j + 2).Value
            If IsNumeric(dist) And dist < minDist Then
                minDist = dist
                bestSR = j
            End If
        Next j
        assignedSR(i) = srID(bestSR)
    Next i

    ' === Formatting setup
    Dim fontName As String: fontName = "Amasis MT Pro Black"
    Dim headerColor As Long: headerColor = RGB(28, 79, 130)
```

Kode Pemrograman Skenario 1

```

Dim summaryHeaderColor As Long: summaryHeaderColor = RGB(41, 117, 193)
Dim summaryTitleColor As Long: summaryTitleColor = RGB(166, 201, 236)
Dim backgroundColor As Long: backgroundColor = RGB(14, 40, 65)

' === Cluster result title
With wsOut.Range("B3:H3")
    .Merge
    .Value = "Cluster Result"
    .Font.Bold = True
    .Font.name = fontName
    .Font.Color = vbBlack
    .Interior.Color = RGB(204, 224, 244)
    .HorizontalAlignment = xlCenter
    .VerticalAlignment = xlCenter
    .WrapText = True
    .Borders.LineStyle = xlContinuous
End With

Dim startRow As Long: startRow = 5
Dim startCol As Long: startCol = 3
Dim summaryRow As Long: summaryRow = 4
Dim summaryCol As Long: summaryCol = 10

' === Headers
Dim headers As Variant
headers = Array("No", "User ID", "Latitude", "Longitude", "Revenue", "Boxes", "Sales Representative")
For i = 0 To UBound(headers)
    With wsOut.Cells(startRow - 1, startCol + i - 1)
        .Value = headers(i)
        .Font.Bold = True
        .Font.name = fontName
        .Font.Color = vbWhite
        .Interior.Color = headerColor
        .HorizontalAlignment = xlCenter
        .VerticalAlignment = xlCenter
        .WrapText = True
    End With
Next i

' === Write user data
For i = 1 To userCount
    wsOut.Cells(startRow + i - 1, startCol - 1).Value = i
    wsOut.Cells(startRow + i - 1, startCol).Value = userID(i)
    wsOut.Cells(startRow + i - 1, startCol + 1).Value = lat(i)
    wsOut.Cells(startRow + i - 1, startCol + 2).Value = lon(i)
    wsOut.Cells(startRow + i - 1, startCol + 3).Value = rev(i)
    wsOut.Cells(startRow + i - 1, startCol + 4).Value = box(i)
    wsOut.Cells(startRow + i - 1, startCol + 5).Value = assignedSR(i)
Next i

' === Centering
Dim centerCols As Variant
centerCols = Array(startCol - 1, startCol + 4, startCol + 5)
For i = 0 To UBound(centerCols)
    wsOut.Range(wsOut.Cells(startRow, centerCols(i)), wsOut.Cells(startRow + userCount - 1, centerCols(i))).HorizontalAlignment = xlCenter
Next i

```

Kode Pemrograman Skenario 1

```
wsOut.Range(wsOut.Cells(startRow - 1, startCol - 1), wsOut.Cells(startRow + userCount - 1, startCol + 5)).Borders.LineStyle = xlContinuous
```

```
' === Prepare summary dictionary
```

```
Dim summary As Object
```

```
Set summary = CreateObject("Scripting.Dictionary")
```

```
For i = 1 To userCount
```

```
    Dim srKey As String
```

```
    srKey = CStr(assignedSR(i))
```

```
    If Not summary.exists(srKey) Then
```

```
        summary(srKey) = Array(0, 0, 0)
```

```
    End If
```

```
    Dim data As Variant
```

```
    data = summary(srKey)
```

```
    data(0) = data(0) + 1
```

```
    data(1) = data(1) + rev(i)
```

```
    data(2) = data(2) + box(i)
```

```
    summary(srKey) = data
```

```
Next i
```

```
' === Summary title
```

```
With wsOut.Range(wsOut.Cells(3, summaryCol), wsOut.Cells(3, summaryCol + 3))
```

```
    .Merge
```

```
    .Value = "Summary Result"
```

```
    .Font.Bold = True
```

```
    .Font.name = fontName
```

```
    .Font.Color = vbBlack
```

```
    .Interior.Color = summaryTitleColor
```

```
    .HorizontalAlignment = xlCenter
```

```
    .VerticalAlignment = xlCenter
```

```
    .WrapText = True
```

```
    .Borders.LineStyle = xlContinuous
```

```
End With
```

```
' === Summary headers
```

```
wsOut.Cells(summaryRow, summaryCol).Value = "Sales Representative"
```

```
wsOut.Cells(summaryRow, summaryCol + 1).Value = "Total Users"
```

```
wsOut.Cells(summaryRow, summaryCol + 2).Value = "Total Revenue"
```

```
wsOut.Cells(summaryRow, summaryCol + 3).Value = "Total Boxes"
```

```
For i = 0 To 3
```

```
    With wsOut.Cells(summaryRow, summaryCol + i)
```

```
        .Font.Bold = True
```

```
        .Font.name = fontName
```

```
        .Font.Color = vbWhite
```

```
        .Interior.Color = summaryHeaderColor
```

```
        .HorizontalAlignment = xlCenter
```

```
        .VerticalAlignment = xlCenter
```

```
        .WrapText = True
```

```
    End With
```

```
Next i
```

```
' === Sort summary keys
```

```
Dim srKeys() As Variant
```

```
srKeys = summary.Keys
```

```
Dim temp As Variant, a As Variant
```

```
For i = LBound(srKeys) To UBound(srKeys) - 1
```

```
    For j = i + 1 To UBound(srKeys)
```

```
        If CLng(srKeys(i)) > CLng(srKeys(j)) Then
```

Kode Pemrograman Skenario 1

```

        temp = srKeys(i)
        srKeys(i) = srKeys(j)
        srKeys(j) = temp
    End If
Next j
Next i

' === Write sorted summary
Dim srIndex As Long: srIndex = 1
For Each a In srKeys
    Dim s As Variant
    s = summary(a)
    wsOut.Cells(summaryRow + srIndex, summaryCol).Value = a
    wsOut.Cells(summaryRow + srIndex, summaryCol + 1).Value = s(0)
    wsOut.Cells(summaryRow + srIndex, summaryCol + 2).Value = s(1)
    wsOut.Cells(summaryRow + srIndex, summaryCol + 3).Value = s(2)
    srIndex = srIndex + 1
Next

' === Final formatting
wsOut.Range(wsOut.Cells(summaryRow, summaryCol), wsOut.Cells(summaryRow + srIndex - 1,
summaryCol + 3)).Borders.LineStyle = xlContinuous
wsOut.Range(wsOut.Cells(summaryRow + 1, summaryCol), wsOut.Cells(summaryRow + srIndex - 1,
summaryCol + 3)).HorizontalAlignment = xlCenter
wsOut.Range(wsOut.Cells(startRow, startCol + 3), wsOut.Cells(startRow + userCount - 1, startCol +
3)).NumberFormat = "Rp #,##0"
wsOut.Range(wsOut.Cells(summaryRow + 1, summaryCol + 2), wsOut.Cells(summaryRow + srIndex - 1,
summaryCol + 2)).NumberFormat = "Rp #,##0"

' === Background fill
wsOut.Range("A1:A160").Interior.Color = backgroundColor
wsOut.Range("I1:I160").Interior.Color = backgroundColor
wsOut.Range("B1:N2").Interior.Color = backgroundColor
wsOut.Range("N1:N160").Interior.Color = backgroundColor
wsOut.Range("J15:M160").Interior.Color = backgroundColor
wsOut.Range("B123:H160").Interior.Color = backgroundColor

End Sub

```

Lampiran 5: Kode Program Optimasi Rute

Kode Pemrograman Skenario 1

```

Sub TSP_1stScenario()

    Dim wsDist As Worksheet, wsScenario As Worksheet, wsOut As Worksheet
    Set wsDist = ThisWorkbook.Sheets("Distance Matrix")
    Set wsScenario = ThisWorkbook.Sheets("1st Scenario")
    Set wsOut = wsScenario

    Dim lastRow As Long
    lastRow = wsScenario.Cells(wsScenario.Rows.count, 3).End(xlUp).Row

    Dim srCount As Long
    srCount = WorksheetFunction.Max(wsScenario.Range("H5:H" & lastRow))

    Dim currentRow As Long: currentRow = 4
    Dim currentCol As Long: currentCol = 17 ' Column Q
    Dim fontName As String: fontName = "Amasis MT Pro Black"

    ' Formatting backgrounds
    wsOut.Range("O1:AC160").Interior.Color = RGB(21, 96, 130)
    wsOut.Range("O1:O160").Interior.Color = RGB(128, 128, 128)
    wsOut.Range("O1:O160").Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlContinuous
    wsOut.Range("O1:O160").Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlContinuous

    ' Title
    With wsOut.Range(wsOut.Cells(3, currentCol), wsOut.Cells(3, currentCol + 11))
        .Merge
        .Value = "Sales Representative Allocation"
        .Font.Bold = True
        .Font.name = fontName
        .Font.Color = vbBlack
        .Interior.Color = RGB(166, 201, 236)
        .HorizontalAlignment = xlCenter
        .VerticalAlignment = xlCenter
        .WrapText = True
        .Borders.LineStyle = xlContinuous
    End With

    Dim summary(1 To 100, 1 To 7) As Variant ' Updated to include Total Distance

    Dim sr As Long
    For sr = 1 To srCount
        Dim srName As String
        srName = "SR " & sr

        Dim userList As Collection: Set userList = New Collection
        Dim rowMap As Collection: Set rowMap = New Collection
        Dim i As Long
        For i = 5 To lastRow
            If wsScenario.Cells(i, 8).Value = sr Then
                userList.Add wsScenario.Cells(i, 3).Value
                rowMap.Add i
            End If
        Next i

        If userList.count = 0 Then GoTo SkipSR
    
```

Kode Pemrograman Skenario 1

```

wsOut.Cells(currentRow, currentCol).Value = "Optimized Route for SR " & sr
With wsOut.Cells(currentRow, currentCol)
    .Font.Bold = True
    .Font.name = fontName
    .Font.Size = 11
End With

Dim headers As Variant
headers = Array("Order", "User ID", "Latitude", "Longitude", "Revenue", "Boxes", "Distance (km)",
"Travel Time", "Loading", "Unloading", "Check-in", "Check-out")
Dim j As Long
For j = 0 To UBound(headers)
    With wsOut.Cells(currentRow + 1, currentCol + j)
        .Value = headers(j)
        .Font.Bold = True
        .Font.name = fontName
        .Interior.Color = RGB(28, 79, 130)
        .Font.Color = vbWhite
        .HorizontalAlignment = xlCenter
    End With
Next j

Dim visited() As Boolean: ReDim visited(1 To userList.count)
Dim route() As Long: ReDim route(1 To userList.count)
Dim routeDist() As Double: ReDim routeDist(1 To userList.count)

Dim currLabel As String: currLabel = srName
Dim stepIndex As Long

For stepIndex = 1 To userList.count
    Dim minDist As Double: minDist = 999999
    Dim bestIdx As Long: bestIdx = -1
    Dim bestRevenue As Double: bestRevenue = -1

    For j = 1 To userList.count
        If Not visited(j) Then
            Dim targetID As String: targetID = CStr(userList(j))
            Dim distVal As Variant
            distVal = Application.WorksheetFunction.Index(wsDist.Range("B3").CurrentRegion, _
                GetRowIndex(wsDist, currLabel), GetColIndex(wsDist, targetID))
            If IsNumeric(distVal) Then
                Dim revRow As Long: revRow = rowMap(j)
                Dim revenue As Double: revenue = wsScenario.Cells(revRow, 6).Value
                If distVal < minDist Or (distVal = minDist And revenue > bestRevenue) Then
                    minDist = distVal
                    bestIdx = j
                    bestRevenue = revenue
                End If
            End If
        End If
    Next j

    If bestIdx = -1 Then Exit For

    visited(bestIdx) = True
    route(stepIndex) = bestIdx
    routeDist(stepIndex) = minDist
    currLabel = CStr(userList(bestIdx))

```

Kode Pemrograman Skenario 1

```

Next stepIndex

Randomize
Dim checkinTime As Date: checkinTime = TimeValue("08:15:00")
Dim lunchStart As Date: lunchStart = TimeValue("12:00:00")
Dim lunchEnd As Date: lunchEnd = TimeValue("13:00:00")

Dim totalRevenue As Double: totalRevenue = 0
Dim totalBoxes As Long: totalBoxes = 0
Dim totalDistance As Double: totalDistance = 0
Dim finalCheckout As Date

For i = 1 To userList.count
    Dim srcRow As Long: srcRow = rowMap(route(i))
    Dim distance As Double: distance = routeDist(i)
    totalDistance = totalDistance + distance

    Dim travelMin As Double: travelMin = distance * 10
    Dim loadingMin As Double: loadingMin = WorksheetFunction.RandBetween(20, 100) / 10
    Dim unloadingMin As Double: unloadingMin = WorksheetFunction.RandBetween(20, 100) / 10

    Dim travelTime As Date: travelTime = TimeSerial(0, Int(travelMin), (travelMin - Int(travelMin)) *
60)
    Dim loadingTime As Date: loadingTime = TimeSerial(0, Int(loadingMin), (loadingMin -
Int(loadingMin)) * 60)
    Dim unloadingTime As Date: unloadingTime = TimeSerial(0, Int(unloadingMin), (unloadingMin -
Int(unloadingMin)) * 60)

    If i = 1 Then
        ' First order: travel time starts from base time
        checkinTime = TimeValue("08:15:00") + travelTime
    Else
        checkinTime = checkOutTime + travelTime
    End If

    If checkinTime >= lunchStart And checkinTime < lunchEnd Then checkinTime = lunchEnd

    checkOutTime = checkinTime + loadingTime + unloadingTime
    finalCheckout = checkOutTime

With wsOut
    .Cells(currentRow + 1 + i, currentCol).Value = i
    .Cells(currentRow + 1 + i, currentCol + 1).Value = wsScenario.Cells(srcRow, 3).Value
    .Cells(currentRow + 1 + i, currentCol + 2).Value = wsScenario.Cells(srcRow, 4).Value
    .Cells(currentRow + 1 + i, currentCol + 3).Value = wsScenario.Cells(srcRow, 5).Value
    .Cells(currentRow + 1 + i, currentCol + 4).Value = wsScenario.Cells(srcRow, 6).Value
    .Cells(currentRow + 1 + i, currentCol + 4).NumberFormat = "Rp #,##0"
    .Cells(currentRow + 1 + i, currentCol + 5).Value = wsScenario.Cells(srcRow, 7).Value
    .Cells(currentRow + 1 + i, currentCol + 6).Value = distance
    .Cells(currentRow + 1 + i, currentCol + 7).Value = travelTime
    .Cells(currentRow + 1 + i, currentCol + 8).Value = loadingTime
    .Cells(currentRow + 1 + i, currentCol + 9).Value = unloadingTime
    .Cells(currentRow + 1 + i, currentCol + 10).Value = checkinTime
    .Cells(currentRow + 1 + i, currentCol + 11).Value = checkOutTime

    .Range(.Cells(currentRow + 1 + i, currentCol), .Cells(currentRow + 1 + i, currentCol +
11)).Interior.Color = vbWhite

```

Kode Pemrograman Skenario 1

```

        .Range(.Cells(currentRow + 1 + i, currentCol + 7), .Cells(currentRow + 1 + i, currentCol +
11)).NumberFormat = "hh:mm:ss"
        .Range(.Cells(currentRow + 1 + i, currentCol), .Cells(currentRow + 1 + i, currentCol +
11)).Borders.LineStyle = xlContinuous
        .Range(.Cells(currentRow + 1 + i, currentCol), .Cells(currentRow + 1 + i, currentCol +
11)).HorizontalAlignment = xlCenter
        .Range(.Cells(currentRow + 1 + i, currentCol), .Cells(currentRow + 1 + i, currentCol +
11)).VerticalAlignment = xlCenter
    End With

    checkinTime = checkOutTime + travelTime
    totalRevenue = totalRevenue + wsScenario.Cells(srcRow, 6).Value
    totalBoxes = totalBoxes + wsScenario.Cells(srcRow, 7).Value
Next i

Dim totalDuration As Double: totalDuration = finalCheckout - TimeValue("08:00:00")

summary(sr, 1) = sr
summary(sr, 2) = userList.count
summary(sr, 3) = totalRevenue
summary(sr, 4) = totalBoxes
summary(sr, 5) = totalDistance
summary(sr, 6) = totalDuration
summary(sr, 7) = (totalDuration - TimeSerial(1, 0, 0)) / TimeSerial(8, 0, 0)

currentRow = currentRow + userList.count + 4

SkipSR:
Next sr

' Summary Table
With wsOut.Range("AD1:AK2")
    .Interior.Color = RGB(21, 96, 130)
End With
wsOut.Range("AD15:AK160").Interior.Color = RGB(21, 96, 130)
wsOut.Range("AK3:AK14").Interior.Color = RGB(21, 96, 130)
wsOut.Range("AD3:AJ3").Merge
With wsOut.Range("AD3")
    .Value = "Sales Representative Utilization"
    .Font.Bold = True
    .Font.name = fontName
    .Font.Color = vbBlack
    .Interior.Color = RGB(204, 224, 244)
    .HorizontalAlignment = xlCenter
    .VerticalAlignment = xlCenter
End With

Dim headers2 As Variant
headers2 = Array("Sales Representative", "Total Users", "Total Revenue", "Total Boxes", "Total Distance",
"Total Duration", "Utilization")
Dim k As Long
For k = 0 To UBound(headers2)
    With wsOut.Cells(4, 30 + k)
        .Value = headers2(k)
        .Font.Bold = True
        .Font.name = fontName
        .Interior.Color = RGB(41, 117, 193)
        .Font.Color = vbWhite
    End With

```


Kode Pemrograman Skenario 1

```

        .HorizontalAlignment = xlCenter
        .VerticalAlignment = xlCenter
        .Borders.LineStyle = xlContinuous
    End With
Next k

For sr = 1 To srCount
    For k = 0 To 6
        With wsOut.Cells(4 + sr, 30 + k)
            .Borders.LineStyle = xlContinuous
            .HorizontalAlignment = xlCenter
            .VerticalAlignment = xlCenter
        End With
    Next k
    wsOut.Cells(4 + sr, 30).Value = summary(sr, 1)
    wsOut.Cells(4 + sr, 31).Value = summary(sr, 2)
    wsOut.Cells(4 + sr, 32).Value = summary(sr, 3)
    wsOut.Cells(4 + sr, 32).NumberFormat = "Rp #,##0"
    wsOut.Cells(4 + sr, 33).Value = summary(sr, 4)
    wsOut.Cells(4 + sr, 34).Value = summary(sr, 5)
    wsOut.Cells(4 + sr, 35).Value = summary(sr, 6)
    wsOut.Cells(4 + sr, 35).NumberFormat = "hh:mm:ss"
    wsOut.Cells(4 + sr, 36).Value = summary(sr, 7)
    wsOut.Cells(4 + sr, 36).NumberFormat = "0.00%"
Next sr

End Sub

Function GetRowIndex(ws As Worksheet, name As String) As Long
    Dim i As Long
    For i = 4 To ws.Cells(ws.Rows.count, 2).End(xlUp).Row
        If CStr(ws.Cells(i, 2).Value) = name Then
            GetRowIndex = i - 2
            Exit Function
        End If
    Next i
    GetRowIndex = 0
End Function

Function GetColIndex(ws As Worksheet, name As String) As Long
    Dim j As Long
    For j = 3 To ws.Cells(3, ws.Columns.count).End(xlToLeft).Column
        If CStr(ws.Cells(3, j).Value) = name Then
            GetColIndex = j - 1
            Exit Function
        End If
    Next j
    GetColIndex = 0
End Function

```

Lampiran 6: Kode Program *Best Scenario*

Kode Pemrograman
<pre> Sub FindBestScenario_And_CopyLayout() Dim ws As Worksheet Set ws = ThisWorkbook.Sheets("Summary") Dim minCost As Double: minCost = 1E+20 Dim bestScenario As String Dim i As Long ' Step 1: Find the best scenario based on minimum total cost For i = 14 To 19 Dim rawCost As String rawCost = ws.Cells(i, 7).Text ' Column G = Total Cost If InStr(1, rawCost, "Not Feasible", vbTextCompare) = 0 Then rawCost = Replace(rawCost, "Rp", "") rawCost = Replace(rawCost, ",", "") rawCost = Trim(rawCost) If IsNumeric(rawCost) Then If CDBl(rawCost) < minCost Then minCost = CDBl(rawCost) End If End If End If Next i ' Step 2: Get scenario name For i = 14 To 19 Dim checkCost As String checkCost = ws.Cells(i, 7).Text If InStr(1, checkCost, "Not Feasible", vbTextCompare) = 0 Then checkCost = Replace(checkCost, "Rp", "") checkCost = Replace(checkCost, ",", "") checkCost = Trim(checkCost) If IsNumeric(checkCost) Then If CDBl(checkCost) = minCost Then bestScenario = ws.Cells(i, 2).Value ' Column B = Scenario name Exit For End If End If End If Next i ' Step 3: Output best scenario to D22 If bestScenario <> "" Then ws.Range("D22").Value = bestScenario Else MsgBox "Could not determine best scenario.", vbExclamation Exit Sub End If ' Step 4: Copy range from corresponding scenario sheet to Summary!K1 Dim wsSource As Worksheet On Error Resume Next </pre>

Kode Pemrograman

```
Set wsSource = ThisWorkbook.Sheets(bestScenario)
On Error GoTo 0

If wsSource Is Nothing Then
    MsgBox "Sheet " & bestScenario & " not found.", vbCritical
    Exit Sub
End If

wsSource.Range("P1:AK160").Copy Destination:=ws.Range("J1")

MsgBox "Best scenario is: " & bestScenario, vbInformation
End Sub
```

Lampiran 7: Kode Program *Run All Module*

Kode Pemrograman
<pre>Sub Run_All_Scenarios() ' Step 1: Hitung distance matrix Call Distance_Matrix_Calculation ' Step 2: Clustering per skenario Call Clustering_Users_1stScenario Call Clustering_Users_2ndScenario Call Clustering_Users_3rdScenario Call Clustering_Users_4thScenario Call Clustering_Users_5thScenario Call Clustering_Users_6thScenario ' Step 3: TSP optimization per skenario Call TSP_1stScenario Call TSP_2ndScenario Call TSP_3rdScenario Call TSP_4thScenario Call TSP_5thScenario Call TSP_6thScenario ' Step 4: Menentukan skenario terbaik dan copy layout ke Summary Call FindBestScenario_And_CopyLayout ' Pindahkan tampilan ke Summary With Sheets("Summary") .Activate .Range("A1").Select End With MsgBox "SR Allocation & Route Optimization is Done!", vbInformation End Sub</pre>

Lampiran 8: Hasil Alokasi SR Skenario Terbaik

<i>No</i>	<i>User ID</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Revenue</i>	<i>Boxes</i>	<i>Sales Representative</i>
1	154573	-6.9710671	110.2568787	Rp 481,680	3	1
2	248305	-7.013361278	110.3964553	Rp 575,580	3	4
3	100405	-7.008122479	110.2612656	Rp 939,930	5	1
4	100354	-6.965702884	110.1584709	Rp 625,656	4	5
5	367268	-6.963094696	110.259548	Rp 568,905	3	1
6	277402	-6.964053517	110.2715616	Rp 503,520	3	1
7	63726	-6.9917373	109.9187082	Rp 752,493	4	6
8	83397	-7.003349033	110.4341083	Rp 576,690	3	4
9	262438	-6.974640831	110.1496575	Rp 688,776	4	5
10	260852	-7.091898742	110.0377836	Rp 900,274	6	2
11	79924	-7.003147852	110.4339583	Rp 513,600	3	4
12	53603	-6.926039923	110.1602714	Rp 685,272	4	5
13	50077	-6.926145437	110.1603686	Rp 811,392	5	5
14	51077	-6.971965487	110.2732426	Rp 1,397,040	7	1
15	272569	-7.0032835	110.4336473	Rp 1,348,450	8	4
16	105911	-7.008251261	110.2610715	Rp 491,520	3	1
17	50155	-6.972823773	110.1500391	Rp 1,384,800	7	5
18	247417	-7.012831833	110.3962813	Rp 768,960	4	4
19	186252	-6.927766635	110.1582097	Rp 599,601	4	5
20	370494	-7.074505264	110.3361223	Rp 511,440	3	3
21	49580	-6.971869	110.1500921	Rp 898,492	5	5
22	370484	-7.003470646	110.4333393	Rp 608,760	4	4
23	263041	-7.087144276	110.0218419	Rp 1,471,140	8	2
24	44344	-7.075592936	110.335714	Rp 261,300	2	3
25	58683	-7.0902116	110.0386422	Rp 670,575	4	2
26	331887	-6.9910149	109.9230166	Rp 1,754,276	10	6
27	46943	-7.0899168	110.039081	Rp 1,435,950	8	2
28	43774	-6.9904622	110.2557092	Rp 2,093,280	11	1
29	55615	-7.090422965	110.0392989	Rp 582,940	3	2
30	56665	-6.964041853	110.2475974	Rp 511,920	3	1
31	345323	-7.013716662	110.4397686	Rp 656,754	4	4
32	61031	-7.090167295	110.0395585	Rp 794,088	5	2
33	52813	-7.090390548	110.0397657	Rp 960,000	5	2
34	45154	-7.0905052	110.0390835	Rp 1,306,067	7	2
35	157212	-6.960094798	110.2566964	Rp 681,600	4	1
36	56653	-6.964068477	110.2476296	Rp 798,000	4	1
37	313907	-6.9865915	109.9268153	Rp 1,406,400	8	6
38	56648	-6.963825864	110.2477234	Rp 930,624	5	1
39	335808	-7.002882966	110.4335137	Rp 800,700	5	4
40	51897	-7.0800013	110.3263556	Rp 1,022,400	6	3
41	36429	-6.986093168	109.9320942	Rp 988,324	6	6
42	55354	-7.090283747	110.0399676	Rp 2,612,880	14	2
43	45094	-7.0890011	110.0434497	Rp 854,808	5	2

44	334917	-6.9639862	110.2477266	Rp 1,773,600	9	1
45	345769	-7.016706567	110.4390129	Rp 780,000	4	4
46	51638	-7.078296635	110.0438279	Rp 505,320	3	2
47	82943	-6.964104425	110.2472276	Rp 1,107,420	6	1
48	211218	-6.92703638	110.1552191	Rp 504,600	3	5
49	47124	-6.967712	110.1508151	Rp 1,001,136	6	5
50	264647	-6.9560896	110.2582088	Rp 961,160	5	1
51	76870	-7.089769371	110.0432677	Rp 606,280	4	2
52	45763	-6.92722768	110.1553965	Rp 736,392	4	5
53	57625	-7.0274646	110.3129069	Rp 557,940	3	3
54	83078	-6.980633439	109.9249571	Rp 799,128	5	6
55	47063	-6.9632896	110.241427	Rp 781,880	4	1
56	45776	-6.92720728	110.1552124	Rp 2,925,136	15	5
57	47857	-7.03858271	110.2969007	Rp 558,792	3	3
58	370619	-7.003331546	110.4448004	Rp 499,080	3	4
59	242188	-7.089895818	110.0428835	Rp 478,508	4	2
60	305307	-6.966350503	110.2405774	Rp 630,240	4	1
61	55276	-7.053847988	110.3150915	Rp 2,396,400	12	3
62	45783	-6.9264867	110.1557949	Rp 755,544	4	5
63	46289	-6.9599361	110.2448126	Rp 847,360	5	1
64	268683	-6.979550531	109.9281386	Rp 566,220	3	6
65	188786	-6.966415396	110.1496277	Rp 593,136	4	5
66	239055	-7.054142462	110.317663	Rp 1,214,520	7	3
67	55527	-7.0896837	110.0430664	Rp 698,216	5	2
68	287510	-6.963865801	110.2577281	Rp 738,000	4	1
69	75533	-6.967042059	110.1502255	Rp 2,062,566	11	5
70	46908	-7.089874176	110.0426478	Rp 2,512,050	13	2
71	56338	-7.090027903	110.04268	Rp 2,022,000	11	2
72	244789	-6.966698276	110.1511062	Rp 2,020,800	11	5
73	45806	-6.9259834	110.1540633	Rp 1,596,000	8	5
74	46902	-7.0890292	110.0432716	Rp 548,774	3	2
75	88438	-6.929728984	110.1537375	Rp 614,040	4	5
76	46936	-7.089865525	110.0424433	Rp 654,000	4	2
77	52796	-7.089262985	110.0426679	Rp 590,160	4	2
78	148111	-7.059529131	110.3008466	Rp 461,910	3	3
79	140869	-6.972607782	109.9283998	Rp 912,600	5	6
80	43905	-7.0576529	110.3050587	Rp 798,690	4	3
81	261273	-6.9725138	109.928213	Rp 791,846	4	6
82	55279	-7.089127903	110.0438256	Rp 1,981,868	11	2
83	131040	-6.97243739	109.9285359	Rp 536,328	3	6
84	192261	-6.9587415	110.1426265	Rp 1,395,000	7	5
85	116078	-6.973316986	110.250922	Rp 2,516,760	13	1
86	262301	-7.0197712	110.3889476	Rp 715,656	4	4
87	297348	-6.957446329	110.1433265	Rp 1,131,060	6	5
88	185571	-6.971322187	110.2522249	Rp 1,132,708	6	1
89	265957	-6.972356853	109.9284889	Rp 607,200	4	6

90	189195	-6.965861	110.1563521	Rp 1,058,610	6	5
91	318167	-6.940658909	110.142266	Rp 574,440	3	5
92	61600	-6.9725393	109.9280674	Rp 1,212,272	7	6
93	256299	-7.057702749	110.305062	Rp 789,840	4	3
94	254271	-6.966668328	110.1558762	Rp 620,160	4	5
95	242054	-6.983109	110.1731	Rp 1,274,040	7	5
96	232401	-7.054279232	110.3001077	Rp 587,400	3	3
97	46213	-6.974315	110.2495109	Rp 595,200	3	1
98	331589	-6.9349137	110.1416145	Rp 486,840	3	5
99	51200	-6.977242949	110.2493797	Rp 612,720	4	1
100	47036	-6.9812136	110.2515353	Rp 925,420	5	1
101	51773	-7.0139925	110.3947171	Rp 513,480	3	4
102	49787	-7.0853578	110.3127647	Rp 695,480	4	3
103	119630	-7.094222043	110.0444603	Rp 1,704,600	9	2
104	46882	-7.0883289	110.0449046	Rp 666,000	4	2
105	208665	-7.0886366	110.0448217	Rp 899,069	6	2
106	45053	-7.0887626	110.0447479	Rp 748,800	4	2
107	368233	-6.963445804	110.2506611	Rp 1,242,600	7	1
108	55337	-7.08886506	110.0447868	Rp 588,600	3	2
109	211859	-7.069187312	110.3172808	Rp 924,480	5	3
110	75861	-7.084774665	110.0479683	Rp 3,057,200	16	2
111	271212	-7.0144312	110.3962022	Rp 495,300	3	4
112	340043	-7.066339172	110.3127392	Rp 529,920	3	3
113	79254	-7.012735331	110.3854448	Rp 609,000	4	4
114	79369	-7.054243283	110.3156527	Rp 912,736	6	3
115	51648	-7.076171209	110.0446648	Rp 1,701,650	9	2
116	360685	-7.009822936	110.4388674	Rp 821,520	5	4
117	370740	-7.0130471	110.3949928	Rp 1,855,920	10	4
118	248277	-7.01355395	110.3937546	Rp 636,120	4	4

Lampiran 9: Hasil Rute Kunjungan SR Skenario Terbaik

Sales representative 1

Order	User ID	Latitude	Longitude	Revenue	Boxes	Distance (km)	Travel Time	Loading	Unloading	Check-in	Check-out
1	154573	-6.9710671	110.256879	Rp 481,680	3	0.03	00:00:18	00:08:24	00:07:48	08:15:18	08:31:30
2	185571	-6.9713222	110.252225	Rp 1,132,708	6	0.51	00:05:06	00:05:12	00:02:24	08:36:36	08:44:12
3	116078	-6.973317	110.250922	Rp 2,516,760	13	0.26	00:02:36	00:05:48	00:05:06	08:46:48	08:57:42
4	46213	-6.974315	110.249511	Rp 595,200	3	0.19	00:01:54	00:04:54	00:03:06	08:59:36	09:07:36
5	51200	-6.9772429	110.24938	Rp 612,720	4	0.33	00:03:18	00:04:30	00:07:36	09:10:54	09:23:00
6	47036	-6.9812136	110.251535	Rp 925,420	5	0.5	00:05:00	00:08:00	00:04:18	09:28:00	09:40:18
7	43774	-6.9904622	110.255709	Rp 2,093,280	11	1.13	00:11:18	00:06:36	00:09:06	09:51:36	10:07:18
8	100405	-7.0081225	110.261266	Rp 939,930	5	2.06	00:20:36	00:05:48	00:07:00	10:27:54	10:40:42
9	105911	-7.0082513	110.261071	Rp 491,520	3	0.03	00:00:18	00:02:54	00:07:24	10:41:00	10:51:18
10	51077	-6.9719655	110.273243	Rp 1,397,040	7	4.25	00:42:30	00:09:18	00:09:12	11:33:48	11:52:18
11	277402	-6.9640535	110.271562	Rp 503,520	3	0.9	00:09:00	00:07:18	00:04:54	13:00:00	13:12:12
12	367268	-6.9630947	110.259548	Rp 568,905	3	1.33	00:13:18	00:02:12	00:08:30	13:25:30	13:36:12
13	287510	-6.9638658	110.257728	Rp 738,000	4	0.22	00:02:12	00:09:00	00:02:06	13:38:24	13:49:30
14	157212	-6.9600948	110.256696	Rp 681,600	4	0.43	00:04:18	00:07:36	00:08:36	13:53:48	14:10:00
15	264647	-6.9560896	110.258209	Rp 961,160	5	0.48	00:04:48	00:07:12	00:07:18	14:14:48	14:29:18
16	368233	-6.9634458	110.250661	Rp 1,242,600	7	1.17	00:11:42	00:04:06	00:06:54	14:41:00	14:52:00
17	334917	-6.9639862	110.247727	Rp 1,773,600	9	0.33	00:03:18	00:09:48	00:05:30	14:55:18	15:10:36
18	56653	-6.9640685	110.24763	Rp 798,000	4	0.01	00:00:06	00:07:00	00:05:30	15:10:42	15:23:12
19	56665	-6.9640419	110.247597	Rp 511,920	3	0	00:00:00	00:06:06	00:07:12	15:23:12	15:36:30
20	56648	-6.9638259	110.247723	Rp 930,624	5	0.03	00:00:18	00:06:24	00:04:54	15:36:48	15:48:06
21	82943	-6.9641044	110.247228	Rp 1,107,420	6	0.06	00:00:36	00:04:30	00:06:24	15:48:42	15:59:36
22	46289	-6.9599361	110.244813	Rp 847,360	5	0.53	00:05:18	00:06:24	00:08:30	16:04:54	16:19:48
23	47063	-6.9632896	110.241427	Rp 781,880	4	0.53	00:05:18	00:05:54	00:05:42	16:25:06	16:36:42
24	305307	-6.9663505	110.240577	Rp 630,240	4	0.35	00:03:30	00:04:54	00:03:42	16:40:12	16:48:48

Sales representative 2

Order	User ID	Latitude	Longitude	Revenue	Boxes	Distance (km)	Travel Time	Loading	Unloading	Check-in	Check-out
1	260852	-7.0918987	110.037784	Rp 900,274	6	0.07	00:00:42	00:07:42	00:08:42	08:15:42	08:32:06
2	45154	-7.0905052	110.039084	Rp 1,306,067	7	0.21	00:02:06	00:03:24	00:04:36	08:34:12	08:42:12
3	55615	-7.090423	110.039299	Rp 582,940	3	0.03	00:00:18	00:06:18	00:04:48	08:42:30	08:53:36
4	61031	-7.0901673	110.039559	Rp 794,088	5	0.04	00:00:24	00:02:12	00:03:42	08:54:00	08:59:54
5	52813	-7.0903905	110.039766	Rp 960,000	5	0.03	00:00:18	00:02:54	00:03:18	09:00:12	09:06:24
6	55354	-7.0902837	110.039968	Rp 2,612,880	14	0.03	00:00:18	00:07:18	00:09:42	09:06:42	09:23:42
7	46943	-7.0899168	110.039081	Rp 1,435,950	8	0.11	00:01:06	00:07:54	00:04:12	09:24:48	09:36:54
8	58683	-7.0902116	110.038642	Rp 670,575	4	0.06	00:00:36	00:07:30	00:06:30	09:37:30	09:51:30
9	46936	-7.0898655	110.042443	Rp 654,000	4	0.42	00:04:12	00:08:30	00:06:42	09:55:42	10:10:54
10	46908	-7.0898742	110.042648	Rp 2,512,050	13	0.02	00:00:12	00:09:18	00:09:48	10:11:06	10:30:12
11	56338	-7.0900279	110.04268	Rp 2,022,000	11	0.02	00:00:12	00:03:06	00:02:00	10:30:24	10:35:30
12	242188	-7.0898958	110.042883	Rp 478,508	4	0.03	00:00:18	00:09:42	00:09:36	10:35:48	10:55:06
13	55527	-7.0896837	110.043066	Rp 698,216	5	0.03	00:00:18	00:05:36	00:05:54	10:55:24	11:06:54
14	76870	-7.0897694	110.043268	Rp 606,280	4	0.02	00:00:12	00:07:36	00:04:30	11:07:06	11:19:12
15	46902	-7.0890292	110.043272	Rp 548,774	3	0.08	00:00:48	00:09:54	00:07:24	11:20:00	11:37:18
16	45094	-7.0890011	110.04345	Rp 854,808	5	0.02	00:00:12	00:04:18	00:07:54	11:37:30	11:49:42
17	55279	-7.0891279	110.043826	Rp 1,981,868	11	0.04	00:00:24	00:04:54	00:02:06	11:50:06	11:57:06
18	45053	-7.0887626	110.044748	Rp 748,800	4	0.11	00:01:06	00:04:12	00:09:30	11:58:12	12:11:54
19	55337	-7.0888651	110.044787	Rp 588,600	3	0.01	00:00:06	00:05:42	00:06:12	13:00:00	13:11:54
20	208665	-7.0886366	110.044822	Rp 899,069	6	0.03	00:00:18	00:05:18	00:04:24	13:12:12	13:21:54
21	46882	-7.0883289	110.044905	Rp 666,000	4	0.04	00:00:24	00:05:36	00:02:48	13:22:18	13:30:42
22	52796	-7.089263	110.042668	Rp 590,160	4	0.27	00:02:42	00:07:30	00:07:54	13:33:24	13:48:48
23	119630	-7.094222	110.04446	Rp 1,704,600	9	0.59	00:05:54	00:02:00	00:10:00	13:54:42	14:06:42
24	75861	-7.0847747	110.047968	Rp 3,057,200	16	1.12	00:11:12	00:05:00	00:04:12	14:17:54	14:27:06
25	51638	-7.0782966	110.043828	Rp 505,320	3	0.85	00:08:30	00:08:00	00:07:42	14:35:36	14:51:18
26	51648	-7.0761712	110.044665	Rp 1,701,650	9	0.25	00:02:30	00:03:12	00:05:30	14:53:48	15:02:30
27	263041	-7.0871443	110.021842	Rp 1,471,140	8	2.8	00:28:00	00:04:18	00:05:36	15:30:30	15:40:24

Sales representative 3

Order	User ID	Latitude	Longitude	Revenue	Boxes	Distance (km)	Travel Time	Loading	Unloading	Check-in	Check-out
1	370494	-7.0745053	110.336122	Rp 511,440	3	0.05	00:00:30	00:09:42	00:04:24	08:15:30	08:29:36
2	44344	-7.0755929	110.335714	Rp 261,300	2	0.13	00:01:18	00:07:06	00:02:30	08:30:54	08:40:30
3	51897	-7.0800013	110.326356	Rp 1,022,400	6	1.14	00:11:24	00:07:42	00:09:24	08:51:54	09:09:00
4	211859	-7.0691873	110.317281	Rp 924,480	5	1.56	00:15:36	00:08:06	00:04:00	09:24:36	09:36:42
5	340043	-7.0663392	110.312739	Rp 529,920	3	0.59	00:05:54	00:05:00	00:02:00	09:42:36	09:49:36
6	256299	-7.0577027	110.305062	Rp 789,840	4	1.28	00:12:48	00:05:24	00:03:30	10:02:24	10:11:18
7	43905	-7.0576529	110.305059	Rp 798,690	4	0.01	00:00:06	00:09:12	00:04:06	10:11:24	10:24:42
8	148111	-7.0595291	110.300847	Rp 461,910	3	0.51	00:05:06	00:07:30	00:04:06	10:29:48	10:41:24
9	232401	-7.0542792	110.300108	Rp 587,400	3	0.59	00:05:54	00:08:48	00:05:24	10:47:18	11:01:30
10	55276	-7.053848	110.315091	Rp 2,396,400	12	1.65	00:16:30	00:04:18	00:02:06	11:18:00	11:24:24
11	79369	-7.0542433	110.315653	Rp 912,736	6	0.08	00:00:48	00:03:06	00:02:24	11:25:12	11:30:42
12	239055	-7.0541425	110.317663	Rp 1,214,520	7	0.22	00:02:12	00:03:30	00:09:24	11:32:54	11:45:48
13	47857	-7.0385827	110.296901	Rp 558,792	3	2.87	00:28:42	00:07:00	00:02:54	13:00:00	13:09:54
14	57625	-7.0274646	110.312907	Rp 557,940	3	2.16	00:21:36	00:02:36	00:03:30	13:31:30	13:37:36
15	49787	-7.0853578	110.312765	Rp 695,480	4	6.44	01:04:24	00:05:48	00:07:00	14:42:00	14:54:48

Sales representative 4

Order	User ID	Latitude	Longitude	Revenue	Boxes	Distance (km)	Travel Time	Loading	Unloading	Check-in	Check-out
1	247417	-7.0128318	110.396281	Rp 768,960	4	0.04	00:00:24	00:04:18	00:07:24	08:15:24	08:27:06
2	248305	-7.0133613	110.396455	Rp 575,580	3	0.06	00:00:36	00:05:48	00:04:24	08:27:42	08:37:54
3	271212	-7.0144312	110.396202	Rp 495,300	3	0.12	00:01:12	00:06:18	00:05:36	08:39:06	08:51:00
4	51773	-7.0139925	110.394717	Rp 513,480	3	0.17	00:01:42	00:04:36	00:06:00	08:52:42	09:03:18
5	370740	-7.0130471	110.394993	Rp 1,855,920	10	0.11	00:01:06	00:07:06	00:09:36	09:04:24	09:21:06
6	248277	-7.013554	110.393755	Rp 636,120	4	0.15	00:01:30	00:04:06	00:04:42	09:22:36	09:31:24
7	262301	-7.0197712	110.388948	Rp 715,656	4	0.87	00:08:42	00:09:06	00:04:54	09:40:06	09:54:06
8	79254	-7.0127353	110.385445	Rp 609,000	4	0.87	00:08:42	00:06:00	00:07:12	10:02:48	10:16:00
9	370484	-7.0034706	110.433339	Rp 608,760	4	5.39	00:53:54	00:07:12	00:02:54	11:09:54	11:20:00
10	272569	-7.0032835	110.433647	Rp 1,348,450	8	0.04	00:00:24	00:08:42	00:07:00	11:20:24	11:36:06
11	79924	-7.0031479	110.433958	Rp 513,600	3	0.04	00:00:24	00:05:00	00:03:36	11:36:30	11:45:06
12	83397	-7.003349	110.434108	Rp 576,690	3	0.03	00:00:18	00:02:42	00:02:48	11:45:24	11:50:54
13	335808	-7.002883	110.433514	Rp 800,700	5	0.08	00:00:48	00:08:24	00:02:30	11:51:42	12:02:36
14	360685	-7.0098229	110.438867	Rp 821,520	5	0.97	00:09:42	00:02:48	00:03:48	13:00:00	13:06:36
15	345323	-7.0137167	110.439769	Rp 656,754	4	0.44	00:04:24	00:02:00	00:04:12	13:11:00	13:17:12
16	345769	-7.0167066	110.439013	Rp 780,000	4	0.34	00:03:24	00:08:24	00:08:48	13:20:36	13:37:48
17	370619	-7.0033315	110.4448	Rp 499,080	3	1.62	00:16:12	00:08:42	00:03:42	13:54:00	14:06:24

Sales representative 5

Order	User ID	Latitude	Longitude	Revenue	Boxes	Distance (km)	Travel Time	Loading	Unloading	Check-in	Check-out
1	100354	-6.9657029	110.158471	Rp 625,656	4	0.05	00:00:30	00:04:36	00:08:54	08:15:30	08:29:00
2	189195	-6.965861	110.156352	Rp 1,058,610	6	0.23	00:02:18	00:06:12	00:03:30	08:31:18	08:41:00
3	254271	-6.9666683	110.155876	Rp 620,160	4	0.1	00:01:00	00:05:24	00:08:12	08:42:00	08:55:36
4	244789	-6.9666983	110.151106	Rp 2,020,800	11	0.53	00:05:18	00:08:12	00:02:42	09:00:54	09:11:48
5	75533	-6.9670421	110.150225	Rp 2,062,566	11	0.1	00:01:00	00:04:30	00:06:36	09:12:48	09:23:54
6	47124	-6.967712	110.150815	Rp 1,001,136	6	0.1	00:01:00	00:06:12	00:05:18	09:24:54	09:36:24
7	188786	-6.9664154	110.149628	Rp 593,136	4	0.19	00:01:54	00:06:12	00:04:54	09:38:18	09:49:24
8	49580	-6.971869	110.150092	Rp 898,492	5	0.61	00:06:06	00:04:30	00:04:54	09:55:30	10:04:54
9	50155	-6.9728238	110.150039	Rp 1,384,800	7	0.11	00:01:06	00:02:06	00:03:18	10:06:00	10:11:24
10	262438	-6.9746408	110.149658	Rp 688,776	4	0.21	00:02:06	00:08:30	00:06:06	10:13:30	10:28:06
11	192261	-6.9587415	110.142627	Rp 1,395,000	7	1.93	00:19:18	00:03:12	00:02:00	10:47:24	10:52:36
12	297348	-6.9574463	110.143327	Rp 1,131,060	6	0.16	00:01:36	00:02:42	00:07:54	10:54:12	11:04:48
13	318167	-6.9406589	110.142266	Rp 574,440	3	1.87	00:18:42	00:09:54	00:03:30	11:23:30	11:36:54
14	331589	-6.9349137	110.141615	Rp 486,840	3	0.64	00:06:24	00:04:18	00:02:54	11:43:18	11:50:30
15	88438	-6.929729	110.153737	Rp 614,040	4	1.46	00:14:36	00:10:00	00:08:06	13:00:00	13:18:06
16	45776	-6.9272073	110.155212	Rp 2,925,136	15	0.32	00:03:12	00:02:48	00:08:12	13:21:18	13:32:18
17	45763	-6.9272277	110.155397	Rp 736,392	4	0.02	00:00:12	00:03:48	00:04:18	13:32:30	13:40:36
18	211218	-6.9270364	110.155219	Rp 504,600	3	0.03	00:00:18	00:03:42	00:10:00	13:40:54	13:54:36
19	45783	-6.9264867	110.155795	Rp 755,544	4	0.09	00:00:54	00:06:54	00:08:36	13:55:30	14:11:00
20	45806	-6.9259834	110.154063	Rp 1,596,000	8	0.2	00:02:00	00:03:36	00:06:06	14:13:00	14:22:42
21	186252	-6.9277666	110.15821	Rp 599,601	4	0.5	00:05:00	00:02:30	00:08:48	14:27:42	14:39:00
22	50077	-6.9261454	110.160369	Rp 811,392	5	0.3	00:03:00	00:09:12	00:05:00	14:42:00	14:56:12
23	53603	-6.9260399	110.160271	Rp 685,272	4	0.02	00:00:12	00:03:12	00:07:18	14:56:24	15:06:54
24	242054	-6.983109	110.1731	Rp 1,274,040	7	6.5	01:05:00	00:09:06	00:02:30	16:11:54	16:23:30

Sales representative 6

Order	User ID	Latitude	Longitude	Revenue	Boxes	Distance (km)	Travel Time	Loading	Unloading	Check-in	Check-out
1	61600	-6.9725393	109.928067	Rp 1,212,272	7	1.28	00:12:48	00:08:18	00:03:12	08:27:48	08:39:18
2	261273	-6.9725138	109.928213	Rp 791,846	4	0.02	00:00:12	00:07:12	00:04:30	08:39:30	08:51:12
3	140869	-6.9726078	109.9284	Rp 912,600	5	0.02	00:00:12	00:04:42	00:07:12	08:51:24	09:03:18
4	131040	-6.9724374	109.928536	Rp 536,328	3	0.02	00:00:12	00:10:00	00:09:30	09:03:30	09:23:00
5	265957	-6.9723569	109.928489	Rp 607,200	4	0.01	00:00:06	00:06:18	00:05:42	09:23:06	09:35:06
6	268683	-6.9795505	109.928139	Rp 566,220	3	0.8	00:08:00	00:05:48	00:09:42	09:43:06	09:58:36
7	83078	-6.9806334	109.924957	Rp 799,128	5	0.37	00:03:42	00:05:42	00:05:42	10:02:18	10:13:42
8	313907	-6.9865915	109.926815	Rp 1,406,400	8	0.69	00:06:54	00:05:12	00:08:42	10:20:36	10:34:30
9	36429	-6.9860932	109.932094	Rp 988,324	6	0.59	00:05:54	00:05:18	00:02:24	10:40:24	10:48:06
10	331887	-6.9910149	109.923017	Rp 1,754,276	10	1.14	00:11:24	00:06:42	00:03:42	10:59:30	11:09:54
11	63726	-6.9917373	109.918708	Rp 752,493	4	0.48	00:04:48	00:07:06	00:09:42	11:14:42	11:31:30

Lampiran 10: *Summary* hasil *Running VBA*

Skenario 1

Sales Representative	Total Users	Total Revenue	Total Boxes	Total Distance	Total Duration	Utilization
1	19	Rp 19,362,172	105	9.84	06:22:24	67.17%
2	27	Rp 31,551,817	178	7.33	07:50:00	85.42%
3	5	Rp 3,415,100	20	4.75	02:01:42	12.85%
4	8	Rp 6,170,016	35	2.39	02:24:18	17.56%
5	13	Rp 14,754,232	82	8.67	05:09:42	52.02%
6	11	Rp 10,327,087	59	5.42	03:24:06	30.02%
7	11	Rp 10,289,257	57	3.47	02:55:30	24.06%
8	10	Rp 8,808,148	48	9.82	03:48:00	35.00%
9	5	Rp 3,900,915	21	7.4	02:24:00	17.50%
10	9	Rp 6,605,554	39	3.6	02:36:00	20.00%

Skenario 2

Sales Representative	Total Users	Total Revenue	Total Boxes	Total Distance	Total Duration	Utilization
1	19	Rp 19,362,172	105	9.84	06:14:06	65.44%
2	27	Rp 31,551,817	178	7.33	07:48:54	85.19%
3	5	Rp 3,415,100	20	4.75	02:08:30	14.27%
4	17	Rp 12,775,570	74	11.34	06:21:48	67.04%
5	13	Rp 14,754,232	82	8.67	04:02:00	37.92%
6	11	Rp 10,327,087	59	5.42	03:18:36	28.88%
7	11	Rp 10,289,257	57	3.47	03:05:00	26.04%
8	10	Rp 8,808,148	48	9.82	03:55:42	36.60%
9	5	Rp 3,900,915	21	7.4	02:33:48	19.54%

Skenario 3

Sales Representative	Total Users	Total Revenue	Total Boxes	Total Distance	Total Duration	Utilization
1	24	Rp 23,263,087	126	15.66	08:09:06	89.40%
2	27	Rp 31,551,817	178	7.33	07:45:36	84.50%
3	5	Rp 3,415,100	20	4.75	02:01:00	12.71%
4	17	Rp 12,775,570	74	11.34	06:13:18	65.27%
5	13	Rp 14,754,232	82	8.67	05:17:42	53.69%
6	11	Rp 10,327,087	59	5.42	03:18:00	28.75%
7	11	Rp 10,289,257	57	3.47	02:58:24	24.67%
8	10	Rp 8,808,148	48	9.82	03:40:36	33.46%

Skenario 4

Sales Representative	Total Users	Total Revenue	Total Boxes	Total Distance	Total Duration	Utilization
1	24	Rp 23,263,087	126	15.66	08:25:42	92.85%
2	27	Rp 31,551,817	178	7.33	07:59:48	87.46%
3	15	Rp 12,223,248	68	19.28	06:59:54	74.98%
4	17	Rp 12,775,570	74	11.34	06:13:30	65.31%
5	13	Rp 14,754,232	82	8.67	05:08:42	51.81%
6	11	Rp 10,327,087	59	5.42	03:24:06	30.02%
7	11	Rp 10,289,257	57	3.47	03:06:12	26.29%

Skenario 5

Sales Representative	Total Users	Total Revenue	Total Boxes	Total Distance	Total Duration	Utilization
1	24	Rp 23,263,087	126	15.66	08:48:48	97.67%
2	27	Rp 31,551,817	178	7.33	07:40:24	83.42%
3	15	Rp 12,223,248	68	19.28	06:54:48	73.92%
4	17	Rp 12,775,570	74	11.34	06:06:24	63.83%
5	24	Rp 25,043,489	139	16.27	08:23:30	92.40%
6	11	Rp 10,327,087	59	5.42	03:31:30	31.56%

Skenario 6

Sales Representative	Total Users	Total Revenue	Total Boxes	Total Distance	Total Duration	Utilization
1	24	Rp 23,263,087	126	15.66	08:34:42	94.73%
2	38	Rp 41,878,904	237	26.68	12:38:48	145.58%
3	15	Rp 12,223,248	68	19.28	07:01:54	75.40%
4	17	Rp 12,775,570	74	11.34	06:40:42	70.98%
5	24	Rp 25,043,489	139	16.27	08:20:42	91.81%

Lampiran 11: Tampilan Hasil Akhir VBA

Scenario Decision					
Scenario Summary					
Scenario	Number of SRs	Total Revenue	Total Distance	Total Duration	Avg Utilization
1st Scenario	10	Rp 115,184,298	62.69	38:55:42	36.16%
2nd Scenario	9	Rp 115,184,298	68.04	39:28:24	42.32%
3rd Scenario	8	Rp 115,184,298	66.46	39:23:42	49.05%
4th Scenario	7	Rp 115,184,298	71.17	41:17:54	61.25%
5th Scenario	6	Rp 115,184,298	75.3	41:25:24	73.80%
6th Scenario	5	Rp 115,184,298	89.23	43:16:48	Not Feasible
Cost Calculation					
Scenario	SR Fee	Fuel Estimation (L)	Fuel Fee	Fuel Fee For all SR	Total Cost
1st Scenario	Rp1,350,000	0.25	Rp12,400	Rp124,000	Rp1,474,000
2nd Scenario	Rp1,215,000	0.29	Rp12,400	Rp111,600	Rp1,326,600
3rd Scenario	Rp1,080,000	0.40	Rp12,400	Rp99,200	Rp1,179,200
4th Scenario	Rp945,000	0.49	Rp12,400	Rp86,800	Rp1,031,800
5th Scenario	Rp810,000	0.49	Rp12,400	Rp74,400	Rp884,400
6th Scenario	Rp675,000	0.68	Rp12,400	Rp62,000	Not Feasible
Decision					
BEST RESULT		5th Scenario			

Sales Representative Allocation											
Optimized Route for SR 1											
Order	User ID	Latitude	Longitude	Revenue	Boxes	Distance (km)	Travel Time	Loading	Unloading	Check-In	Check-out
1	154573	-6.9710671	110.25688	Rp481,680	3	0.03	00:00:18	00:08:24	00:07:48	08:15:18	08:31:30
2	185571	-6.9713222	110.25222	Rp1,132,708	6	0.51	00:05:06	00:05:12	00:02:24	08:36:36	08:44:12
3	116078	-6.973317	110.25092	Rp2,516,760	13	0.26	00:02:36	00:05:48	00:05:06	08:46:48	08:57:42
4	46213	-6.974315	110.24951	Rp595,200	3	0.19	00:01:54	00:04:54	00:03:06	08:59:36	09:07:36
5	51200	-6.9772429	110.24938	Rp612,720	4	0.33	00:03:18	00:04:30	00:07:36	09:10:54	09:23:00
6	47036	-6.9812136	110.25154	Rp925,420	5	0.5	00:05:00	00:08:00	00:04:18	09:28:00	09:40:18
7	43774	-6.9904622	110.25571	Rp2,093,280	11	1.13	00:11:18	00:06:36	00:09:06	09:51:36	10:07:18
8	100405	-7.0081225	110.26127	Rp939,930	5	2.06	00:20:36	00:05:48	00:07:00	10:27:54	10:40:42
9	105911	-7.0082513	110.26107	Rp491,520	3	0.03	00:00:18	00:02:54	00:07:24	10:41:00	10:51:18
10	51077	-6.9719655	110.27324	Rp1,397,040	7	4.25	00:42:30	00:09:18	00:09:12	11:33:48	11:52:18
11	277402	-6.9640535	110.27156	Rp503,520	3	0.9	00:09:00	00:07:18	00:04:54	13:00:00	13:12:12
12	367268	-6.9630947	110.25955	Rp568,905	3	1.33	00:13:18	00:02:12	00:08:30	13:25:30	13:36:12
13	287510	-6.9638658	110.25773	Rp738,000	4	0.22	00:02:12	00:09:00	00:02:06	13:38:24	13:49:30
14	157212	-6.9600948	110.2567	Rp681,600	4	0.43	00:04:18	00:07:36	00:08:36	13:53:48	14:10:00
15	264647	-6.9560896	110.25821	Rp961,160	5	0.48	00:04:48	00:07:12	00:07:18	14:14:48	14:29:18
16	368233	-6.9634458	110.25066	Rp1,242,600	7	1.17	00:11:42	00:04:06	00:06:54	14:41:00	14:52:00
17	334917	-6.9639862	110.24773	Rp1,773,600	9	0.33	00:03:18	00:09:48	00:05:30	14:55:18	15:10:36
18	56653	-6.9640685	110.24763	Rp798,000	4	0.01	00:00:06	00:07:00	00:05:30	15:10:42	15:23:12
19	56665	-6.9640419	110.2476	Rp511,920	3	0	00:00:00	00:06:06	00:07:12	15:23:12	15:36:30
20	56648	-6.9638259	110.24772	Rp930,624	5	0.03	00:00:18	00:06:24	00:04:54	15:36:48	15:48:06
21	82943	-6.9641044	110.24723	Rp1,107,420	6	0.06	00:00:36	00:04:30	00:06:24	15:48:42	15:59:36
22	46289	-6.9599361	110.24481	Rp847,360	5	0.53	00:05:18	00:06:24	00:08:30	16:04:54	16:19:48
23	47063	-6.9632896	110.24143	Rp781,880	4	0.53	00:05:18	00:05:54	00:05:42	16:25:06	16:36:42
24	305307	-6.9663505	110.24058	Rp630,240	4	0.35	00:03:30	00:04:54	00:03:42	16:40:12	16:48:48

Sales Representative Utilization						
SR	Total Users	Total Revenue	Total Boxes	Total Distance	Total Duration	Utilization
1	24	Rp23,263,087	126	15.66	08:48:48	97.67%
2	27	Rp31,551,817	178	7.33	07:40:24	83.42%
3	15	Rp12,223,248	68	19.28	06:54:48	73.92%
4	17	Rp12,775,570	74	11.34	06:06:24	63.83%
5	24	Rp25,043,489	139	16.27	08:23:30	92.40%
6	11	Rp10,327,087	59	5.42	03:31:30	31.56%

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Made Rully Anjani Vitaloka merupakan mahasiswa sarjana Departemen Teknik Sistem dan Industri di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis memiliki ketertarikan mendalam pada market analysis, supply chain management, dan data analytics, dan system modeling. Penulis merupakan peraih Beasiswa Unggulan Bank Indonesia. Selama menempuh pendidikan sarjana, penulis aktif dalam berbagai kegiatan seperti event, organisasi, lomba, proyek, hingga magang. Penulis merupakan General Manager Bramunastya Team ITS, organisasi ITS yang bergerak di bidang business and *innovation competition*. Penulis juga aktif sebagai Sekretaris TPKH-ITS dan Project Analyst 180 Degrees Consulting. Selama perkuliahan, penulis mendapatkan lebih dari 10 penghargaan di Tingkat nasional hingga internasional, seperti meraih Gold Medal dalam Indonesia International Applied Science Project Olympiad (I2ASPO) tahun 2022, 2nd Winner dan Best Mixed Team dalam Industrial Challenge X Summer Camp 2023, 1st Winner dalam Industrial Business Project, dan masih banyak lagi. Penulis juga merupakan asisten laboratorium Quantitative Modeling and Industrial Policy Analysis Laboratory (QMIPA). Selama menjadi asisten laboratorium, penulis berkesempatan dalam mengerjakan beberapa proyek penelitian bersama dosen maupun pihak luar yang bekerja sama. Salah satu proyek terbesar yang dilakukan adalah *logistic study* untuk Masela Blok, yang merupakan proyek strategis nasional.

Pengalaman profesional penulis dimulai sebagai Strategy Associate Intern di BrandPartner Consulting Group yang bertanggung jawab untuk meningkatkan revenue dan brand awareness dari 3 perusahaan berbeda yang bergerak di bidang skincare, fashion, hingga FnB. Kemudian dilanjutkan sebagai Operation Intern di Phillip Morris International dengan proyek implementasi ECRS untuk mengurangi *travel time and distance* dari Equipment Owner. Dengan bekal pengalaman tersebut, penulis berencana melanjutkan karir di ranah Business Operations atau Marketing Strategy.